(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第4233877号
(P4233877)
(45)発行日　平成21年3月4日(2009.3.4)　(24)登録日　平成20年12月19日(2008.12.19)

(51)Int.Cl.　　F I
F02G 1/055 (2006.01)　　F02G 1/055 A
F02G 1/05 (2006.01)　　F02G 1/05 A

請求項の数 22　(全 19 頁)

(21)出願番号　特願2002-590229(P2002-590229)
(86)(22)出願日　平成14年5月10日(2002.5.10)
(65)公表番号　特表2005-515339(P2005-515339A)
(43)公表日　平成17年5月26日(2005.5.26)
(86)国際出願番号　PCT/US2002/014771
(87)国際公開番号　WO2002/092987
(87)国際公開日　平成14年11月21日(2002.11.21)
審査請求日　平成17年4月28日(2005.4.28)
(31)優先権主張番号　09/853,239
(32)優先日　平成13年5月11日(2001.5.11)
(33)優先権主張国　米国(US)

(73)特許権者　500025466
ニュー・パワー・コンセプツ・エルエルシー
アメリカ合衆国、ニュー・ハンプシャー州　０３１０１、マンチェスター、コマーシャル・ストリート　３４０
(74)代理人　100071010
弁理士　山崎　行造
(74)代理人　100104086
弁理士　岩橋　赳夫
(74)代理人　100121762
弁理士　杉山　直人
(74)代理人　100126767
弁理士　白銀　博

最終頁に続く

(54)【発明の名称】センサーを使用したバーナー内空燃比制御のための方法および装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
ヒーター・ヘッドを備える外燃機関のバーナー空燃比を制御するための方法であって、当該バーナーがバーナー内に空気を噴射するためにブロワー駆動信号に応答するブロワーを備え、当該方法が少なくとも前記バーナーの燃焼室からでた排気ガス生成物の中の一つのガスの濃度を使用し、
（１）排気ガス生成物内のガスの濃度を測定するステップと、
（２）測定したガス濃度からガス濃度信号を発生するステップと、
（３）ガス濃度信号がブロワー駆動信号に比例する場合には符号を「正」と定義し、ガス濃度信号がブロワー駆動信号に反比例する場合には符号を「負」と定義し、更にガス濃度信号と、ブロワー駆動信号およびガス濃度信号との関係から誘導される当該符号とによって空燃比を決定するステップと、
（４）バーナー内に供給する空気流量を調整することによって空燃比を制御するステップと、
から成る方法。
【請求項２】
請求項1に記載の方法において、前記排気ガス生成物内のガスの濃度を測定するステップが、ガス成分センサーを使用したステップから成ることを特徴とする前記方法。
【請求項３】
請求項2に記載の方法において、前記ガス成分センサーを使用したステップが酸素センサ

