

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6325516号  
(P6325516)

(45) 発行日 平成30年5月16日(2018.5.16)

(24) 登録日 平成30年4月20日(2018.4.20)

(51) Int.Cl.

F 1

<b>F02M 33/00</b>	<b>(2006.01)</b>	F02M	33/00	C
<b>F02M 31/14</b>	<b>(2006.01)</b>	F02M	31/14	
<b>F02M 35/10</b>	<b>(2006.01)</b>	F02M	35/10	3 1 1 Z
<b>F02M 26/00</b>	<b>(2016.01)</b>	F02M	26/00	3 0 1

請求項の数 16 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2015-501843 (P2015-501843)
(86) (22) 出願日	平成25年3月19日 (2013.3.19)
(65) 公表番号	特表2015-510991 (P2015-510991A)
(43) 公表日	平成27年4月13日 (2015.4.13)
(86) 國際出願番号	PCT/US2013/032913
(87) 國際公開番号	W02013/142469
(87) 國際公開日	平成25年9月26日 (2013.9.26)
審査請求日	平成28年3月14日 (2016.3.14)
(31) 優先権主張番号	61/614,062
(32) 優先日	平成24年3月22日 (2012.3.22)
(33) 優先権主張国	米国(US)

(73) 特許権者	511304464 サウジ アラビアン オイル カンパニー サウジアラビア王国 3 1 3 1 1 ダーラ ン, ボックス 5 0 0 0
(74) 代理人	100101454 弁理士 山田 卓二
(74) 代理人	100081422 弁理士 田中 光雄
(74) 代理人	100132241 弁理士 岡部 博史
(72) 発明者	エサム・ザキ・ハマド サウジアラビア 3 1 3 1 1 ダーラン、サウ ディ・アラムコ、ピー・オー・ボックス 1 3 4 7 8

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】内燃エンジンにおける燃料の酸素燃焼のための装置および方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

車両に動力を供給するように構成され、窒素が分離されて酸素濃度が高い外気流と燃料との燃焼によって生じ、窒素およびNO<sub>x</sub>エミッションが少ない排気ガス流を生成する内燃エンジンであって、

内燃エンジンは、

燃焼室を形成する壁を備えた複数のシリンダを有するエンジンブロックと、

シリンダに流体接続し、吸気マニホールドから燃料の燃焼に用いる酸素濃度が高い外気が流れる一つまたはそれ以上の流路と、

内燃エンジンの動作に統合され、エンジンの吸気マニホールドと燃焼室とに流体接続された一つまたはそれ以上の空気分離デバイスと、を有し、

一つまたはそれ以上の空気分離デバイスが、燃料と混合する酸素分子を外気から分離し、窒素分子を外気に戻すように構成され、

エンジンの吸気マニホールドの補助吸気弁が、開栓するためのエンジンのパフォーマンス要求に応答して動作し、エンジンの酸素要求が一つまたはそれ以上の空気分離デバイスを通過する酸素によって満たされない場合に外気を受け入れ、

一つまたはそれ以上の空気分離デバイスが膜であって、

膜が一つまたはそれ以上のシリンダの壁内に配置され、

一つまたはそれ以上の膜が、酸素分子が空気流路から燃焼室内に移動するように流体接続する、内燃エンジン。

10

20

**【請求項 2】**

少なくとも一つの膜が各シリンダの壁内に配置されている、請求項 1 の内燃エンジン。

**【請求項 3】**

一つまたはそれ以上の膜が、一つまたはそれ以上のシリンダにおいて、圧縮行程および膨張行程中に最大圧力が生じる領域から離れて配置されている、請求項 1 の内燃エンジン。

**【請求項 4】**

流路がマニホールド状であって、

一つまたはそれ以上の空気分離デバイスがマニホールド内に配置されている、請求項 1 の内燃エンジン。

10

**【請求項 5】**

複数の空気分離デバイスが直列に配置され、

直列に配置された分離デバイスそれぞれにおいて、下流側でガス流内の酸素の割合が高い、請求項 4 の内燃エンジン。

**【請求項 6】**

空気分離デバイスがセラミック膜である、請求項 1 の内燃エンジン。

**【請求項 7】**

膜は、酸素を通過させ、その被保持物が窒素濃度が高いガスである、請求項 6 の内燃エンジン。

**【請求項 8】**

膜は、エンジンからの高温な排気ガスとの熱交換によって約 800 °F の温度に維持されている、請求項 6 の内燃エンジン。

20

**【請求項 9】**

膜は、酸素が透過可能な多孔質の電極を備える固体状のセラミック電解質であって、

その固体状電解質が電位を受けて酸素イオンを通過させる、請求項 1 の内燃エンジン。

**【請求項 10】**

内燃エンジンからの排気ガス流の一部が再循環されて吸気に混合される、請求項 1 の内燃エンジン。

**【請求項 11】**

排気ガス流によって駆動され、一つまたはそれ以上の分離デバイスの上流側で空気を圧縮するために外気に流体接続されているターボ過給機を有する、請求項 1 の内燃エンジン。

30

**【請求項 12】**

膜が、燃焼室からの窒素、NO<sub>x</sub>、およびCO<sub>2</sub>の通過を制限する、請求項 1 の内燃エンジン。

**【請求項 13】**

一つまたはそれ以上の空気分離デバイスが、圧力スイング吸着式窒素発生器である、請求項 1 の内燃エンジン。

**【請求項 14】**

一つまたはそれ以上の空気分離デバイスが、真空スイング吸着システムである、請求項 1 の内燃エンジン。

40

**【請求項 15】**

一つまたはそれ以上の空気分離デバイスが、ハイブリッド真空 - 圧力スイング吸着システムである、請求項 1 の内燃エンジン。

**【請求項 16】**

排気ガス流からのCO<sub>2</sub>が、捕捉され、内燃エンジンによって駆動される車両上で一時的に貯蔵されるために高密度化プロセスを受ける、請求項 1 の内燃エンジン。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

50

本発明は、内燃エンジンにおいて、外気の吸気の後に窒素を除去するまたは減少させることに関する。

**【背景技術】**

**【0002】**

二酸化炭素( $\text{CO}_2$ )やメタン( $\text{CH}_4$ )などの温室ガス排出を原因として地球の温暖化が生じていることは、現代では定説である。現今、地球上の二酸化炭素排出量の約1/4は、自動車を原因としている。その一部が、発展途上国における自動車の保有数の急激な上昇によって急速に大きくなり得る。窒素が、地球の大気内のガスの略80%を占めるため、内燃エンジンの燃焼室内にも存在し、その結果として、一般的に $\text{NO}_x$ 汚染物質として呼ばれる、相当量の酸化物が累積的に生じる。触媒コンバータが望ましくない成分の多くのコンバートすることができるけれども、空気/燃料混合物の中から窒素を減少させるまたは取り除くことが非常に要望されている。自動車を原因とする大気汚染の管理として、空間および重量制限、有用性に対する基準仕事の節約、移動源の動態的作用の高速化などが試みられている。10

