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

特許第5690820号
(P5690820)

(45)発行日　平成27年3月25日(2015.3.25)　(24)登録日　平成27年2月6日(2015.2.6)

(51)Int.Cl.		F I		
F02B 33/36	(2006.01)	F02B	33/36	
F02M 25/022	(2006.01)	F02M	25/02	D
F02M 25/032	(2006.01)	F02M	25/02	S
		F02M	25/02	B

請求項の数 13　(全 17 頁)

(21)出願番号　特願2012-513934(P2012-513934)
(86)(22)出願日　平成22年6月2日(2010.6.2)
(65)公表番号　特表2012-528984(P2012-528984A)
(43)公表日　平成24年11月15日(2012.11.15)
(86)国際出願番号　PCT/US2010/001601
(87)国際公開番号　WO2010/141077
(87)国際公開日　平成22年12月9日(2010.12.9)
審査請求日　平成25年6月3日(2013.6.3)
(31)優先権主張番号　61/217,929
(32)優先日　平成21年6月4日(2009.6.4)
(33)優先権主張国　米国(US)

(73)特許権者　507006156
ジョナサン・ジェイ・フェインステイン
アメリカ合衆国・ニューヨーク・１０５６０・ノース・サレム・クロスビー・ロード・９Ａ
(74)代理人　100076406
弁理士　杉本　勝徳
(74)代理人　100117097
弁理士　岡田　充浩
(72)発明者　ジョナサン・ジェイ・フェインステイン
アメリカ合衆国・ニューヨーク・１０５６０・ノース・サレム・クロスビー・ロード・９Ａ

審査官　佐々木　淳

最終頁に続く

(54)【発明の名称】内燃機関

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

入口空気を圧縮する圧縮機と、

前記圧縮機により圧縮された空気を膨張させる容積式膨張機と、

前記容積式膨張機を出る膨張空気から前記圧縮機を出る圧縮空気へ熱を移動させる熱交換器と、

前記圧縮機及び前記容積式膨張機とは別々の要素からなり、前記圧縮空気を加熱する燃焼室と、

前記空気および燃料を燃焼させるために、前記燃焼室に燃料を噴射する燃焼室用燃料噴射手段と、

を備え、

Ａ／Ｆ比を動的に調整することによって前記燃焼室のピーク温度が特定の温度以下に制御されていることを特徴とする内燃機関。

【請求項２】

前記圧縮機からの圧縮空気を貯蔵する空気貯蔵手段と、前記空気貯蔵手段内の圧縮空気を、前記圧縮機および前記容積式膨張機に対し選択的に隔離する手段と、をさらに備えている請求項１に記載の内燃機関。

【請求項３】

前記空気貯蔵手段内の圧縮空気を、前記圧縮機の前記出口圧力よりも高い圧力に圧縮する第２圧縮機をさらに備えている請求項２に記載の内燃機関。

【請求項４】
空気と燃料を混合する前に水蒸気で燃料を加湿する手段をさらに備えている請求項１に記載の内燃機関。
【請求項５】
空気と燃料を混合する前に液体燃料を気化する手段をさらに備えている請求項１に記載の内燃機関。
【請求項６】
前記燃焼室内の空気又は前記容積式膨張機内の空気に対し蒸発させるための水を噴射する手段をさらに備えている請求項１に記載の内燃機関。
【請求項７】
Ｓ／Ａ比を動的に調整する手段をさらに備えている請求項６に記載の内燃機関。
【請求項８】
前記容積式膨張機で前記空気および燃料を燃焼させるために、前記容積式膨張機に燃料を噴射する膨張機用燃料噴射手段をさらに備えている請求項１に記載の内燃機関。
【請求項９】
前記燃焼室は、燃料および空気の反応速度を高めるのに適した燃焼触媒反応器を含有している請求項１に記載の内燃機関。
【請求項１０】
前記特定の温度が９００°Ｃである請求項１に記載の内燃機関。
【請求項１１】
前記圧縮機としては、容積式圧縮機が適用されている請求項１に記載の内燃機関。
【請求項１２】
前記燃焼室のピーク温度が、圧縮比、膨張比、およびＥ／Ｃ比のうちの少なくとも１つを動的に調整することによって前記特定の温度以下に制御されている請求項１に記載の内燃機関。
【請求項１３】
前記膨張機用燃料噴射手段は２本の同心円管を備え、燃料を前記内管から前記容積式膨張機内のエンクロージャに噴射し、実質的に燃料および酸素のない第２流体を前記２本の管の間の環帯部から前記容積式膨張機に噴射している請求項８に記載の内燃機関。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、内燃機関および当該機関からの動力の発生に関する。
【０００２】
ここで、本発明の内燃機関において使用される用語の定義について説明する。
【０００３】
本明細書において、空気とは、単独か水蒸気噴射との混合状態かを問わず、酸化剤として酸素原子を含有する作動流体またはＩＣＥに関連する燃焼生成物をいう一般用語と定義される。排気はＩＣＥから出る空気をいう。
【０００４】
空燃比またはＡ／Ｆ比は、本明細書において、ＩＣＥで燃焼用に混合される燃料に対する酸化剤の質量比と定義される。
【０００５】
チャンバは、導管、好適な熱交換器を備える圧縮機および膨張機と、燃焼室との間の圧縮気体の複合容積または格納容器と定義される。
【０００６】
圧縮機とは、単動および複動シリンダ、回転スクリュー、ローブ、またはジェロータ型圧縮機、遠心圧縮機および同様な他のものを含むが、それだけに限定されない、空気の圧力を上昇させるために使用されるあらゆるデバイスである。
【０００７】

圧縮比またはＣＲは、サイクルタイムで除した１サイクルにおいて圧縮機がチャンバと連通している間、チャンバと連通している圧縮機の容積の変化と定義される。

【０００８】

ＣＶＴとは、２本のシャフトの毎分回転数（ｒｐｍ）の比率を動的に変更する当分野で周知の無段変速機をいう。

【０００９】

サイクルタイムは、状況により、圧縮機、膨張機または機関の連続状のプロセス始動間の時間と定義される。

【００１０】

Ｅ／Ｃ比とは、ＥＲをＣＲで除した値である。

【００１１】

膨張機とは、単動および複動ピストン、ローブ、ジェロータ、または回転スクリュー型、タービンおよび同様な他のものを含むが、それだけに限定されない、容器内で空気の圧力を低下させるために使用されるあらゆるデバイスである。

【００１２】

膨張比またはＥＲは、サイクルタイムで除した１サイクルで膨張機がチャンバと連通している間、チャンバと連通している膨張機の容積の変化と定義される。

【００１３】

H_2Oは、本明細書において、液体または気体状態の水素と酸素との化合物と定義される。本発明が教唆するように圧縮機、熱交換器、燃焼室または膨張機で液体から気体状態に実質的に変化する液体の例として、H_2O、水および水蒸気が使用される。