ーと一酸化炭素センサーの内の少なくとも1つを使用したステップからなることを特徴とする前記方法。
【請求項４】
請求項1に記載の方法において、前記排気ガス生成物内のガスの濃度を測定するステップが、酸素と一酸化炭素の内の少なくとも1つを計測するステップから成ることを特徴とする前記方法。
【請求項５】
請求項1に記載の方法において、前記外燃機関がスターリン・サイクル・エンジンであることを特徴とする前記方法。
【請求項６】
請求項1に記載の方法において、前記バーナー内に供給する空気流量が、予め定めた最適な空燃比を得るために調整されたものであることを特徴とする前記方法。
【請求項７】
請求項6に記載の方法において、前記最適な空燃比が、少なくともブロワーによってバーナーの燃焼室の中へ供給される空気の温度に基づき決定されたものであることを特徴とする前記方法。
【請求項８】
請求項7に記載の方法において、前記空気の温度は、ブロワーによってバーナーの燃焼室内に供給される空気の流路内に設けた温度センサーを使用して測定されたものであることを特徴とする前記方法。
【請求項９】
請求項7に記載の方法において、前記空気の温度は、少なくともヒーター・ヘッドの温度に基づき決定されたものであることを特徴とする前記方法。
【請求項１０】
請求項3に記載の方法において、ガス成分センサーが一酸化炭素センサーであり、バーナー内に供給する空気流量が、一酸化炭素センサーから発生したガス濃度信号を最小化するように調整されたものであることを特徴とする前記方法。
【請求項１１】
請求項3に記載の方法において、ガス成分センサーが一酸化炭素センサーであり、バーナー内に供給する空気流量が、一酸化炭素センサーからのガス濃度信号を予め定めた値以下にするように調整されたものであることを特徴とする前記方法。
【請求項１２】
少なくともバーナーの燃焼室で発生した排気ガス生成物内の一つのガス濃度に基づき、ヒーター・ヘッドを備える外燃機関のバーナーの空燃比を制御する装置であって、
（１）燃焼室で発生した排気ガス生成物内のガス濃度を測定し、センサー信号を発生するセンサーと、
（２）ブロワー駆動信号によって管理され、空気をバーナー内へ供給するためのブロワーと、
（３）バーナー内の空燃比を制御するためのコントローラであって、センサーからセンサー信号を受け取り、センサー信号がブロワー駆動信号に比例する場合には符号を「正」と定義し、センサー信号がブロワー駆動信号に反比例する場合には符号を「負」と定義し、更に、少なくともセンサーからのセンサー信号と、センサー信号およびブロワー駆動信号との関係から誘導される当該符号とに基づきブロワー駆動信号を調整するためのコントローラと、
から成ることを特徴とする装置。
【請求項１３】
請求項12に記載の装置において、前記センサーがガス成分センサーであることを特徴とする前記装置。
【請求項１４】
請求項13に記載の装置において、前記ガス成分センサーが酸素センサーと一酸化炭素セン

サーの内の少なくともいずれか一つであることを特徴とする前記装置。
【請求項１５】
請求項12に記載の装置において、前記センサーが少なくとも酸素と一酸化炭素の内の一つのガス濃度を計測するものであることを特徴とする前記装置。
【請求項１６】
請求項12に記載の装置において、前記外燃機関がスターリン・サイクル・エンジンを含むものであることを特徴とする前記装置。
【請求項１７】
請求項12に記載の装置において、バーナー内における前記空燃比が、予め定められた最適空燃比となるように制御されることを特徴とする前記装置。
【請求項１８】
請求項17に記載の装置において、前記最適空燃比が、少なくともブロワーによってバーナーの燃焼室へ供給される空気の温度に基づいて決定されるものであることを特徴とする前記装置。
【請求項１９】
請求項18に記載の装置において、前記空気の温度がブロワーによってバーナーの燃焼室内に供給される空気の流路内に設けた温度センサーを使用して測定されたものであることを特徴とする前記装置。
【請求項２０】
請求項18に記載の装置において、前記空気の温度は、少なくともヒーター・ヘッドの温度に基づき決定されたものであることを特徴とする前記装置。
【請求項２１】
請求項14に記載の装置において、前記ガス成分センサーは一酸化炭素センサーであり、ブロワー駆動信号が一酸化炭素センサーから発生したセンサー信号を最小化するように調整されることを特徴とする前記装置。
【請求項２２】
請求項14に記載の装置において、前記ガス成分センサーは一酸化炭素センサーであり、ブロワー駆動信号が一酸化炭素センサーからのガス濃度信号を予め定めた値以下になるように調整されることを特徴とする前記装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、スターリン・サイクル・ヒート・エンジン用バーナーの改良に関し、更に詳細には、バーナーに供給される燃料と空気の制御の改良に関係する。
【背景技術】
【０００２】
エンジン、冷凍機を含むスターリン・サイクルを利用した機械は、長い技術的歴史を有し、オックスフォード大学出版のWalker著、Stirling Engines (1980)に詳細に記載されており、ここではこれをリファレンスとして引用している。スターリン・サイクル・エンジンの基本原理は、スターリン熱力学を機械的に実現することである。即ち、シリンダ内におけるガスの等容加熱、等温膨張(ピストンを動かすことによってある仕事がなされる行程である)、等容冷却、および等温圧縮である。理想的なスターリン熱力学サイクルでは、作動流体は等容加熱、等温膨張、等容冷却、そして等温圧縮のサイクルを連続的に行う。このサイクルを実現すること、これは現実には等容でも等温でもないが、は本発明の範囲内であり、これを実現するために、理想的な条件での用語を使用したここでの説明に注目することができる。そしてここでの説明は特許請求の範囲に記載された本発明の範囲を限定するものではない。
【０００３】
スターリン・サイクルを利用した機械とこれに関する改良に関連した追加的な説明は、対応する米国特許出願No. 09/517,245 (出願日2000年3月2日)に記載されており、これを