**【0003】**

定格動力発生プラントや内燃エンジンにおいて利用される酸素燃焼プロセスが米国特許第6,170,264号内に提案されている。プロセスは、炭化水素燃料の燃焼に空気を使用する前に空気から窒素を分離する空気分離ステップを含み、それにより、燃焼生成物としての酸化窒素や他の汚染物質を減少しているまたはなくしている。硫黄、硫化物、様々な窒素酸化物( $\text{NO}_x$ )などの有害な汚染物質を減少させるさらなる方法として、水素、メタン、プロパン、精製された天然ガスなどの高純化された燃料やエタノール、メタノールなどの軽質アルコールを使用することが提案されている。20

**【0004】**

米国特許第6,170,264号にて具体的に提案されている空気分離プラントは、膜ベースの空気分離システムを使用し、圧力を受けた状態の空気流を膜に通過させることにより、空気からその一部の成分を分離する。膜全体にわたる圧力勾配により、最も透過しやすい成分が他の成分に比べて迅速に膜を通過し、それにより透過成分に高濃度に含まれる生成物の流れが生み出され、その一方で、その成分においてオリジナルの流れが激減される。多くの膜が大気温度で作動可能である。いくつかのタイプの膜とその特性が説明されている。セルロースアセテート膜は、酸素と窒素に関して優れた分離係数を示すと言わかれているが、流動速度が相対的に低い。微小孔を備えるポリスルホン基板上に配置された複合薄膜は、セルロースアセテートに比べて低い分離係数を示すが、圧力差が同一であれば流動速度は高速である。複数の膜を直列に設けることにより、生成物流内において酸素濃度を増加させることができる。30

**【0005】**

イオンの移動が可能なイオン性固溶体であるエレクトロセラミック膜は、空気の流れから酸素を分離するときに酸素イオンを移動させるために、比較的高い約800°Fの温度を必要とする。米国特許第6,170,264号の図12の例において、"作動流体"として言及されている燃焼排気ガスは、エレクトロセラミック膜を所望の動作温度である800°Fに加熱する熱交換器に送られる。この特許は、エレクトロセラミック膜の可能な材料として、イットリア安定化ジルコニアを示している。40

**【0006】**

米国特許第6,170,264号はまた、膜が窒素の透過のために使用され、それにより残りの気流内の窒素含有量を減少させることを検討している。このモードの動作において、窒素濃度が高い流れは膜の出口側に存在し、酸素濃度が高い流れは被保持物である。

膜を介する拡散速度が、個々の材料の特性であって且つ格子内の陽イオンの大きさ、帯電量、および形状に依存するイオンの流動性によって決まるため、エレクトロセラミック膜の形状および位置は、その動作モードによって決定される。

**【0007】**

50

米国特許第5,051,113号は、エンジン効率を向上させるために、エンジン吸気口に入る空気の酸素を濃縮させる選択的に透過可能な膜を利用する自動車用エンジンの吸気システムを開示している。この米国特許第5,051,113号の開示内容は、参照として本明細書に組み込まれている。このシステムは、少なくとも1.4:1の酸素/窒素の選択比を備え、最適な条件下においてO<sub>2</sub>に関して約10%から最大66%増加させることができ、そうでなくても吸気ガス内のO<sub>2</sub>を約10%から30%増加させることができるペルフルオロジオキソール(perfluorodioxole)膜を利用する。膜の酸素/窒素の選択性による制限によって酸素燃焼は異なり、米国特許第5,051,113号の酸素濃縮プロセスは、NO<sub>x</sub>汚染物質の大部分を取り除くことができない。

## 【0008】

10

内燃エンジンによって駆動する自動車において、酸素燃焼プロセスを使用する場合の大きな課題は、プロセスの実行のために必要なものとして、従来から、例えば米国特許第6,170,264号に開示されている空気分離要素によって増加する重量や必要とされるスペースをいかに最小化するかである。例えば、エレクトロセラミック膜の800°Fの動作温度を実現するための熱交換器を介する排気ガスの循環ステップに必要な追加の装置の大きさおよび重量は、ガロンあたりのマイル評価やそのプロセスにとって非常に都合がわるい車両重量に対して関心がある自動車デザイナーによって配慮されている。

## 【0009】

20

実際には、自動車からの汚染物質の排出を減少させる際に直面する多くの問題は、定格電力発電プラントから生じる同一の汚染物質を減少させる場合においては存在しない。なぜなら、フロアースペースや頭上のスペースに関して制限がないからである。発電プラントにおいては電力や他のユーティリティが容易に利用可能であり、そのため、空気分離ステップに使用される圧縮機などの補助的な設備を稼働させることができる。

## 【0010】

したがって、空気分離ステップに関して必要な追加部品による重量の増加や必要な電力の増加に関連する、自動車全体の効率的な動作に対する不利益を最小限に抑えつつ、自動車を動作させるために使用される内燃エンジン内における酸素燃焼の公知の利点をいかに得るかが解決すべき課題である。

## 【発明の概要】

## 【0011】

30

これらの問題を解決するために、本発明は、空気から酸素を分離するために、また燃焼室に入る窒素をなくすあるいはその量を減少するために、車両上において利用可能な廃熱の形態の自由エネルギーを使用し、それによって外気に排出されるNO<sub>x</sub>汚染物質を減少させる、車両に動力を供給するために使用される内燃エンジンでの燃料の酸素燃焼のための方法および装置を提供する。好ましい実施の形態において、発明は、窒素が少なく且つ低レベルのNO<sub>x</sub>ガスを含むエンジンの排気流からCO<sub>2</sub>を捕捉し、例えば車両の燃料補給中に回収ステーションで排出するまで一時的に貯蔵するためにCO<sub>2</sub>の濃度を高める方法および装置と統合される。

## 【0012】

40

酸素は、空気から分離され、燃料によって燃焼され、CO<sub>2</sub>と水(H<sub>2</sub>O)からなる純なまたは略純な排気生成物を生成する。CO<sub>2</sub>を車両上において圧縮して一時的に貯蔵する前に、H<sub>2</sub>Oを容易に液化して分離することができる。酸素と燃料の燃焼の方法は酸素燃焼と称され、様々な技術が外気からO<sub>2</sub>を分離するために利用可能である。