【００１４】

ＩＣＥとは、内燃機関を意味する。

【００１５】

噴射とは、添加の方法に関係なく燃料または水などの流体を空気または別の流体に添加することをいい、吸気、噴霧法および同様な他のものを含む。

【００１６】

ピーク温度および火炎温度は両方とも、本明細書において、ＩＣＥの１サイクル中の空気の最高温度と定義される。この温度は通常、燃焼中に達し、等温膨張の場合、膨張が残存することがある。

【００１７】

水蒸気／空気比またはＳ／Ａ比とは、本明細書において、ＩＣＥで空気または燃焼に噴射されるH_2Oの質量を、同様な期間またはサイクルの整数倍でＩＣＥの圧縮機で圧縮される空気の質量で除した値と定義される。

【００１８】

水蒸気は、本明細書において、気体状態のH_2Oと定義される。

水は、本明細書において、液体状態のH_2Oと定義される。

【背景技術】

【００１９】

圧縮燃焼空気を圧縮ステージ間で水または周囲空気との間接的な熱交換で冷却すると、ＩＣＥで所与の圧縮量に必要なエネルギ入力を下げることは周知である。同様に、直接的な水の噴射および蒸発により圧縮中にＩＣＥの空気を冷却することも周知である。圧縮機内の水の蒸発は膨張する気体のモル数を増やす。固定Ｅ／Ｃ比の機関では、増加したモル数の気体の膨張は十分に利用されていない。例えば、水噴射のない所与の条件に対して空気を完全に膨張させるＥ／Ｃ比は、水噴射および蒸発を添加すると空気の膨張が不十分となり、エネルギ効率が損なわれてしまう。したがって水噴射を使用する排気は、ＩＣＥ内の有用な作業を行う代わりに、環境に対する仕事を行う。

【００２０】

ＩＣＥの燃焼器または膨張機内での水噴射および水の蒸発が膨張する気体の容積を増やしおよび／または気体の温度を低下させることは周知である。この方法は固定Ｅ／Ｃ比の

ＩＣＥで採用されているため、燃焼器または膨張機への可変水噴射の燃料効率に実質的な便益は実現されない。

【００２１】

米国特許出願第２００７／００２２９９７７号は、火花点火機関のシリンダ内の水の噴射および蒸発を開示している。６ストローク構成は、吸気行程、空気圧縮行程、点火および動力行程、排気行程、水噴射および蒸発によって駆動される追加行程、および第２排気行程を含む。Ａ／Ｆ比およびＥ／Ｃ比の動的調整はいずれも教唆されていない。この技術は、固定Ｅ／Ｃ比で吸収される圧縮仕事に対して行われる膨張仕事の比率を高めるための水噴射の別の形態を表しているので、水噴射および水噴射の可変量の十分な潜在的利点は実現されない。

【００２２】

圧縮および膨張をそれぞれ専用または個別の圧縮機および膨張機で行うＩＣＥも周知である。圧縮機をクラッチによって膨張機と隔離すること、および圧縮機と膨張機との間の空気貯蔵デバイスを弁によって圧縮機または膨張機と隔離することは周知である。

【００２３】

機関から自動車のホイールなどの動力負荷に旋回力を伝達するためにＣＶＴを使用することは周知である。米国特許第６，０９２，３６５号は、ＣＶＴの使用とは別に、圧縮機と膨張機デバイスの連結に関して教唆している。この特許では排気ガスの顕熱を燃焼吸気に回収することも教唆している。

【００２４】

シリンダのすべての弁をそのサイクル全体を通して閉じたままにし、摩擦損失は別にしてシリンダからの動力の正味ほぼゼロの移入または移出で、シリンダ内の空気を交互に断熱圧縮および断熱膨張させる可動シリンダの全不活性化は周知である。

【００２５】

燃料と酸化剤が反応する温度を低下させる、または反応時間を短縮するための触媒燃焼は周知である。触媒燃焼は、別の方法では所与の動作温度で規定時間内に燃焼しないリーンＡ／Ｆ比を燃やすのに有用であるが、有効な触媒表面積のための空間が十分にないため、容積式圧縮機または膨張機としても使用される機関コンパートメントでは実施できない。触媒燃焼は、アメリカ合衆国コネティカット州のプレシジョン・コンバスション・インク社の特許および出版物で開示されている。

【００２６】

排気の顕熱が、ＩＣＥ内の空気の膨張前に圧縮機からの圧縮空気を間接的かつ向流状態で加熱する回収は周知である。

【００２７】

容積式機関で空気を圧縮および膨張させるために個別のシリンダを使用することは、米国特許第４，６５３，２６９号および第６，０９２，３６５号で開示されている。これらの特許は圧縮空気としてエネルギを貯蔵することと、その貯蔵したエネルギをその後消費することを開示している。米国特許第４，６５３，２６９号は、膨張機が貯蔵された圧縮空気を膨張してその仕事を負荷に伝達するときに圧縮機を切り離すために、あるいは膨張機からの仕事を将来使用するために圧縮して圧縮空気を貯蔵するときに外部負荷を切り離すためにクラッチを使用することを開示している。動作の第３モードで、釣り合いの取れた動力発生および外部負荷による使用のために、圧縮機、膨張機および外部負荷のすべてを係合してもよい。

【００２８】

米国特許第６，０９２，３６５号は、膨張機が貯蔵した圧縮空気を膨張させながら圧縮機を非活性化するための弁のタイミングの使用を開示している。他の時点では、圧縮機は選択的に活性化できる。

【００２９】

弁のタイミングの変更による可動シリンダの部分的な非活性化は周知である。これはしばしばカム軸を長手方向に滑動させて、または別の形でカム軸と弁棒との関係または変位

量を変更して行う。往復圧縮機の部分的または完全な非活性化を提供するために弁のカムレスまたは電子作動も周知である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【００３０】

【特許文献１】米国特許出願第２００７／００２２９９７７号

【特許文献２】米国特許第４，６５３，２６９号

【特許文献３】米国特許第６，０９２，３６５号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【００３１】

本発明の全体的な目的は、周辺発電装置または外部燃焼機関または圧縮機などの他の外部デバイスを追加せずに、ＩＣＥの熱効率を高めることである。

ＩＣＥがノッキングを起こさずに相対的に高い圧縮比および／または低オクタン価の燃料を利用できるようにすることも目的である。

ＩＣＥが高い出力密度で緩焼性の燃料または燃料／空気混合物を利用できるようにすることがさらに別の目的である。

加えて、空冷および水冷などＩＣＥのエネルギ散逸デバイスおよび方法を減らす、またはなくすことが目的である。

断熱膨張時のように空気のピーク温度の対応する上昇なしに、ＩＣＥが行う膨張仕事の量を増加させることがさらに別の目的である。

ＩＣＥの出力密度および熱効率の両方を増加させるためにエネルギを貯蔵することも目的である。

加えて、スロットリング方法で行うよりもその効率に対してＩＣＥの動力出力を低コストで調節することも目的である。

燃料の流通インフラが変わる過渡期に、高い熱効率で炭化水素、水素およびアンモニア燃料を互換可能に使用できるＩＣＥを提供することが別の目的である。

最適な燃料効率で適切な動力の量を提供するために燃料の種類または燃料の混合の変化に動的に反応するＩＣＥを提供することも目的である。他の目的は、以下の説明を読めば当業者には明らかになるであろう。