引用することにより本明細書の一部を成す。

【０００４】

スターリン・サイクル・エンジンの作動原理は、図1a-1fに簡単に記載してあり、これらの図で示す識別番号は同じ部品または類似の部品を識別するために使用している。スターリン・サイクル・エンジンの機械的なレイアウト関しては多くのものが知られている。数字10を付して図示するスターリン・エンジンは単にイラストとして示したものに過ぎない。図1aから1dには、ピストン12（またはここでは、「圧縮ピストン」と呼んでいる）と第二のピストン（またはここでは、「膨張ピストン」と呼んでいる）がシリンダ16内を位相差を持って往復運動をして動くようすが描かれている。圧縮ピストン12と膨張ピストン14は、互いに離れて配置され相互に連通したシリンダの中を動くようにすることもできる。ピストン・シール18は、ピストン12とピストン14の間のシリンダ内に保持された作動流体が両ピストンの周囲から漏れるのを防ぐために使用されている。本明細書で後述するように、作動流体は熱力学的な特性によって選ばれ、典型的には数気圧に加圧されたヘリウムが使用される。膨張ピストン14の位置によって決定される流体の容積空間は、膨張空間22と呼ばれている。圧縮ピストン12の位置によって決定される流体の容積空間は、圧縮空間24と呼ばれている。図に示すような形態をしたスターリン・エンジン10であるか、またはその他の形態のものであるかに関わらず、流体が膨張空間22と圧縮空間24の間を流れる際、再生熱交換器26を通過することになる。再生熱交換器26は、作動流体が膨張空間22から入ってきたときには作動流体から熱を吸収し、作動流体が圧縮空間24から膨張空間22へ戻る時には作動流体を加熱するように作動するものであり、体積に対する表面積の比率の大きな材料のマトリックスからできている。エンジン・サイクルの第一段階では(初期の状態は図1aに描かれいる)、ピストン12は圧縮空間24において流体を圧縮する。熱は流体から周辺環境に放出されるので、圧縮行程は一定温度下で行われる。実際には、本明細書において後ほど述べるように、クーラー68（図2参照）が備えられている。

【０００５】

圧縮行程が終了した時点でのエンジン10の状態を、図1bに示す。エンジン・サイクルの第二段階では、膨張ピストン14は流体の容積を一定に維持するために圧縮ピストン12と一緒に動く。流体が膨張空間22へ移動する時に、再生熱交換器26を通過して流れ、流体の圧力が上昇するように再生熱交換器26から熱を吸収する。この流体移動の段階が終了する時点では、図1cに示すように流体は高圧状態となって、膨張空間22内に存在する。エンジン・サイクルの第三段階(膨張）では、エンジン10の外部から熱を吸収するため膨張空間22の容積は増加し、それによって熱は仕事に変換される。実際には、本明細書において後ほどもっと詳しく述べるように、ヒーター64（図2参照）によって膨張空間22内の流体に熱が供給される。膨張行程の終了時点においては、図1dに示すように膨張空間22全体が高温流体で満たされている。エンジン・サイクルの第四段階では、流体は膨張空間22から圧縮空間24へ移動し、流体が再生熱交換器26を通過する時に、再生熱交換器26を加熱する。この第二の流体移動の終了時点では、図1aに示すように、流体は圧縮空間24内に存在し、圧縮行程を繰返す準備ができる。スターリン・サイクルは、図1eに示すP-V（圧力－容積）線図、および図1fに示すT-S（温度－エントロピ）線図で表すことができる。スターリン・サイクルでは、基本的にサイクル途中において作動流体が入れ替わることはない、クローズド・サイクルとなっている。