## 【0013】

空気から酸素を分離する商業的なプロセスは、高温および大気圧で酸素イオンを送る固体状のセラミック材料から作製されたイオン輸送膜(ITEM)を使用することに基づいている。ITEMの酸素プロセスは、米国コロラド州のソルトレイクシティのCeramatec社から入手できる。ITEMは、外気から高純度の酸素を分離するために使用される。また、米国ペンシルバニア州のアレンタウンのAir Products and chemicals社は、ITEM酸素分離プロセスの商業化に取り組んでいる。

50

## 【0014】

セラミック酸素発生器は、2つの多孔性の電極の間に配置されて酸素を生成する固体状のセラミック電解質を使用する携帯式の酸素発生器である。酸素イオンの移動を容易にするために、セラミック膜は、約700に加熱される。セルはまた、上記定格設計容量で動作温度と印加電位を上昇させることによって酸素を生成することができる。

## 【0015】

高い性能特性を備える固体状の電気化学的膜の酸素分離セルを使用する電解質アセンブリが、Ceramatec社の米国特許第5,021,137号に開示されており、その開示内容が参考として本明細書に組み込まれている。銀薄膜に覆われたコバルト酸ランタンストロンチウムの焼結体からなる一対の電極の場合、電解質として、酸化カルシウム、酸化ストロンチウム、または酸化イットリウムが添加された、酸化セリウムまたはセリアが挙げられる。10

## 【0016】

このシステムは、外部からの印加電位の影響を受けた高密度固体状のセラミック電解質膜を介する酸素イオンの移動の無限の選択性に基づいている。固体電解質は、イオンの移動と膜の加工性を向上させるために加えられた添加物を含む酸化セリウムから形成されている。酸化還元反応は、平面状のセラミック電解質膜要素とともに電気化学的セルを形成する多孔性のペロブスカイト電極を使用することによって促進される。複数のセルは、スタッツクされて組み合わせられる。複数のセルを有する平面構造のスタッツクは、優れた、電気化学的性能、安定性、および機械的完全性を示し、数千時間使用されても高純度の酸素を生成する能力を備える。イオン移動膜をベースとする酸素発生システムは、一体化された熱管理システム、空気原動機、電源、および関連する制御システムを含んでいる。20

## 【0017】

十分な量の熱エネルギーが発生する。熱管理システムは、加熱に使用される電力を最小化するために、スタッツクを近くの周囲から絶縁し、セルの必要動作温度を維持している。高効率熱回収デバイスが、使用済みの排気の熱および酸素からエネルギーを回収するために使用される。熱エネルギーを回収することにより、電力消費を最小に抑えることができる。

## 【0018】

固体電解質セラミック膜は、ニッケル超合金マトリックスによって支持されることにより、ICEの始動中および停止中におけるスタッツクの加熱および冷却に関連する膨張および収縮の力を原因とするき裂が発生しにくい酸素発生セルを形成することができる。30

## 【0019】

本発明の実施に使用される空気分離プロセスは、初期温度で動作する固定床または流動床を通過する外気からO<sub>2</sub>を奪って保持する固体状の吸着剤を利用する酸素捕捉貯蔵プロセスに基づいている。吸着剤においてO<sub>2</sub>が飽和するとまたは酸素の保持量が規定のレベルに達すると、スイープガスが床を通過し、それにより吸着されている酸素が放出される。二つまたはそれ以上の吸着床が並列に動作してもよく、一つまたはそれ以上の床が酸素を吸着し、残りの床ではスイープガスと混合された本質的に純な酸素の回収が行われる。一例のシステムは、Linde Group社から入手でき、セラミック自己熱回収式(CAR)酸素発生プロセスと呼ばれている。吸着保持剤の好適な一例の種類は、プロブスカイトである。スイープガスは、主成分がCO<sub>2</sub>と水であるICEからの高温な排気ガスの一部であってもよい。スイープガスは、排気ガス流から分かれて燃料とともにシリンドに入ってもよい。水蒸気を含む排気ガスの一部は、公知の排気ガス再循環(EGR)方法および装置にしたがってエンジンの温度を制御するために、燃料混合物とともに再循環されてもよい。40

## 【0020】

外気から酸素と窒素とを分離する他の商業的に利用可能なプロセスおよび装置が、本発明の実施のために使用されてもよい。Parker Hannifin社のParker Bolston部門によって販売されている窒素発生器は、被保持物としての95~99%の純度の窒素を含む流れを圧縮空気から分離する膜を利用する。半透過性膜は、円形50

断面とその中心を通過する孔とを備える中空のファイバの束から構成されている。サイズが小さいため、非常に多くのファイバを小さいスペースに詰めることができる。これによる効果は、膜の表面積が非常に大きくなり、相対的に大量の生成物の流れが生じることである。モジュールの一端に導入された圧縮空気は、膜に入ってファイバの孔を通過する。酸素、水蒸気、及び他の微量ガスは、容易に膜ファイバに浸透し、浸透ポートを介して放出される。窒素は、膜内に収容され、膜モジュールの出口ポートを介して放出される。一つまたはそれ以上の膜モジュールが、ICEのマニホールドによって吸気口に組み込まれてもよく、また、エンジンによって駆動されている過給機または排気ガス流によって駆動されているターボ過給機からの圧縮空気を供給されてもよい。外気から分離された窒素が、外気に接続されているマニホールド内のオリフィスを介して排出されてもよい。代わりの実施の形態において、一つまたはそれ以上のモジュールが、分離された窒素を外気に排出するとともに、燃料と混合するためのシリンダの吸気ポートに直接的に酸素を導入するために使用されてもよい。

#### 【0021】

酸素濃度が高い空気流は、Balston社から商業的に入手可能な圧力スイング吸着式(PSA)窒素発生器から回収されてもよい。PSA窒素発生器は、ろ過と圧力スイング吸着との組み合わせを利用する。予めろ過された圧縮空気流が炭素分子シーブ(CMS)床を通過する。CMSは、酸素、二酸化炭素、および水蒸気に対して親和性が高く、窒素の床の通過を可能にする。吸着された酸素および他のガスは低圧力で放出される。CMS床の圧力を増減することにより、CMSを変化させることなく、酸素および他のガスは捕捉されるまたは放出される。PSAプロセスを利用する他のプロセスの場合、床を通過する窒素は外気に放出される。酸素の連続流れを実現するために、二つまたはそれ以上のCMS床が連続して動作される。圧縮された外気は、好ましくはターboro過給機によって供給される。より高圧に圧縮された外気は、例えば、過給機、ピストンポンプ、ローブプロワ、またはICEのファンベルトによって駆動されるロータリーベーンポンプなどの補助的な空気圧縮機によって供給されてもよい。