【課題を解決するための手段】

【００３２】

上記目的を達成するため、本発明では、入口空気を圧縮する圧縮機と、前記圧縮機により圧縮された空気を膨張させる容積式膨張機と、前記容積式膨張機を出る膨張空気から前記圧縮機を出る圧縮空気へ熱を移動させる熱交換器と、前記圧縮機及び前記容積式膨張機とは別々の要素からなり、前記圧縮空気を加熱する燃焼室と、前記空気および燃料を燃焼させるために、前記燃焼室に燃料を噴射する燃焼室用燃料噴射手段と、を備え、Ａ／Ｆ比を動的に調整することによって前記燃焼室のピーク温度が特定の温度以下に制御されていることを特徴としている。

【００３３】

また、前記圧縮機からの圧縮空気を貯蔵する空気貯蔵手段と、前記空気貯蔵手段内の圧縮空気を、前記圧縮機および前記容積式膨張機に対し選択的に隔離する手段と、をさらに備えていてもよい。

【００３４】

また、前記空気貯蔵手段内の圧縮空気を、前記圧縮機の前記出口圧力よりも高い圧力に圧縮する第２圧縮機をさらに備えていてもよい。

【００３５】

また、空気と燃料を混合する前に水蒸気で燃料を加湿する手段をさらに備えていてもよい。

【００３６】

また、空気と燃料を混合する前に液体燃料を気化する手段をさらに備えていてもよい。
【００３７】
また、前記燃焼室内の空気又は前記容積式膨張機内の空気に対し蒸発させるための水を噴射する手段をさらに備えていてもよい。
【００３８】
また、Ｓ／Ａ比を動的に調整する手段をさらに備えていてもよい。
また、前記容積式膨張機で前記空気および燃料を燃焼させるために、前記容積式膨張機に燃料を噴射する膨張機用燃料噴射手段をさらに備えていてもよい。
また、前記燃焼室は、燃料および空気の反応速度を高めるのに適した燃焼触媒反応器を含有していてもよい。
また、前記特定の温度が９００°Ｃであることが好ましい。
また、前記圧縮機として、容積式圧縮機が適用されていてもよい。
また、前記燃焼室のピーク温度が、圧縮比、膨張比、およびＥ／Ｃ比のうちの少なくとも１つを動的に調整することによって前記特定の温度以下に制御されていてもよい。
更に、前記膨張機用燃料噴射手段は２本の同心円管を備え、燃料を前記内管から前記容積式膨張機内のエンクロージャに噴射し、実質的に燃料および酸素のない第２流体を前記２本の管の間の環帯部から前記容積式膨張機に噴射していてもよい。
【図面の簡単な説明】
【００３９】
【図１】本発明の実施の形態に係る内燃機関の模式図である。
【図２】図１の内燃機関の同軸燃料噴射器を示し、（ａ）は横断面図であり、（ｂ）は縦断面図である。
【発明を実施するための形態】
【００４０】
本明細書のすべての説明は、本発明の様々な例示的実施の形態および特徴を開示する。これら例示的実施の形態および特徴は、制限となることを意味するものではない。
【００４１】
〔準等温圧縮〕
動力需要の幅広いまたは急激な変化を受ける動力発生のために、単動または複動往復圧縮機、ローブ、ジェロータ、または回転スクリュー圧縮機の１つなどの容積式圧縮機で圧縮は好適に行われており、最も好ましくはローブ、ジェロータまたは回転スクリュー圧縮機を使用する。実質的に定常状態の動力発生のためには、遠心圧縮機が好ましい。圧縮は、１または複数の圧縮機を介して、直列または並列で作動させてもよい。
【００４２】
圧縮機に誘導または圧縮機内部に誘導する前に、誘導空気は、適した水噴霧ノズルによって空気に水を噴霧するなどして霧化水と混合する。空気と高表面積液滴の液体水の混合物を、好ましくは断熱状態で圧縮すると、空気が加熱されて、少なくとも水の一部が蒸発し、それによって空気水混合物の適度な温度上昇を生じさせる。空気に添加される霧化水の量は、圧縮過程で気化する水の量と少なくとも等しくなるように計量するのが好ましい。
【００４３】
霧化水は、圧縮中に懸濁液の状態に留まり、できるだけ可逆状態に近い状態で蒸発するように十分細かい粒径にするのが好ましい。ＮＯｘ排出を減少するためにガスタービンの圧縮機に水霧を噴射する湿式低ＮＯｘ技術では、ときに１０ミクロンの液滴が使用される。空気を蒸発によって冷却すると、その後の圧縮に必要な仕事が減少し、システム内にエネルギが保持されて、付加的な圧縮動作流体容積が生まれる。
【００４４】
ローブ、ジェロータまたは回転スクリュー圧縮機は、任意でそれぞれの圧縮面間の隙間を封鎖するために水で満たしてもよい。圧縮機で噴霧または注入するために使用される水は、圧縮空気とともに圧縮機を出る出水から再循環させるのが好ましく、環境との意図的

な熱交換によって冷却しないのが好ましい。ローブ、ジェロータまたは回転スクリュー圧縮機は、高い圧縮率が望まれる場合にはフォイル軸受または磁気軸受を使用してもよい。

【００４５】

圧縮ステージ間にサチュレータで代替的にまたは追加的に水を蒸発させてもよい。圧縮加熱された空気は泡になって水から出して、空気を水蒸気で飽和させてもよい。

【００４６】

〔圧縮比または膨張比の調整〕

本発明のある実施の形態では、容積式圧縮機の圧縮比は、誘導空気に水を添加することによって高まり、その水が圧縮空気とともに液体水として圧縮機を出るので、圧縮機の入口および出口容積に対してそれぞれ圧縮機から入るおよび出る空気の体積が減り、それによって空気圧縮のための圧縮機の容積圧縮比が高まる。そのため過剰な水の添加は圧縮機を出る空気の圧力を高める。圧縮機の圧縮比を高めるために使用される水は再循環させ、意図的に冷却しないのが好ましい。

【００４７】

例として、容積圧縮比が１０対１の圧縮機は容積比で９５％の空気と５％の水の混合物を誘導し、それによって空気の容積圧縮比は約９．５対０．５または１９対１まで上昇する。

【００４８】

圧縮比または膨張比を調整する別の方法は、複数の圧縮機または膨張機をそれぞれ直列に動的に接続または切り離すことである。この方法では、気体は可変数の圧縮機によって圧縮し、または可変数の膨張機によって膨張してもよい。例えば、第１圧縮機と直列の第２圧縮機を使用して圧縮気体の圧力を高めてもよく、そのため動力荷重の需要が高まった時に機関の出力密度を高めて、他の時には遮断弁または三方弁によって第２圧縮機を迂回してもよい。