【０００６】

スターリン・サイクル・エンジンは、開発上存在するいくつかの課題のために、まだ一般的には応用されていない。この課題には、効率、振動、寿命、そしてコストのように、これを実現する上で検討しなければならない事項が含まれている。本発明は、これらの検討事項を取り上げている。

【発明の開示】

【０００７】

発明の概要

本発明の好適な実施例によれば、ヒーター・ヘッドを備えた外燃機関のバーナー空燃比

を制御するための方法が提供され、このバーナーは、バーナー内に空気を供給するためにブロワー駆動信号に応答するブロワーを備えている。この方法は少なくとも前記バーナーの燃焼室からでた排気ガス生成物の中の一つのガスの濃度を使用し、排気ガス生成物内のガスの濃度を測定するステップと、測定したガス濃度からガス濃度信号を発生するステップと、ガス濃度信号と、ブロワー駆動信号およびガス濃度信号との関係から誘導される符号とによって空燃比を決定するステップと、バーナー内に供給する空気流量を調整することによって空燃比を制御するステップとを含んでいる。

【０００８】

本発明の別の実施例によれば、排気ガス生成物内のガスの濃度は、ガス成分センサーを使用して測定される。このガス成分センサーは、酸素センサーまたは一酸化炭素センサーとすることができる。前記したバーナー内に供給する空気流量は、予め定めた最適な空燃比を得るために調整することができ、この最適な空燃比は、少なくともバーナーの燃焼室の中へ供給される空気の温度に基づき決定されるものである。一つの実施例では、この空気の温度は、温度センサーを使用して測定されたものである。また別の実施例では、この空気の温度は、少なくともヒーター・ヘッドの温度に基づき決定されたものである。

【０００９】

更に別の実施例では、ガス成分センサーが一酸化炭素センサーであり、バーナー内に供給する空気流量は一酸化炭素センサーから発生したガス濃度信号を最小化するために調整されるものである。これとは別に、この空気流量は、一酸化炭素センサーからのガス濃度信号を予め定めた値以下にするために調整されるものである。

【００１０】

本発明を別の観点から見れば、ヒーター・ヘッドを備える外燃機関のバーナーの空燃比を制御する装置が提供されている。この装置は少なくともバーナーの燃焼室で発生した排気ガス生成物内の一つのガス濃度に基づいており、バーナーの燃焼室で発生した排気ガス生成物内のガス濃度を測定し、センサー信号を発生するセンサーを含んでいる。この装置は、ブロワー駆動信号によって管理され、空気をバーナー内へ供給するためのブロワーも含んでいる。更にこの装置は、センサーからセンサー信号を受け取るコントローラを含んでいる。このコントローラは、少なくともセンサー信号とブロワー駆動信号との関係から誘導される符号に基づき、バーナー内の空燃比を制御するためにブロワーを調整する。

【００１１】

別の実施例では、この装置はバーナーの燃焼室で発生した排気ガス生成物内のガス濃度をモニターするためのガス成分センサーを含んでいる。このガス成分センサーは酸素センサーまたは一酸化炭素センサーである。空気流量は、予め定められた最適空燃比となるようにするために制御され、この最適空燃比は、少なくともバーナーの燃焼室へ噴射される空気の温度に基づいて決定されるものである。一つの実施例として、この空気の温度は、温度センサーを使用して測定されたものである。別の実施例では、空気の温度は少なくともヒーター・ヘッドの温度に基づき決定されたものである。