#### 【0022】

活性炭素系分子のシーブまたは吸着剤を用いて外気から酸素を捕捉する商業的に利用可能な真空スイング吸着(VSA)システムやハイブリッド真空-圧力スイング吸着(VPSA)が使用されてもよい。窒素を捕捉して純度が90~95%の酸素を生成することができるゼオライトケイ酸塩とアルミナとの組み合わせが、本発明の方法において使用されてもよい。高い選択性と高い物質移動速度とを備えるリチウムベースの吸着剤を用いる商業的なシステムが、本発明に使用できるように応用されてもよい。ラジアル床(radial bed)が従来の長手方向に通過する床に加えて使用されてもよい。これらのシステムの相対的に低いエネルギー要求およびコンパクトサイズは、空気から酸素を分離する他の公知の方法および装置と比べて、ICEを動力とする車両上での使用に対して好都合である。

#### 【0023】

外気から酸素を分離する別のPSAプロセスは、一体になって配置された、好ましくは圧縮された気流が通過する少なくとも二つの容器内に配置された粒状のアルミニノケイ酸塩またはゼオライトの床を使用する。窒素はゼオライト粒子の構造内に吸収され、酸素と外気由来の他のガスが床を通過して容器から放出され、そして酸素燃焼プロセスでの使用のために回収される。分離容器内のゼオライトの窒素の吸着量が所定のレベルに達すると、減圧されて、窒素がゼオライトから放出され、純酸素によって逆洗される。ゼオライトの吸着窒素がページされている間ににおいて酸素の連続流れを実現するために、圧縮空気流がゼオライトの少なくとも一つの他の容器に導入される。代わりとして、一つの容器からの圧縮酸素が、少なくともほとんどの動作条件の下でICEの要求を満足することができる十分な能力を備える圧力容器内に貯蔵されてもよい。

#### 【0024】

ゼオライトは湿気に対して敏感であるので、その湿気を取り除くために空気をシリカ・

10

20

30

40

50

ゲルのガード床を通過させてもよく、それにより、空気が圧縮されて露点に達したときに水が発生しない。

#### 【0025】

代わりの真空による P S A プロセスの場合、真空がゼオライトから窒素を放出するため印加され、それにより、外気に印加されている初期の圧力上昇を、外気内の湿気の露点以下で維持することができる。窒素の吸脱着サイクルの間、ゼオライトに対して同一の効果的な差圧が印加される。

#### 【0026】

さらなる代わりの実施の形態において、車両上で実行される従来の極低温空気分離プロセスにより、燃料の酸素燃焼に使用するための酸素が獲得されてもよい。酸素の液化は公知であって、液状酸素の車両上での貯蔵には、それに必要なスペースが相対的に小さく済むという利点がある。車両上での液化プロセスのさらなる利点は、I C E の一時的な燃料および酸素要求に関係なく、車両上の極低温タンクに貯蔵される液状酸素を生成する最大システム定格で連続的に実行することができる点である。その酸素は、エンジンの吸気口、または燃料と、温度制御のために I C E に再循環される排気ガスとの混合が行われる他の場所に分配されてもよい。極低温タンク内の利用可能な酸素が不足している場合、エンジン管理システムは、満足なエンジンパフォーマンスを実現するために、I C E の吸気口に取り込む外気量を増加させる。

10

#### 【0027】

本発明の実施の形態 1において、I C E の吸気マニホールドは、少なくとも一つ、好ましくは直列に配置された複数の空気分離膜を備え、それにより必要流量の純酸素が生成されるとともに窒素が外気に放出される。一つまたはそれ以上の膜の通過による圧力降下の対策として、大きな吸気マニホールドが設けられてもよく、および / またはターボ過給機、送風機、または他の手段が膜の上流側に設けられ、それにより二気筒または四気筒 I C E の動作における吸気行程によって吸気の圧力や流速が過度に増加してもよい。

20

#### 【0028】

膜それぞれは、膜の被保持物側で高圧ゾーンを維持しつつ、その一方で吸気弁が開栓しているときに I C E の降下行程によって低圧ゾーンが生じるように、吸気の流れ方向に対して斜めに配置されてもよい。代わりの実施の形態において、吸気マニホールドの側壁は、吸気の移動バスに対して平行に方向付けされ、エンジン周囲の外気の酸素をマニホールド流路の内部に存在する低圧ゾーンに流す外気と連通している一つまたはそれ以上の空気分離膜を備えてもよい。この構成において、被保持物の窒素は周囲の外気の一部であり続け、それにより、酸素分離ステップに必要な装置がシンプル化される。

30

#### 【0029】

本発明のさらなる態様において、吸気マニホールドは、膜を通過する酸素量によってエンジンの酸素要求量を満足することができない場合に開栓して外気を取り込むことができる外気用補助吸気弁を備える。この実施の形態において、従来のセンサが、車両に搭載されている演算制御システム、またはリアルタイムの分析を行うエンジン管理システム ( E M S ) にデータを提供する。コンピュータのプロセッサコントローラが、補助吸気弁に対して十分量の予備的空気を取り込むように指示し、それにより、負荷、加速、および / または他の I C E に課せられている状況に対応するために必要な燃料燃焼をサポートする。このような制御システム、センサ、および分析は、公知であって、自動車産業では商業的に使用されている。

40

#### 【0030】

本発明の別の態様において、吸気弁および / または関連する弁システムは、酸素分離膜と合体している。四気筒 I C E の吸気降下行程の間、シリンダの内部の低圧が、好ましく酸素が通過する、膜による実質的な圧力降下を生じさせる。圧縮行程の間、弁システムに取り付けられたハウジングまたはカバーが膜の表面を覆うことにより、吸気弁の通常の動作モードにしたがって燃料と酸素 / 空気の混合物が逆流することが阻止されるまたは抑制される。膜カバーはまた、高温の排気ガスがシリンダから排気マニホールドに追い出されるよ

50

うに、動力行程におけるシリンダ内の燃料／酸素混合物の点火後および排気行程後の燃焼ガスの通過を抑制する。燃料が完全燃焼するように膜を通過する酸素の体積流量を増加させるために、弁／膜の組み合わせ物の表面積は、空気が大きく制限されることなくシリンダ内に取り込まれる従来のICEに使用されているものに比べて、大きく作製されてもよい。ターボ過給機または圧縮空気源が、膜を通過してシリンダに入る酸素の体積流量を増加するために使用されてもよい。