【００４９】

別の例では、燃焼室により圧力の高い気体を収容するために、第１膨張機の下流にタービンを直列に接続してもよく、タービンが気体を完全に膨張させるために必要ないときには、遮断弁または三方弁を使用してタービンを迂回してもよい。

【００５０】

圧縮比または膨張比を調整する別の方法は、当分野で周知のとおりその入口または出口に可変ポート口を備えるローブ、ジェロータまたは回転スクリュー圧縮機または膨張機を利用することである。

【００５１】

〔膨張率／圧縮率の調整〕

本発明では、Ｅ／Ｃ比の調整が必要な多様な条件のために空気を規定の圧力に膨張するのが望ましい。例として、チャンバを出る空気または膨張機を出る空気の絶対温度を、圧縮機を出る空気の絶対温度で除した値が変化する場合、空気を規定の出口圧力に膨張させるためにはＥ／Ｃ比も変化する必要がある。別の例として、チャンバを出る空気または膨張機を出る空気のモル数をチャンバに入る空気のモル数で除した値が変化する場合、空気を規定の出口圧力に膨張させるにはＥ／Ｃ比も変更する必要がある。モル変化の例は、Ａ／Ｆ比の変化、燃料の種類または成分の変化、およびＳ／Ａ比の変化が含まれる。そのため、Ｅ／Ｃ比の変更は、常に機関の熱効率のため、および機関を多様な燃料での使用に適するようにするために重要な制御形態である。

【００５２】

要求される動力が実質的に変動するアプリケーション、およびしばしば自動車アプリケーションなどでは、圧縮機および膨張機をともに容積式デバイスにするのが好ましい。圧縮機は空気を規定の圧縮比またはＥＲでチャンバに導入する。膨張機は、規定の膨張比またはＥＲでチャンバから空気を引き出す。Ｅ／Ｃ比を変更するには、ＣＲおよびＥＲは互いに対して独立して調整される。

【００５３】

Ｅ／Ｃ比の調整は、本発明の範囲内の様々な方法で達成してもよい。往復圧縮機または往復膨張機のいずれかを使用する実施の形態では、往復デバイスの弁のタイミングを変更して、それぞれいずれかのデバイスの所与のｒｐｍに対して異なるＥＲまたはＣＲを生み出してもよい。

【００５４】

さらに別の実施の形態は、ＣＶＴ、１または複数のクラッチ、油圧系統または歯車箱タイプの変速機で、圧縮機と膨張機とを連結することである。Ｅ／Ｃ比を変化させる好適な方法はＣＶＴである。

【００５５】

チャンバに入る気体の温度およびモル数がチャンバから出る気体の温度およびモル数と実質的に同じ実施の形態では、機関の動作時間のできるだけ高いパーセンテージの間、実質的に１に近いＥ／Ｃ比で機関を動作するのが好ましい。チャンバ内の気体の温度を圧縮機から出る気体の温度よりも高くするようにチャンバ内の燃焼を行う実施の形態では、Ｅ／Ｃ比は、チャンバから出る気体の絶対温度を圧縮機から出る気体の絶対温度を除した値に調整する。Ｅ／Ｃ比は様々な温度に加熱する気体を完全に膨張させるように調整してもよく、またはチャンバへの燃料または水の噴射、Ａ／Ｆ比、燃料の種類または燃料の混合を変えることによって、圧縮空気のモル数を膨張する気体のモル数に対して変化させるように調整してもよい。これらの調整のそれぞれに関し、Ｅ／Ｃ比は、空気が圧縮機を出るときおよびチャンバに入るときに圧縮も膨張もしないようにするのが好ましい。Ｅ／Ｃ比の調整は、前述した圧縮比または膨張比の調整の代わりに、またはその補足のために使用して、動力需要に対して変動するまたは動的に変更する燃料効率および出力密度の基準および他の瞬間的な機関の動作条件にとって排気ガスの完全な、またはその他最適な膨張を達成してもよい。

【００５６】

〔熱交換を介した等圧膨張〕

圧縮気体、好ましくは加湿空気は、任意で気／液相分離器を通過して加湿空気から水分を除去してから、空気は好適な熱交換器に入る。圧縮機に水が満たされている場合、または圧縮比を調節するために水を使用する場合に分離器はとくに有用である。

【００５７】

熱交換器は、膨張機から、好ましくは最後の膨張機から出口気体の少なくとも一部、好ましくは全部に向流状態で熱交換させて圧縮気体の少なくとも一部、好ましくは全部を加熱するのが好ましい。熱交換器は、プレートまたはシェルおよびチューブ構成を含めて、いかなるタイプのものでもよい。このような所与のアプリケーションのために熱交換器の構成の設計および選択は当業者には周知である。

【００５８】

燃料を燃焼室および／または膨張機の空気に添加して、膨張機から出る気体の熱質量がチャンバに入る圧縮気体の熱質量より大きくなるようにする。圧縮空気に水を添加して水を吸熱蒸発させて、膨張気体からより多くの熱を吸収し、それによってより大きな熱回収を提供する。燃費を最大にするためには、圧縮空気に添加する水の量は、熱交換器を出る圧縮気体の温度を低下させずに熱交換器を出る膨張気体の温度をできるだけ低下させる量であることが好ましい。熱交換器の前または熱交換器で圧縮気体にこの好適な水の量よりも多い添加を使用して、燃料効率を犠牲にして機関の膨張および出力密度を増加させてもよい。このように燃料効率に最適な量よりも多くの水を添加するとき、水の量は、所与の誘導空気の量が所望の膨張温度を維持するために熱交換器または膨張機の追加の燃料噴射と釣り合いを取る。妥当な燃料効率にとって当該水および燃料の増加した添加の実際的な限界は、圧縮気体および膨張気体に存在する全酸素を燃焼によって消費されるレベルである。この水添加の限界を上回ると、火炎温度はさらに弱まって、燃料効率の損失がより厳しいものとなる。

【００５９】

〔燃焼加熱を介した等圧膨張〕

圧縮機を出る、または好ましくは圧縮機の下流の任意の熱交換器を出る圧縮空気は、膨張させると同時に燃料と反応させることによって等圧加熱される。適した燃料は炭化水素、一酸化炭素、水素およびアンモニアを含むその誘導体、ならびに周囲温度で液体または気体状態のその他燃料を含むが、それだけに限定されない。

【００６０】

燃料は集合的にチャンバと呼ばれるものの特定の燃焼室部分で酸化剤に噴射される。燃焼室は燃料および酸化剤の反応速度を高めるのに適した触媒を入れていてもよい。燃焼室の火炎温度は、酸化剤と組み合わせた燃料の可変する亜化学量論比を提供するように、圧縮される酸化剤の量に対して噴射される燃料の量を調整して調節するのが好ましい。火炎温度は機関の構造の材料に適合する希薄燃料燃焼温度に制限するのが好ましく、機関またはその内容物と環境との熱交換により気体または機関を意図的に冷却することなくこの前記温度に制限するのが好ましい。チャンバ内の最高火炎温度は９００°Ｃ未満である。