【００１２】

更に別の実施例では、前記ガス成分センサーは一酸化炭素センサーであり、バーナーに供給される空気の流量は一酸化炭素センサーから発生したガス濃度信号を最小化するために調整される。これとは別に、空気の流量は一酸化炭素センサーからのガス濃度信号が予め定めた値以下になるように調整することができる。

【００１３】

本発明を別の観点から見れば、ヒーター・ヘッドを備えた外燃機関のバーナー内空燃混合ガスの空燃比を制御する方法が、バーナー内の空燃比を決定するステップとバーナー内の空燃混合ガスに使用される予加熱された空気の温度を決定するステップとを含んでいる。空気の流量は予め定めた最適な空燃比を得るために調整され、この最適な空燃比は少なくとも予加熱された空気の温度に基づき決定されるものである。一つの実施例では、この予加熱された空気の温度は温度センサーを使用して計測することができる。別の実施例では、予加熱された空気の温度は少なくともヒーター・ヘッドの温度に基づき決定されたも

のである。

【００１４】

本発明を更に別の観点から見れば、外燃機関のバーナー内のある空燃比を有する空燃混合ガスへ着火するための方法が、少なくとも空燃混合ガス内で使用されている空気の温度に基づいて、空燃混合ガスへ着火するための最適な空燃比を決定するステップを含む。この方法は、更にバーナー内へ供給する燃料流量を調整することにより、空燃比を最適な空燃比よりも燃料の量が多く含まれた初期着火空燃比にセットするステップを含んでいる。この初期着火空燃比は空燃混合ガスが着火するまで維持される。いったん空燃混合ガスが着火されると、最適な空燃比とするために燃料流量は減らされる。

【００１５】

別の実施例では、バーナー内の空燃混合ガスへ着火するための方法が、空燃混合ガスの空燃比をバーナーのコントローラの記憶エリアから取り出した着火空燃比にセットするステップと、この着火空燃比で空燃混合ガスを着火させることを試みるステップとを含んでいる。この方法は、更にもし空燃混合ガスが着火しない場合に、空燃混合ガスが着火するまで着火空燃比の上または下へ空燃比を交互に増減させることにより空燃比を調整するステップを含んでいる。空燃混合ガスが着火した時の空燃比は、着火空燃比としてコントローラの記憶エリア内に保存される。またこの方法は、空燃比を調整する前に未燃焼の空燃混合ガスでバーナーをパージするステップを更に含ませることもできる。一つの実施例では、空燃比はバーナー内へ供給する空気の流量を変えることにより調整される。また、別の実施例では、空燃比はバーナー内へ供給する燃料の流量を変えることにより調整される。

【発明を実施するための最良の形態】

【００１６】

先ず、図2について説明する。ここには、一般的な番号28を付してスターリン・サイクル・エンジンの一つの実施例であるエンジンの断面図が示されている。図2に示したスターリン・エンジンを参照しながら本発明を説明するが、この他の多くのエンジンやその他燃料を燃焼させるボイラー、炉、およびこれに関係する機械も同様に、本発明の範囲内にある種々の実施例や改良例から恩恵を受けることができるものであると理解すべきである。図2に示すスターリン・エンジン28の形態は、アルファ・コンフィギュレーションと呼ばれ、圧縮ピストン30と膨張ピストン32とは各々別のシリンダ内を直線運動することが特徴となっている。即ち、圧縮ピストン30は圧縮シリンダ34の中を動き、膨張ピストン32は膨張シリンダ36の中を動く。アルファ・コンフィギュレーションは、例として説明するためだけのものであり、添付した特許請求の範囲に記載した発明の範囲を限定するものではない。