#### 【0031】

本発明の別の実施の形態において、一つまたはそれ以上の空気分離膜が、ICE内の一  
つまたはそれ以上のシリンダの壁に配置される。膜は、圧縮空気が通過した膜の外部側または被保持物側の空気流路を通過している外気から分離された酸素分子との流体接続を提供する。複数、例えば8または10基のシリンダを備え、そのいくつかがICEに対する要求に基づいて選択的に稼働するまたは停止するICEの実施の形態において、間欠的に稼働するシリンダは、高稼働を実現するまたは高いパフォーマンス要求を満足するために外気を従来どおりに使用するように作動されてもよい。連続的に稼働する残りのシリンダには、シリンダを通過して排気ガス内に望ましくないNO<sub>x</sub>成分を形成する窒素をなくすまたはその量を実質的に減らすために機能するシリンダ壁膜が取り付けられている。この構成を用いて作動する高パフォーマンスエンジンは、燃焼ガスの100%が外気である比較例のエンジンに比べて、生成されるNO<sub>x</sub>が極めて少ない。

10

#### 【0032】

当業者であれば明らかであるように、シリンダ壁内の空気分離膜は、ICEの全ての動作条件下において予測される酸素要求の全てに応えることができ、吸気弁や関連する駆動機構を完全に取り除くことができる。この構成は、相対的に低いパフォーマンス特性を備えるエンジン、すなわち他の高パフォーマンスエンジンに比べて加速能力やトータル馬力が相対的に低いエンジンにも適用可能である。

20

#### 【0033】

膜がシリンダの壁の一部を形成する、または空気流路に流体接続した状態で配置されている実施の形態において、酸素・燃料混合物または高濃度酸素・燃料混合物が点火されるときに膜がピストンリングの下方に存在するように膜をシリンダの下部に配置することにより、動力行程の衝撃を抑制してもよい。ある実施の形態において、膜は、シリンダ内の高圧部から離れて設けられ、降下行程中に、シリンダ壁の内周面に外周面が接触するスライド弁またはシャッター弁によって覆われてもよい。その隔離弁の閉栓は、そのシリンダのピストンおよび排気弁の動きに連動してもよい。代わりとして、シリンダ壁に穴が開けられてもよく、空気分離膜が、その穴に位置合わせされた状態で、シリンダ壁の表面の裏側のエンジンブロック内に配置される。内部のスライド弁またはシャッター弁は、膜を覆って隔離するために、また吸気行程中に閉栓するように使用されてもよい。

30

#### 【0034】

酸素が空気分離膜を通過して窒素が吸気されたオリジナルの空気の流れに保持されるようなこれらの実施の形態において、吸気マニホールドおよび／またはエンジンブロックは、膜に向かう外気が通過し、保持された窒素を外気に放出するための流路を備える。同一または追加の流路が、高負荷、高加速などの条件下で追加の外気を取り込むために補助吸気弁が設けられている場合に、使用されてもよい。このような流路を介して外気が通過するために吸気マニホールドに合流部分が形成され、エンジンブロックがその空気を加熱するとともに膨張させることにより、エンジンの廃熱がプロセスの向上のためにまたエンジンの液冷システムの熱負荷を低減するために利用される。マニホールド内での空気分離膜の位置およびシリンダ壁を形成するエンジンブロックにより、これらが配置されている金属のエンジン要素の動作温度に対応する動作温度に膜はされ、従来技術によって説明される単独の熱交換器や関連する導管を必要性がなくなる。

40

#### 【0035】

シリンダ内に引き込まれる窒素がなくなることによりたはその量が減少することにより、酸素燃焼ガス温度が増加する場合がある。エンジン内の燃焼プロセスの温度を制御する

50

ために、排気の流れの一部が、再循環されて高濃度酸素と燃料の混合物に混合されてもよい、または、単独で、燃焼前に、取り除かれた窒素に代わってシリンド内に再導入されてもよい。搭載されたコンピュータプロセッサによる排気ガスの再循環すなわちEGRの制御方法は、長年にわたって公知である。エンジン動作温度を、燃料混合物に水または水蒸気を加えることによって低下させてもよい。排出されるNO<sub>x</sub>をなくすまたは減らすことに加えて、SO<sub>x</sub>成分などの他の汚染物質を、実質的にCO<sub>2</sub>と水蒸気のみを生成するクリーンに燃焼する燃料を使用することによってなくしてもよいまたは減らしてもよい。

#### 【0036】

排気ガスの再循環によって排気ガス内のCO<sub>2</sub>と外気とが混合される本発明のプロセスを最適化するためには、酸素とCO<sub>2</sub>とから窒素を分離するのが好ましい。主に、窒素、酸素、二酸化炭素、および水を含む混合流から窒素を分離する方法がいくつか報告されている。これらの方法は、膜と、溶融炭酸塩型燃料セル、低温電気化学セルなどの電気化学プロセスとを利用する。

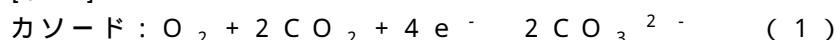
#### 【0037】

例えば、米国特許第4,781,907号は、選択性ガス透過性高分子膜を用いて燃焼ガスから窒素を分離するプロセスを開示している。そのプロセスは、体積で97%を超える純度の窒素ガスを生成する。膜は、纖維素エステル、サイレージ(silage)、スローンまたはシリコンポリマー(Sloane or silicone polymers)、ポリフェニレンオキシド、ポリアミド、ポリイミド、ポリスルホン、ポリカーボネート、ポリアクリロニトリル、ポリテトラフルオロエチレン、ポリエステルポリオレフィン、ポリビニルアルコール、ポリ(4-ビニルピリジン)、ポリウレタン、およびこれらの組み合わせから作製されてもよい。

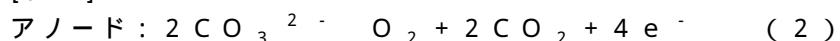
#### 【0038】

溶融炭酸塩燃料セルの場合、以下の第1の反応スキームによって表現される酸素と二酸化炭素との結合によってカソードで形成される炭素塩イオンは、外部電位の影響を受けてアノードに移動し、第2の反応によって表現されるように、酸素と二酸化炭素とに分解する。このプロセスは、高温で炭酸アニオンの移動に対して選択性が高く、アノードで高純度の二酸化炭素と酸素を化学的に生成する。

##### [化1]



##### [化2]

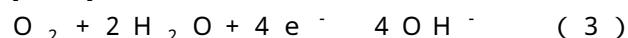


例えば、Sugiyura他著「The Carbon Dioxide Concentrator by using MCFC」, Journal of Power Sources, 118, 2003, pp. 218-227. 参照。