【００６１】

ある実施の形態では、高い動力が要求される場合、Ａ／Ｆ比を効果的に低下させるとともに、一般的に機関の長い耐用年数に望ましいものより上の温度を提供するように、燃料噴射を短期間増加させる。このより高い温度エクスカーションの時間温度プロファイルは、許容可能な機関の耐用年数を提供する累積レベルに制限する。許容可能な機関の耐用年数はオペレータが規定してもよいので、オペレータは機関の耐用年数の短縮を犠牲にして、ピーク動力および効率の両方を選択してもよい。機関制御システムは、通常規定される火炎温度を上回る高い温度エクスカーションの後で動力需要が減る場合、通常規定される火炎温度を下回る低い温度エクスカーションを選択して、機関をよりすばやく、より低く、より通例の動作温度に戻して機関の耐用年数を延ばすようにしてもよい。

【００６２】

別の実施の形態では、増加した燃焼噴射に水の噴射を付け加える。この実施の形態では、水噴射および蒸発を増加させて、Ａ／Ｆ比を下げながら燃焼温度を効果的に抑制するので、酸化剤中の酸素がより多く酸化し、追加の水蒸気および燃焼生成物を提供するため、機関の潤滑剤および構造の材料の比較的長い耐用年数に適合する温度で膨張する。

【００６３】

燃焼室への燃料および水の添加は、動力需要、ｒｐｍ、燃料の選択、雰囲気温度と湿度、排気ガスの再循環、チャンバの圧力、Ｅ／Ｃ比および同様な他のものの所与の条件に関して、燃焼室の温度および／または規定のＡ／Ｆ比および水蒸気／空気比に基づいて、閉ループコントローラで制御してもよい。

【００６４】

〔膨張機の等温膨張〕

気体、好ましくは燃焼室で規定の膨張温度に加熱される燃焼気体は膨張機に誘導されて、そこで膨張機への燃料の同時噴射により酸化剤と反応させることによって実質的に等温膨張される。燃料は膨張機内部の１または複数の場所に噴射してもよい。例えば、燃料は膨張機のケーシングにある１または複数のポートを通して回転スクリュー膨張機に噴射してもよい。

【００６５】

膨張機に噴射する燃料の量、場所および方法は、膨張機の膨張過程全体を通して均一な温度、および膨張機の入口温度と実質的に等しい膨張機の出口温度を提供するのが好ましい。膨張機への燃料噴射は、膨張機出口気体温度の閉ループ制御により制御してもよく、または機関の動作条件および所与の時点の動力需要に基づいた規定量にしてもよく、若しくはその両方を併用してもよい。

【００６６】

燃料は膨張機のものを超える圧力で、気体状態で噴射するのが好ましい。噴射する燃料は、水蒸気または水と混合してもよい。

【００６７】

〔燃料噴射〕

内燃機関、とくに非冷却または断熱内燃機関で、噴射器の局部的な溶解または酸化がなく、燃焼を酸化剤に噴射するには、２本の同心円管からなる噴射器を使用する。燃料は内管から噴射され、シュラウドガスは２本の管の間の環帯部から噴射される。シュラウドガスは酸化剤、燃料、若しくは燃料または酸化剤と容易に反応する種類をほとんどまたは全く含有しない。シュラウドガスは水蒸気でもよく、あるいは酸素、燃料および水素または一酸化炭素などの一部酸化した燃料種類が実質的に枯渇した再循環排気ガスでもよい。シュラウドガスの流量は、環帯部の幅とシュラウドガスの環帯部への供給圧力によって定める。シュラウドガスの流量は、許容可能な噴射器の耐用年数に適合する条件を提供するのに適した最低流とするのが好ましい。これらの条件は、様々な動作条件に関して実験で確認してもよい。

【００６８】

代わりに、噴射器は許容可能な噴射器の耐用年数を提供するような十分な耐熱酸化性をもつ１本の管から構成されてもよい。適した材料は、耐火物またはセラミック、およびインコネル合金または排気弁用鋼などの高温金属合金を含む。

【００６９】

〔熱交換器での冷却〕

最後の膨張機から出る空気は、圧縮空気との熱交換、好ましくは向流熱交換器での熱交換により冷却される。そして膨張して冷却された気体は機関から排気される。膨張空気はできるだけ低い温度に冷却されるのが好ましい。膨張空気は、前述の酸化剤熱交換器、または酸化剤熱交換器と直列もしくは並列にした追加の燃料熱交換器で、好ましくは向流状態で、燃料または燃料とH_2Oとの混合物との熱交換により追加冷却してもよい。

【００７０】

〔液体燃料の実施の形態〕

ある実施の形態は、１バールの圧力で沸点が７００°Ｃ未満の燃料の使用を組み込む。例示的な燃料は、ガソリン、ディーゼル、灯油およびアンモニアを含むが、それだけに制限されない。この実施の形態では、燃料の蒸発熱は、膨張機または酸化剤熱交換器を出る空気と熱交換して燃料熱交換器の燃料に提供される。燃料熱交換器は酸化剤熱交換器内にあってもよく、または酸化剤熱交換器と直列もしくは並列にした個別の熱交換器でもよい。燃料は酸化剤とは別の水蒸気で加熱されるのが好ましく、燃焼室に到達するまで酸化剤と組み合わせない。

【００７１】

燃料の蒸発および加熱のこの実施の形態は、例としてアンモニア燃料を使用して説明する。アンモニア燃料は、約２０バールまでの圧力でアンモニアを収容するのに適した貯蔵容器などで、圧力下で液体状態で貯蔵するのが好ましい。２５°Ｃの周囲温度で、アンモニアは貯蔵容器内の圧力が約１０バールに達するまで沸騰する。液体アンモニア燃料は貯蔵容器からポンピング手段を介して高圧にポンピングされてから、熱交換器に搬送されて、そこでアンモニアは好ましくは最後の膨張機または酸化剤熱交換器から出る気体の少なくとも一部との熱交換により加熱されて蒸発する。アンモニアの臨界圧である例示的な１１３バールの圧力の場合、燃料熱交換器でアンモニアは少なくとも１３２°Ｃの臨界温度にまで加熱される。

【００７２】

炭化水素燃料を使用する実施の形態では、燃料はそれが分解するまたは炭素析出物を沈殿する温度より低い温度まで予熱される。燃料は、機関内で、水蒸気メタン改質法としても知られる水蒸気改質法により、少なくとも水素と１または複数の炭素の酸化物を含有する混合物に改質してもよい。水蒸気メタン改質法は文献で十分に教唆されており、反応ガス分子をより多くの生成ガス分子に追加膨張させる。