【００１７】

圧縮ピストン30と膨張ピストン32の他に、スターリン・エンジン28の主要なコンポーネントとして、ヒーター64、再生熱交換機66、およびクーラー68がある。圧縮ピストン30と膨張ピストン32、これらを総称してピストンと呼ぶことにするが、これらは各空間38と40内をそれぞれ直線往復運動をするようになっている。シリンダー・ライナー42はそれぞれシリンダー面を形成する。ここでは、ヒーター64とクーラー68に近いシリンダ内部の容積部分のことを、エンジン28の高温部分、および低温部分とそれぞれ呼んでいる。圧縮ピストン30と膨張ピストン32の直線往復運動の相対的な位相（位相角）は、クランク・ケース46内に収納された駆動機構44と各ピストンとの結合状態によって決定される。駆動機構44はピストン間の相対的なタイミングを決定し、直線運動と回転運動の相互変換を行うために使用されている。圧縮ピストン30と膨張ピストン32は、第一のコネクティング・ロッド48と第二のコネクティング・ロッド50を介して駆動機構44へそれぞれ結合されている。圧縮シリンダ34の容積38は、作動流体のサイクリックな冷却を可能とするために、ダクト45を介してクーラー68に連通されている。更に詳細に説明すると、ダクト45は容積38をクーラー68、再生熱交換器66、およびヒーター64から成る円環状熱交換器へ連通させている。膨張シリンダ36は作動流体、好ましくはヘリウムであるが、を含み、この作動流体はヒー

ター・ヘッド52を通じた熱伝導により、バーナー（図示せず）で発生した高温ガスによって加熱される。高温ガスから作動流体への熱の伝導を増加させるために、ヒーター・ヘッドには熱交換器（図示せず）を備えることができる。この熱交換器は、例えば、ヒーティング・ループであっても良い。一つの実施例として、ヒーター・ヘッドを通過する熱の伝導を増大させるために、ヒーター・ヘッド表面上に複数のピンまたはフィンを使用している例がある。熱伝達ピンを使用する例とその製造方法は、対応する米国特許出願No. 09/115,381（出願日1998年7月14日)、および対応する米国特許出願No. 09/517,245（出願日2000年3月2日)に記載されており、これを引用することにより本明細書の一部を成す。

【００１８】

スターリン・エンジンは高い熱効率と、汚染物質の排出が少ないという特徴を持っているものではあるが、スターリン・エンジンのヒーター・ヘッドを加熱するために使用されるバーナー406（図4に示すようなもの）の熱効率向上の要求が特に強い。この熱効率に関係する要因には、バーナー中に供給され、燃料を燃焼させる酸化剤（典型的には空気であり、この明細書および添付する特許請求の範囲では、限定的ではなく「空気」と呼ぶことにする）の加圧効率と、ヒーター・ヘッド408を通過する高温の排気ガスの回収が含まれる。多くの応用例では、空気（あるいは、別の酸化剤）は熱効率の目標を達成するために、ヒーター・ヘッド408の温度近くまで、燃焼前に予加熱される。スターリン・エンジンのヒーター・ヘッドを加熱した後の、燃焼ガス内にはまだかなりの量のエネルギーが残っている。当該技術分野に精通した者に知られているように、バーナーに供給される前の燃焼用空気に、排気ガスから熱を吸収させるために熱交換器が使用される。プリ・ヒーター412は、エアー・ポンプまたはブロワーによって周辺環境から取り入れた空気が排気ガスから熱を吸収できるように熱交換するものである。