#### 【0039】

カーボン紙上のニッケルベースのアノード電解触媒からなるガス拡散電極の間にアニオン交換膜が挟まれている低温電気化学セルが、Pennline他著「Separation of CO<sub>2</sub> from Flue Gas using Electrochemical Cells」, Fuel, 89, 2010, pp. 1307-1314によって報告されている。このプロセスにおいて、酸素が、以下の第1の反応に示すように、カソードで還元されて水酸化物イオンになり、イオンが、第2の反応スキームにしたがって、二酸化炭素と反応して重炭酸イオンを生成する。重炭酸イオンが膜を通過し、アノードで逆反応が起こり、酸素および二酸化炭素のガスが再び生成される。

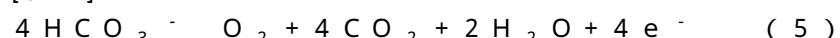
##### [化3]



##### [化4]



##### [化5]



10

20

30

40

50

## 【0040】

例えば、加速中、高負荷状態での登坂中などの I C E の非定常状態の動作要件を満たすために外気を取り込む必要がある限り、排気ガス流は、CO<sub>2</sub> や H<sub>2</sub>O に加えて、窒素や数 ppm レベルの NO<sub>x</sub> を含んでいる場合がある。H<sub>2</sub>O は、排気ガス流の温度を下げて公知の方法で除去が容易な液体にすることによって分離されてもよい。水は、排出されてもよいし、または温度制御や燃費の改善のために I C E に戻されてもよい。CO<sub>2</sub> は、吸着、吸収、膜分離、電気化学的分離、圧縮 / 冷却による液化、およびこれらの組み合わせを含むプロセスによって窒素から分離されてもよい。

## 【0041】

I C E 内の燃料の酸素燃焼のための本発明の方法および装置は、乗用車、トラック、バス、大型車、他の特殊車両、化石燃料の燃焼によって稼動する列車や船など、広い範囲の移動源に適用可能である。本発明は、新型の移動源および / または現存の移動源の改造物用の内燃エンジンのデザインおよび製造に組み込むことが可能である。 10

## 【0042】

さらなる態様において、本発明は、上述したような移動源の I C E において酸素燃焼を効率的に行うための様々な構成要素の統合に関し、また、これを受け、排気ガスからの CO<sub>2</sub> の捕捉と、エンジン、移動源、エンジンの排気流、液冷システムからの廃熱を利用した車両上での一時的な CO<sub>2</sub> の貯蔵とに関する。それには、一つまたはそれ以上の構成要素またはユニットを用いて O<sub>2</sub> を分離するステップ (a) と、廃熱を力 (仕事エネルギー) に変換するステップ (b) と、その力を用いて捕捉した CO<sub>2</sub> の密度を高めて車両上で一時に貯蔵するとともに O<sub>2</sub> 分離ユニットを駆動するステップ (c) とが含まれている。これらのステップの必要なエネルギーの全てまたは一部は、エンジンの廃熱に由来する (例 1 参照)。 20

## 【0043】

典型的なエンジンから発生する廃熱は、図 1 に示すように、主に、高温の排気ガス (600 ~ 650) と高温のクーラント (100 ~ 120) とから構成される。この熱エネルギーの合計は、典型的な炭化水素 (HC) 燃料から供給されるエネルギーの約 60 % になる。エネルギーは、酸素を分離するために、また生成された CO<sub>2</sub> を効率的に車両上で貯蔵できるように CO<sub>2</sub> の全てまたは一部を圧縮する、液化する、あるいは凍結するため必要とされる。このエネルギーは、仕事エネルギーと熱エネルギーとの組み合わせでなければならない。エネルギーの仕事成分は廃熱の一部を利用することによって発生し、それにより仕事を生み出す。かなりの廃熱が、車両上の O<sub>2</sub> 分離ユニットを駆動するために使用されてもよい。排気ガスの一部が、エンジン温度を制御するために再循環されてもよい。 30

## 【0044】

CO<sub>2</sub> の捕捉サイクルが始動する間、または特定の必要期間、エンジン出力の一部または搭載バッテリに蓄積された電気が使用されてもよい。通常の動作中、補足および高密度化に必要なエネルギーの一部は、廃熱に由来する場合がある。

## 【0045】

膜分離、反応性膜システム、または小低温システム (small cryogenic system) を含む、空気から O<sub>2</sub> を分離するための異なる手段が存在する。移動源上の利用可能なスペースに制限がある場合での特定の使用では、多様なオプションの緻密な分析が必要である。一次的に車両上で効率的に貯蔵するための高密度 CO<sub>2</sub> の形成は、圧縮、液化、および / または凍結 (ドライアイスを形成する) によって実現され、最終的な密度は 5 ~ 1600 Kg / m<sup>3</sup> の範囲である。高密度化のために必要な仕事エネルギーの全てまたは一部は、熱電変換を用いることによって廃熱から得られる。 40

## 【0046】

CO<sub>2</sub> 高密度化のための構成要素は、必要な能動的 / 受動的クーリングシステムを用いて一段階または複数段階の圧縮を行ってもよく、それにより車両上で一時に貯蔵する前に、CO<sub>2</sub> の圧縮、液化、または凝固化が保証される。CO<sub>2</sub> 貯蔵は、移動源に搭載された単一または複数のタンクによって行われてもよい。また、燃料タンクが、補足した CO 50

<sub>2</sub> の貯蔵のために使用されてもよく、その場合には燃料側と CO<sub>2</sub> 側との間に可動パーテイションが設けられる。全ての構成要素は、パフォーマンスを最適化するために、移動源制御システムまたは分離制御システムに一体化されてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0047】

本発明は、同一または類似の要素に同一の符号が付与されている添付の図面を参照しながら、以下において詳細に説明される。それらの図面において、

【0048】

【図1】図1は、典型的な炭化水素燃料を用いる従来の内燃エンジンのエネルギー収支を概略的に示す図、

10

【0049】

【図2】図2は、ICEの排気流からCO<sub>2</sub>を捕捉し、それを車両上で貯蔵するために高密度化するプロセスと組み合わせられた、本発明の酸素燃焼プロセスの実施の形態を概略的に示す図、

【0050】

【図3】図3は、吸気マニホールドに配置された本発明の実施の形態を備える直列型またはI-ブロック型ICEのシリンダの簡略化された部分断面図、

【0051】

【図4】図4は、図3に対応する実施の形態とICEとを概略的に示す簡略化された図、

【0052】

【図5】図5は、吸気弁に結合された本発明の他の実施の形態を含み、図3に類似する簡略化された部分断面図、

20

【0053】

【図6】図6は、本発明の別の実施の形態にしたがって改良された直列型またはI-ブロック型エンジンのシリンダの簡略化された部分断面図。

【発明を実施するための形態】

【0054】

図3は、4サイクルのICE10の一部を概略的に示す部分断面図である。エンジンブロック20は、吸気弁24によって制御された空気が流れる吸気マニホールド22と、排気弁28によって閉じられる排気マニホールド26とを有する。シリンダ30は、一つまたはそれ以上のピストンリング34が装着されたピストン32を収容している。