【００７３】

ある実施の形態では、燃料はターボ膨張機または容積式膨張機などの燃料膨張機でチャンバよりも２バール未満高い圧力まで膨張されてから、チャンバまたは酸化剤膨張機のうち、少なくとも１つに噴射されて圧縮酸化剤とともに燃焼する。

【００７４】
別の実施の形態では、燃料は、燃料熱交換器と実質的に同じ圧力で、かつ酸化剤と混合される容器よりも実質的に高い圧力で、燃焼室または空気膨張機のうち、少なくとも１つに噴射される。
【００７５】
別の実施の形態では、アンモニアが酸化剤と組み合わされる前に、アンモニアが加熱される熱交換器が膨張空気との熱交換により加熱したアンモニアと水との混合物を収容するように、熱交換器で高圧で蒸発したアンモニア燃料に水が添加される。熱交換器で水とアンモニアとの混合物を２００°Ｃまで加熱する例では、アンモニアは気相が１１３バールのアンモニアの臨界部分圧を含有するまで蒸発し、水は気相が１６バールの水蒸気の部分圧力を含有するまで蒸発する結果、約１２９バールの全圧力で、体積比で約８８％のアンモニアと１２％の水蒸気との混合物となる。アンモニアと水はともに混合される前にこの１２９バールの圧力にポンピングされる。加熱されたアンモニアと水蒸気の混合気は熱交換器から移動して、約１２９バールの圧力でチャンバまたは膨張機のうち、少なくとも１つに噴射される。ある実施の形態では、アンモニアおよび水蒸気が噴射されるチャンバまたは膨張機の圧力は実質的に１２９バールよりも低く、より高い圧力の噴射アンモニアおよび水蒸気の混合物は、チャンバ内、膨張機内、またはその両方の気体に対して仕事を行う。
【００７６】
別の実施の形態では、酸化剤と水蒸気との混合物が、燃料熱交換器からのアンモニアと水蒸気との混合物の圧力よりも２バール未満低い圧力まで圧縮されて、チャンバまたは膨張機内の気体に対してアンモニアと水蒸気との混合物はほとんど仕事を行わない。水蒸気飽和の組み合わせを提供する圧力で、ＩＣＥが行う仕事単位あたりの排気からほとんどの熱を取り出す温度で、燃料および水蒸気を酸化剤に噴射するのが好ましい。
【００７７】
〔排気ガスの再循環〕
別の実施の形態では、膨張機および熱交換器の下流の排気ガスを空気圧縮機入口に再循環させて、酸化剤誘導水蒸気の一部をなすようにし、それによって誘導酸化剤水蒸気の酸素含有量を低下させるとともに、水蒸気含有量を上げる。この実施の形態では、水蒸気凝縮の露点温度は、ＥＧＲと略される排気ガスの再循環なく機関の動作に対して上昇する。機関の水添加物として使用するために、排気ガスから水蒸気を凝縮させるために、より高い露点を使用する。
【００７８】
さらに別の実施の形態では、無炭素燃料を使用し、ＥＧＲを採用して、Ａ／Ｆ比を燃焼用の酸素で実質的に化学量論的または亜化学量論的な比率にさせる。再循環しない排気ガスの部分は本質的にH_2Oおよび窒素を含有する。窒素は蒸留によってH_2Oから分離する。分離した窒素はある目的で使用するために販売され、または使用もしくは販売のためにさらに精製される。亜化学量論的酸素を機関で燃焼する場合、残りの燃料は酸素または空気などの酸化剤を添加してそれと反応させることによって除去する。
【００７９】
〔点火〕
電気抵抗加熱素子、スパークプラグまたは燃料と空気の混合物を点火するのに適した高温の熱源を提供する他の同様なものなどの電気機器で始動すると、燃料と空気の混合物が燃焼室で点火される。燃焼触媒の着火または活性化で、空気および燃料の電気的な加熱を中断してもよい。燃焼触媒は当業者には周知であり、活性金属としてＰｔ、Ｐｄ、Ｒｈおよびその組み合わせなど、白金族の金属を使用してもよい。金属は適した幾何学的表面積の基板に被覆したアルミナなど、適した担体に担持してもよい。電気抵抗加熱素子は、当業者に周知であり、ドイツのエミテック社が供給する電流を流す金属箔基板などの触媒反応器に組み込んでもよい。
【００８０】

機関５０を図示する図１を参照すると、空気はライン１を介して供給され、水はリザーバ２からライン３を介して圧縮機４に供給されて、空気と水の混合物が圧縮され、水の少なくとも一部が蒸発する。圧縮された加湿空気は圧縮機４からライン５を介して出て、ライン５は空気を間接熱交換器６に搬送して、そこで膨張機１２を出る空気に好ましくは向流状態での熱交換により空気が加熱される。リザーバ２からの水はライン（番号なし）を介して間接熱交換器６に入る圧縮空気に搬送される。

【００８１】

圧縮・予熱された空気は熱交換器からライン７を介して燃焼室８に搬送され、そこでライン９を介して燃焼室８に導入された燃料と空気が混合されて燃焼する。燃焼室８は電気加熱素子（図示せず）を含んでおり、燃料と空気の混合物および燃焼触媒反応器５２を点火して安定した火炎状態に維持する。リザーバ２からの水はライン１０を介してチャンバに導入される。ライン１１は圧縮して燃焼加熱した空気を燃焼室から膨張機１２に搬送し、そこで空気が膨張する。燃料はライン１３を介して膨張機１２に添加されて、膨張機１２内の空気とともに燃焼して空気を加熱するとともに、膨張機１２内の空気の出口温度と入口温度が実質的に同じようになるように実質的に等温膨張を提供する。リザーバ２からの水はライン１４を介して膨張機１２に搬送されて、そこで蒸発して、空気の膨張中もしくはその始めに、または空気膨張行程とは別の水蒸気膨張行程の始めもしくはその行程中に水蒸気を形成する。個別の空気および水蒸気の膨張行程を使用する場合、好ましくは互いに差し挟み、最も好ましくは交互にする。個別の空気および水蒸気の膨張行程よりも、組み合わせた空気および水蒸気膨張が好ましい。

【００８２】

膨張機１２を出る膨張空気はライン１５を介して間接熱交換器６に搬送されて、そこで圧縮空気との熱交換により冷却される。膨張して冷却した空気は間接熱交換器６からライン１６を介して任意の凝縮器１７に搬送され、そこで実質的に周囲温度で空気または水に接触させて気体がさらに冷却されて、いくらかの水を凝縮させる。冷却した気体および液体は凝縮器１７からライン１８を介して任意の水分離器１９に搬送され、そこで水は気体から分離される。ライン２０は分離した水を水分離器１９からリザーバ２に搬送し、そこから機関に再循環させてもよい。空気はライン２１を介して水分離器１９から出る。ライン２１内の空気は、ライン２２を介して機関から排気される排気ガスと、ライン１にＥＧＲ気体を搬送するライン２３を介して排気ガス再循環（ＥＧＲ）気体とに任意で分離してもよい。ライン２３は、ライン２１からライン１までＥＧＲ気体をポンピングするためのポンピング手段２４を任意で含んでもよい。