【００１９】

高い効率を達成し汚染物質の排出を低減するために、バーナーは実質的に完全燃焼するものでなければならない。実質的に完全燃焼を行わせるために、プロパンのようなガス状燃料と同様、空気の量も計測してバーナー内へ送り込まれる。この他の燃料ガスとしては、天然ガス、メタンガス、ブタンガス、液化石油ガス(LPG)、発生炉ガス、木炭ガス、およびメタノールやエタノールのような気化させた液体燃料などがある。バーナー内において点火できること、点火後汚染物質の排出が少ないこと、そしてスターリン・エンジンに熱エネルギーを供給することを考慮して、燃料と空気の流量は制御される。また、一酸化炭素(CO)や炭化水素の排出を減少させるために、十分な量の酸素を供給し、燃料と空気を良く混合しなければならない。また、更に窒素酸化物(NO_X)が生成するのを抑えるために、燃料と空気は十分低い火炎温度で燃焼させねばならない。

【００２０】

予加熱された空気の温度が高いことは、高い熱効率を達成する上で望ましいものではあるが、燃料と空気の予混合を難しくすることになり、汚染物質を低減するという目的を達成することが難しくなる。また、火炎温度を制限するために過度な量の空気が必要になるという複雑な問題も生じる。ここで、この明細書および特許請求の範囲で使用される「自然点火温度」という用語は、燃料および空気をある圧力下に存在させ、点火温度を下げる触媒を使用しないという条件下で、自然に燃料が点火する温度と定義する。一般的には、予加熱された空気の温度は、ほとんどの燃料に対して自然点火温度を超えており、基本的には燃焼室に入る前に燃料と空気の混合ガスは点火する。この問題を解決する方法の一つに、予混合しない拡散火炎（diffusion flame）を使用する方法がある。しかし、このような拡散火炎は十分に混合されないので、COやNO_Xの排出量が望ましい水準を越えることになる。火炎の挙動に関する詳細な議論は、ターンズ著の「燃焼入門：その概念と応用」(マクグロウヒル出版、1996年）（Turns, AnIntroduction to Combustion: Concept and Applications, (McGraw-Hill, 1996）に記載されており、これを引用することにより本明細書の一部を成す。火炎温度の上昇を抑えるために空気流量を増加させると、エアー・ポンプまたはブロワーによって消費されるエネルギーを増大させることになり、そのため全体としてのエンジン効率を低下させることになる。