30

【0055】

従来の4サイクルエンジンの動作に基づけば、排気弁28の閉栓とともに吸気降下行程が始まり、そのピストン32の降下行程に連動して吸気弁24が開栓し、空気と燃料の混合物が吸気マニホールド22からシリンダ30の空間部内に引き込まれる。圧縮行程の間、弁24、28の両方は閉栓しており、燃料／空気混合物はピストン32がシリンダの頂部に移動するにしたがって圧縮され、点火プラグまたは他の点火デバイス36が燃料／空気混合物に点火する。動力降下行程において制御燃焼が生じてピストンがシリンダ30の底部に移動する。それにより、クランクシャフト38が回転し、トランスミッションおよび駆動伝達部（図示せず）を介して車両に推進力が供給される。排気上昇行程の間、排気弁28は開栓しており、高温の排気ガスが排気マニホールド26を介して排出される。そして、排気弁28が閉栓するとともに吸気弁24が開栓して、サイクルは繰り返される。

40

【0056】

本発明の実施の形態によれば、空気分離膜50が吸気マニホールド22内に配置され、それにより、吸気降下行程の間、酸素がシリンダ内に供給される。吸気流内に存在する窒素は、被保持物ガスとして膜50の上流側に維持され、マニホールドから外気に排出される。燃焼中において高温高圧の酸化条件に窒素が曝されないため、NO<sub>x</sub>成分は、生成されず、排気ガスとともに排出されない。

【0057】

膜50をはさんだ圧力差を維持するために、また膜50を通過しない被保持物の窒素や

50

他の大気由来のガスを外気に排出するために、吸気マニホールドは、膜の下流側に配置されて背圧を維持する大きさおよび構成にされたオリフィスを備えるとともに、高濃度窒素の被保持物流を外気に排出することが可能である。この構成が図4に概略的に示されており、図示されている排出オリフィス62、大量の排気ガス流によって駆動される過給機またはターボ過給機、あるいは他の加圧デバイス60が、シリンダに供給される空気の圧力を上昇させ、加圧された外気が、空気マニホールド入口68を介して、4つのシリンダ30のシリンダ吸気ポートそれぞれに接続する出口を備える吸気マニホールド22内に送られる。マニホールド22は、最後のシリンダの下流側に配置されたオリフィス62で終端している。簡素化された概略的な本発明の一実施の形態の図において、燃料は、燃料ライン66を介してタンク64から燃料ポンプ67とシリンダ30とに供給される。

10

#### 【0058】

当業者であれば明らかなように、システムの動作に必要な従来からの追加的な要素として挙げられるセンサ、エンジン制御プログラムおよび回路などが、本発明の主な特徴を明らかにするとともに理解しやすくするために省略されている。例えば、複数の燃料噴射ポートまたはノズルが、吸気マニホールド22内に燃料をより均一に分布させるために、また、急加速または急減速などの負荷の変動や他のICEの動作条件の変化に応答してより均一な混合が起こるようにするために使用されてもよい。I型ブロック構造を備えるエンジンを参照しながら本発明は説明されているが、商業的な多くの自動車エンジンは、4、6、8、または10基のシリンダを有するV型ブロックを備えている。図の要素22に対応する吸気マニホールドの形状はI型ブロックのエンジンに使用されている本質的に直線状の吸気マニホールドに比べて複雑であるが、上述の空気分離膜の動作の一般的な原理が適用される。例えば、各シリンダの吸気マニホールドは、膜50の下流側に被保持物用のオリフィス(図示せず)を備えててもよい。

20

#### 【0059】

膜50の下流側で酸素に燃料が加えられ、それにより、燃料と酸素濃度が高い空気の混合物を十分に混合する機会が与えられることは明らかである。

#### 【0060】

図5に示す本発明の実施の形態において、空気分離膜150は吸気弁124に組み込まれている。燃料は、ガソリン直噴なわちGDIとして知られている燃料直噴システム160を介してシリンダ130内に直接的に導入される。図示されている燃料直噴システムにおいて、燃料は、高圧にされて降下行程中にシリンダ内に直接的に導入され、空気分離膜150を通過した酸素または酸素濃度が高い空気に混合される。燃料直噴システムまたはGDIシステムは、燃費を向上させるとともにICEの低負荷状態時におけるエミッションレベルを低下させる、成層燃焼またはウルトラリーンバーンを可能にする。膜150を含む弁アセンブリ124は、吸気降下行程の間、閉栓状態で維持される。圧縮行程および動力行程中、燃料が燃焼されているとき、弁システム125に取り付けられている燃料密閉カバー152が降下し、燃料と空気の混合物の損失を抑制するとともに、膜を介する降下行程の圧力損失を抑制する。当業者であれば明らかなように、この構成の場合、弁システムと関連する動作機構のある程度の変更が必要である。本発明のこの実施の形態への適合のさらなる利点としては、燃料直噴システムの構成および動作モードに必要な変更が少しで済むことである。

30

#### 【0061】

代わりの実施の形態において、空気分離膜150を備える弁アセンブリ124は、吸気降下行程全体またはその一部の間閉栓状態で維持され、燃焼のサポートに必要な量の外気が進入するための期間に開栓する。別の代わりの実施の形態において、シリンダヘッドは、外気の酸素を直接的に取り込むための少なくとも一つの付加的な吸気マニホールドポートおよび吸気弁と、図5に関連して上述された空気分離膜50または図3に関連して既に説明された膜50を通過した酸素を取り込むための第2のポートとを備える。

40

#### 【0062】

図6に示す実施の形態では、改良された内燃エンジン210において、全てまたは所定

50

数のシリンダ 230 の壁に、酸素が通過する一つまたはそれ以上の空気分離膜 250 が一体化されている。この断面図に示すように、空気分離膜 250 は、シリンダの壁 230 内に配置され、マニホールドまたは外気輸送流路 222 を通過した外気が供給される。外気輸送流路は、各シリンダに設けられている膜の表面積が増加するように、シリンダの表面を囲んでいる。内燃エンジンの動作仕様の範囲において燃料が完全燃焼するために必要な酸素量を満足するために、十分な数の膜 250 が設けられる。その結果として、吸気弁アセンブリとシリンダを臨む吸気マニホールド入口が省略され、エンジンの構造がシンプル化される。先の実施の形態のように、被保持物の窒素と他の大気由来のガスは、新鮮な外気を膜に流すことができる一つまたはそれ以上のオリフィスを介して外気に排出される。