【００８３】

ライン３１は圧縮空気をライン５から圧縮機３２に搬送して、そこで空気はライン５よりも相対的に高い圧力に圧縮される。ライン３３はより高い圧縮空気を圧縮機３２から空気貯蔵タンク３５に搬送する。ライン３３はライン５から空気貯蔵タンク３５を隔離する弁３４を含む。より高い圧縮空気は空気貯蔵タンク３５から、隔離弁３７を含むライン３６を介してライン５に搬送される。弁３４および３７は、機関を停止したときに、空気貯蔵タンク３５内の圧縮空気がライン５から隔離して高圧で保持されるように、通常閉弁であるのが好ましい。空気貯蔵タンク３５で凝縮する水は、戻りラインおよび液体レベル制御弁または同様な他のもの（図示せず）を介してリザーバ２に戻ってもよい。

【００８４】

始動時、空気貯蔵タンク３５に貯蔵されるエネルギを利用して機関を始動するまたは始動の助けをするために弁３７を開放するのが好ましい。

【００８５】

燃料は燃料タンク２５からライン２６を介して間接熱交換器６に供給し、そこで燃料は膨張機１２からの出口気体との熱交換により加熱および／または蒸発される。ライン２７は間接熱交換器６からライン９および１３に燃料を搬送する。さらにライン２８は水をリザーバ２から間接熱交換器６に搬送し、そこで水はライン２６からの燃料および少なくとも一部の蒸発器に噴射される。

【００８６】
膨張機１２はシャフト３８を回転させ、シャフト３９は圧縮機４を回転させる。動力はシャフト３８からＣＶＴ４０を介してシャフト３９に伝達されて、ＣＶＴはＥ／Ｃ比の動的な調整のために２つの調整可能なＶ字形滑車とベルトまたはチェーンとを備える。
【００８７】
図２の（ａ）を参照すると、噴射器４１の横断面図が示されている。噴射器は、壁セクション４３内の外管４２と、外管内部に同心円上に取り付けられている内管４４と、燃料を機関壁４３から噴射する内導管４５と、シュラウドガスを機関壁４３から機関キャビティ（図示せず）に噴射するための環状導管４６とからなる。
【００８８】
図２の（ｂ）を参照すると、噴射器４１の縦断面図が示されている。噴射器は、壁セクション４３内の外管４２と、外管内部に同心円上に取り付けられている内管４４と、内導管４５と、シュラウドガスを機関キャビティ４７に噴射するための環状導管４６とからなる。キャビティは図１の燃焼室８内部または図１の膨張機１２内部の容積でもよい。燃料は内導管４５から噴射され、燃料や酸化剤などの燃焼反応物を実質的に含有しないシュラウドガスが環帯部４２からキャビティに噴射される。環帯部内の気体はキャビティ内部の酸化剤から燃料を覆いまたは隔てて、噴射器または機関壁の間近で燃焼反応が起こらないようにしている。外管２は、図示するように壁に挿入してもよく、または壁を貫通する単純な穴から構成して、壁自体が環帯部の外側の境界となってシュラウドガスを含有してもよい。内管は内管と外管との間に隆起部を形成するように窪みをつけて、内管と外管との間に実質的に均一な環状の隙間を維持するようにする。ときに羽口とも呼ばれる噴射器は、米国特許第４，８９８，３６８号および第４，６５７，５８６号など、多くの特許で溶融金属に酸素を噴射するために教唆されている。
【００８９】
〔本発明の動作〕
機関内部のピーク空気圧は、容積圧縮比、Ｅ／Ｃ比、または圧縮空気に噴射する燃料、または燃料と水蒸気の混合物の圧力を変更することによって調整できる。これらの方法には、ＣＶＴの使用、およびシリンダを使用する場合には、圧縮または膨張シリンダの一部もしくは完全な非活性化が含まれる。ＣＶＴを使用すると、膨張機の回転速度に対する圧縮機の回転速度は動的に変わる。このＣＶＴ法は遠心圧縮およびタービン膨張にとって好ましい。圧縮または膨張シリンダの完全な非活性化では、対象シリンダの弁のすべてが１サイクルの間中閉じたままである。圧縮シリンダの一部非活性化では、圧縮行程の始めの部分で長めにシリンダの吸込み弁を開いたままにし、または圧縮行程の最後に長めにその排気弁を開いたままにして圧縮比を下げる。膨張シリンダの一部非活性化では、動力行程の始めの部分で長めにその吸込み弁を開いたままにし、または動力行程の終わりで長めにその排気弁を開いたままにして膨張比を下げる。圧縮比は水などの液体を空気とともに容積式圧縮機に添加することによって上げてもよく、その場合液体も空気とともに液体状態で圧縮機から出る。
【００９０】
膨張機内部、またはより好ましくは燃焼室内部の熱源によって点火が供給される。熱源は電気抵抗または火花タイプのヒータでもよい。燃焼室が現在の燃料と酸化剤の混合物の安定した触媒点火または自動点火および速度に適した温度に達すると熱源は非活性化する。逆火を防止するために、火炎防止器を燃焼室に連動して使用してもよい。
【００９１】
ある実施の形態では、燃料が酸化剤の一部のみと混合するように酸化剤は圧縮機と膨張機との間の２以上の平行な流れに分離して、燃料をすべての酸化剤と組み合わせた場合よりも高い化学量論的状態で燃焼を促進する。それから燃焼室の後で平行な流れを１つの流れに合流する。機関が冷たいとき、またはＡ／Ｆ燃焼限界が狭い燃料を使用するとき、燃料噴射器は燃料を平行な酸化剤の流れの１つのみに噴射してもよく、また機関が熱いとき、またはその他所与の燃料およびＡ／Ｆ比に安定した燃焼を提供する状態のときには、燃

料を複数の酸化剤の流れに噴射してもよい。

【００９２】

安定した火炎が確立された後、または燃焼室もしくは膨張機出口空気の規定温度に達したときにのみ水噴射は開始される。潜在的にＮＯｘ排出を増加させる可能性のある実施の形態は、安定した燃焼を確立するために有利な場合に限り好ましい。

【００９３】

燃焼室の断面積および容積は、安定した火炎状態を達成するために最も適した燃焼室の気体の速度および滞留時間を提供するように設計する。

【００９４】

容積式圧縮機および／またはあらゆるタイプの圧縮機のステージ間のサチュレータでは常に、圧縮空気を水蒸気で完全に飽和させるための水の量は、圧縮時または圧縮前に噴射されるのが好ましい。

【００９５】

圧縮空気を燃焼する前に、膨張機出口空気から圧縮機出口空気に熱を間接的に伝達するための熱交換器の使用が好ましい。等温膨張は前記熱交換器を使用する場合に限り好ましい。低温始動中は圧力降下を抑えるために酸化剤熱交換器に圧縮気体および排気ガスが通らなくてもよい。

【００９６】

燃料は燃焼室で規定の入口温度を達成するような率で膨張機に噴射する。低温始動中に機関を加熱して燃焼触媒を活性化するために、Ａ／Ｆ比は化学量論比の８０％から１５０％の間にし、水噴射は使用しない。機関が熱く、圧縮空気を熱交換器で予熱する場合、火炎温度は過剰な空気および／または水で規定の温度まで弱める。

【００９７】

機関の動力は、膨張機の水蒸気噴射の増大、チャンバの水蒸気噴射の増大、容積圧縮比の増加、より化学量論比に向かうようなＡ／Ｆ比の低下、膨張率に対して圧縮機の圧縮率を減少させながらの空気貯蔵タンクからの圧縮空気の消費のうち、少なくとも１つの組み合わせにより増加する。

【００９８】

機関の動力は、膨張機の水蒸気噴射の減少、チャンバの水蒸気噴射の減少、超化学量論的酸化剤によるＡ／Ｆ比の増加、容積圧縮比の低下、Ｅ／Ｃ比の低下、または排気してチャンバ内の圧力を下げるための圧縮機と膨張機との間のラインの弁の開放のうち、少なくとも１つの組み合わせにより減少する。

【００９９】

火炎温度が上昇したり、Ｓ／Ａ比が増加したり、反応物に対する燃焼生成物のモル比が増加したり、圧縮比が増加したりすると、Ｅ／Ｃ比が増加して規定の膨張機出口圧力を維持する。火炎温度が低下したり、Ｓ／Ａ比が低下したり、反応物に対する燃焼生成物のモル比が低下したり、圧縮比が低下したりすると、Ｅ／Ｃ比が低下して規定の膨張機出口圧力を維持する。

【０１００】

複数の圧縮機を使用する場合、多段圧縮を提供するために互いに直列で組み合わせるのが好ましい。とくにタービンを使用する場合のように膨張機内の等温膨張が実施されない場合、空気を再加熱するために膨張のステージ間に燃焼を入れて、複数の膨張機を直列で使用してもよい。

【０１０１】

空気圧縮、燃料の添加および水の添加の率およびタイミングは、コンピュータまたは同様な他のものにより、好ましくは圧縮出口圧力、圧縮出口温度、膨張出口圧力、膨張出口温度、Ａ／Ｆ比、燃焼室温度、チャンバ圧力、動力需要、機関のｒｐｍ、水噴射器の圧力、燃料噴射器の圧力、周囲空気温度、周囲空気湿度、空気貯蔵圧力および燃焼の種類または混合のうち、少なくともいくつかからの入力信号とともに閉ループ制御を使用して制御するのが好ましい。

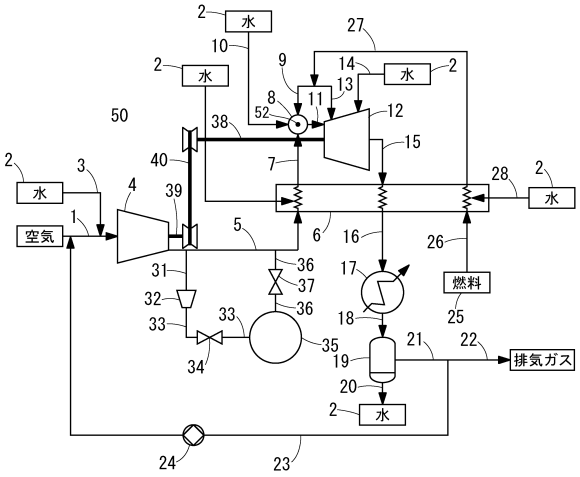
【０１０２】
本発明を一定の好適な実施の形態に関して説明してきたが、個々の実施の形態の様々な特徴を組み合わせて明示的に説明していない追加の実施の形態を形成することができる。また、本開示を読んだ後で当業者には明らかな他の実施の形態も本発明の範囲内である。さらに、本発明を実施するのに必ずしも特徴、側面および利点のすべてが必要なわけではない。したがって、前述の説明は様々な実施の形態に適用したときの本発明の新規な特徴を示し、説明および指摘してきたが、本発明の精神を逸脱することなく、通常の技術者は例示した装置またはプロセスの形態および細部に様々な省略、置換および変更を行えることは理解されるであろう。本発明は本明細書で明示的に説明していない他の特定の形態で実施してもよい。前述した実施の形態はあらゆる点において単なる例示として考えるべきであり、いかなる形でも制限と考えてはならない。したがって、本発明の範囲は以上の説明ではなく、以下の請求項によって示される。

【符号の説明】

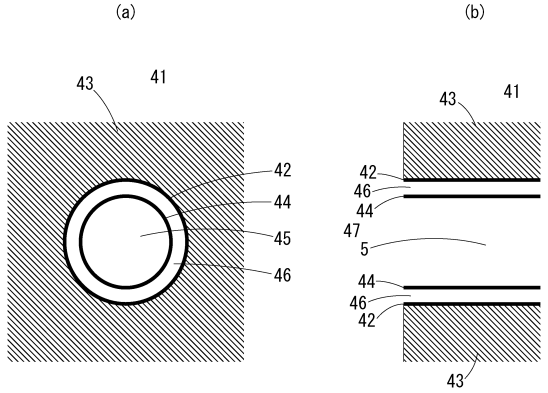
【０１０３】

２　　リザーバ
４　　圧縮機
６　　間接熱交換器
８　　燃焼室
１２　　膨張機（容積式膨張機）
３２　　第２圧縮機
３４　　弁（圧縮空気を隔離する手段）
３５　　空気貯蔵タンク（空気貯蔵手段）
３７　　隔離弁（圧縮空気を隔離する手段）
４１　　噴射器（燃焼室用燃料噴射手段、膨張機用燃料噴射手段）
４２　　外管
４４　　内管
４６　　環状導管（環帯部）
５０　　内燃機関
５２　　燃焼触媒反応器

【図１】


水
空気
燃料
排気ガス
50
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
52

【図２】


(a)
(b)
41
42
43
44
45
46
47
5

フロントページの続き

(56)参考文献 特開昭５１－１１６３４７（ＪＰ，Ａ）
特開２００７－１３８７１５（ＪＰ，Ａ）
特開２００７－２１１６３４（ＪＰ，Ａ）
特表２００８－５３３３５３（ＪＰ，Ａ）
特開昭６１－０３１６１９（ＪＰ，Ａ）
特開２００６－２７４９７３（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－１５６９５４（ＪＰ，Ａ）
特開平１１－０６３４４７（ＪＰ，Ａ）
特開平０８－１７７６０４（ＪＰ，Ａ）
特開２００５－１８０３４３（ＪＰ，Ａ）
特開平１０－１１０６４７（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｆ０２Ｂ　３３／３６
Ｆ０２Ｍ　２５／０２２
Ｆ０２Ｍ　２５／０３２