## 【0063】

10

圧縮行程においてガスと燃料の逆流を抑制するために、また圧縮行程、動力行程、および排気行程において高温の燃焼ガス流を抑制するために、シリンダ内の圧縮ガスから酸素が通過する膜を隔離する膜カバーが設けられてもよい。当業者であれば明らかなように、エンジンプロックおよびシリンダの壁が、膜 250 の搭載のために、また圧縮空気を導入するための内部マニホールドまたは空気流路 222 と接続するために変更される。

## 【0064】

圧縮行程および動力行程において燃焼室からのガスの逆流を防止するために、窒素、NO<sub>x</sub>、およびCO<sub>2</sub> の流れを制限するまたは妨げる膜材料が利用される。固体のセラミック電解質の場合、その電解質を介するイオン移動を中止させるために、流れが遮断される。

20

## 【0065】

代わりの実施の形態において、付加的な弁がシリンダヘッドに設けられ、それにより、急加速や負荷増加などに必要な酸素量を満足するために外気が取り込まれる。燃料の完全燃焼をサポートするためにシリンダに外気が取り込まれる場合、多少のNO<sub>x</sub> 成分が生成され、排気ガス内に放出されることがある。シリンダヘッド内の同一弁または付加的な弁が、燃焼温度を制御するとともにそれによりエンジンプロックやその関連部品に伝達する熱量を制御するために、高温の排気ガスを再循環してもよい。

## 【0066】

O<sub>2</sub> 分離ユニットまたは膜は、異なる種類の内燃エンジンや推進システムに使用されてもよい。例えば、本発明は、任意の種類の炭化水素燃料の燃焼によって駆動する、4気筒、2気筒、6気筒、ヴァンケル、アトキンソン、スターリン、ノーム、ガスターイン、ジェット、ウェーブディスクなどに使用可能である。

30

## 【0067】

純または略純な酸素(O<sub>2</sub>)が燃料の燃焼に使用されるため、その燃焼生成物は、主に、CO<sub>2</sub> と H<sub>2</sub>O とで構成される。水が容易に液化して分離することにより、純または略純なCO<sub>2</sub>を高密度化して蓄えることができる。酸化窒素生成物(NO<sub>X</sub>)、未燃焼の炭化水素、一酸化炭素および他の生成物がなくなるまたは減少することに加えて、触媒コンバータまたは他の搭載型排気ガス処理システムの必要性がなくなるまたは低下する。

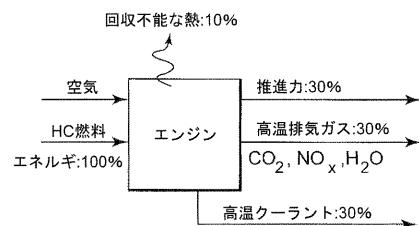
## 【0068】

上述の説明および添付の図面は本発明の様々な実施の形態や実施例を示すものであるが、当業者であればさらなる実施の形態を容易に想到できる。また、発明の保護の範囲は、添付の請求項によって決定される範囲である。

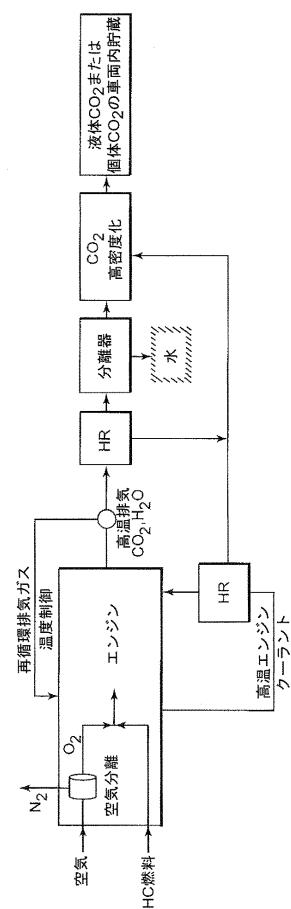
40

【図1】

従来技術

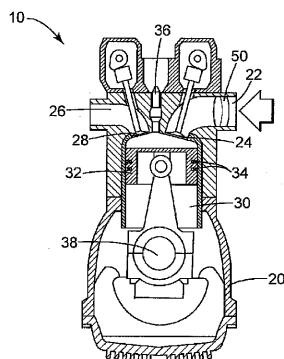


【 四 2 】

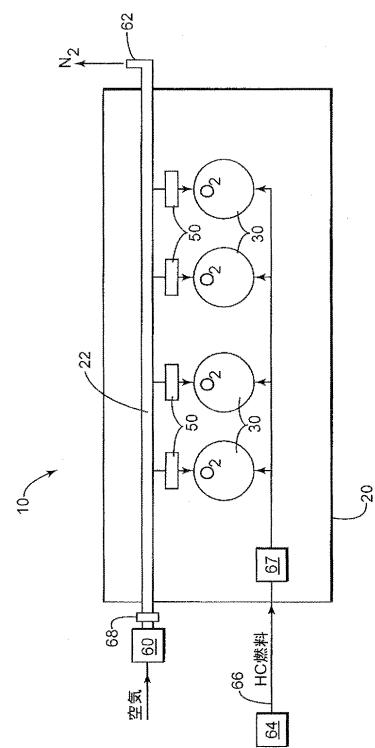


【 図 3 】

FIG. 3

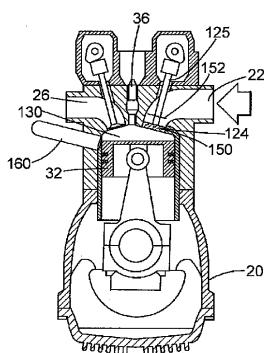


【 図 4 】



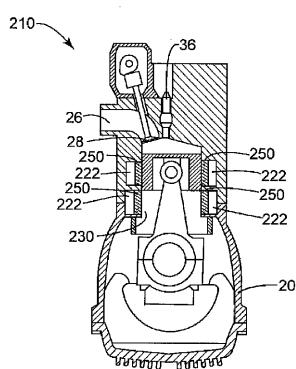
【図5】

FIG. 5



【図6】

FIG. 6



---

フロントページの続き

(72)発明者 ワジディ・イッサム・アル・サダト  
サウジアラビア 31311ダーラン、サウディ・アラムコ、ピー・オー・ボックス 13164

審査官 齊藤 彰

(56)参考文献 特開2009-008053(JP,A)  
特公昭55-045737(JP,B2)  
特表2007-523290(JP,A)  
特表2009-509093(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F02M 33/00  
F02M 26/00  
F02M 31/14  
F02M 35/10