【００２１】
本発明によれば、燃料の自然点火温度以上に空気を加熱した上で予混合火炎を作り出し、空気取り入れ口と火炎が生じている位置の間での圧力損失を最小化して、ブロワーのエネルギー消費を最小化することにより、汚染物質の排出を低減すると共に高い効率を達成している。
【００２２】
用語「火炎速度」は、特定の燃料と空気の混合ガスの中を火炎が前方に伝播する速度として定義する。この明細書および特許請求の範囲の中では、用語「燃焼軸」とは、燃焼している流体の流れの主流の方向を言う。
【００２３】
次に、図3a-3cについて説明する。この図には、スターリン・サイクル・エンジンに適用するための、あるいは本発明の実施例としてその他の燃焼器へ応用することができるインテーク・マニホールド399が示されている。ここで説明する好適なインテーク・マニホールドとバーナーは、例示のために説明するものであり、添付する特許請求の範囲に記載された内容を限定するためのものではない。この他にも、予混合バーナーの構成としては種々のものが当該技術分野で知られている。本発明の好適な実施例では、燃料の自然点火温度以上に加熱された空気と燃料は予混合され、燃料と空気を良く混合した上で燃焼室409（図4参照）に至るまで火炎が形成されないようにしている。図3aには、インテーク・マニホールド399と燃焼室310を含む装置の好適な実施例を示してある。インテーク・マニホールド399は、ブロワー328によって供給される空気300を取り入れるためのマニホールド入口303と共に軸対称形状をした導管301を備えている。空気300は、一般的には1000°K以上にまで予加熱されており、この温度は燃料の自然点火温度を超えるものである。導管301は、燃焼軸320に対して半径方向内側に向かって流れる空気300を導管301の中に配置された渦巻き板302へ導く。図3bは本発明の実施例である、渦巻き板302を含む導管301の断面図を示したものである。図3bに示す実施例では、渦巻き板302には空気300の流れを半径方向内側に向け、かつ空気流に回転方向成分を加えるための渦巻き状のベーン330が数個設けられている。導管の渦巻き板部分の直径は、渦巻き板のベーン330の長さによって決まり、入口部330から渦巻き板302の出口部334にかけて小さくなっていく。渦巻き板のベーン330の径が小さくなっていくに従い、空気300の流速は、ベーンの径に実質的に反比例して増加する。空気300の流速は、燃料の火炎伝播速度を越えるようになるまで加速される。渦巻き板302の出口334において、ガス状の燃料（好適な実施例ではプロパンが使われているが）が空気流の内側に向かって噴射される。
【００２４】
好適な実施例では、燃料306は図3cに示すように、燃料噴射器304によって一連のノズル336を介して噴射される。更に詳しく説明すると、図3cは導管301の断面図を示すものであり、燃料の噴射ノズル336を備えている。各ノズル336は渦巻き板のベーン330の出口であって、二つの隣接するベーンの中央に配置されている。このようにノズル336を配置することにより、空気と燃料の混合の効率を高めることができる。燃料噴射ノズル336のサイズは、燃料が導管301を横切って、導管の厚さの少なくとも半分程度まで広がって噴射されるように設計されている(図3aと3bを参照)。燃料噴射ノズル336の大きさを決定するための計算は、当該技術分野では公知であり、ビアーとチジャー著作の「燃焼空気力学」ジョン・ワイリー・アンド・サンズ発行、1972年（Beer and Chigier, “Combustion Aerodynamics,” John Willey &Sons, 1972）に記載されている。ノズル336は空気流300を横切って燃料306を同時に噴射する。空気流は火炎伝播速度より早いので、たとえ空気と燃料の混合ガスの温度が燃料の自然点火温度を超えていたとしても、混合された位置において火炎が形成されることはない。好適な実施例では、プロパンが使用されており、予加熱温度はヒーター・ヘッドの温度によって決定されるものであるが、約900°Kとなっている。
【００２５】
再び、図3aを参照する。今後、空気と燃料が混合されたものを「空燃混合ガス」または「燃空混合ガス」と呼ぶことにする。この空燃混合ガスの流れは、曲面形状を有するフェ

アリング322を備え、導管301の出口部307に取り付けられたスロート308を通過する際に方向が変えられる。燃料306は燃料レギュレータ324を介して供給される。スロート308は内側の曲面314と外側の曲面316を備える。空燃混合ガスの流れは、燃焼軸320に対して実質的に直角で半径方向内側に向かった方向から燃焼軸と実質的に並行な方向に変化する。スロート308のフェアリング322の形状は、スロートの入口311からスロートの出口312にわたって、スロート308内流路の断面積が一定の値となるように逆ベル形の形状をしている。フェアリングの形状は、スムースで段差のないものであり、流れの剥離と剥離による流れの渦が生じないように渦巻き板の出口からスロート308の出口に至る間で流速が維持される。スロートの断面積が一定なので、空気と燃料は流速を下げることなく、あるいは圧力損失も生じないで混合し続ける。スムースで断面積を一定とすることにより効率的な渦巻き板が構成され、渦巻き板の効率は、渦巻き板全長にわたる静圧損失の比率として表され、この静圧は渦巻き板内の流れの動圧に変換され得るものである。本発明の実際の応用においては80%を超える高い効率を有する渦巻き板が作られている。したがって、燃焼器用空気ファンのエネルギー損失は最小限に押さえられる。

【００２６】

スロートの出口部312は、外に向かって末広がりに広がっており、空燃混合ガス309が燃焼室310の中へ分散し、空燃混合ガス309は火炎伝播速度以下に減速する。その結果、火炎はある位置に安定して留まり、かつ維持される。渦巻き板302によって生じた回転方向の運動量は、当該技術の分野でよく知られている火炎を安定化させる渦を生じさせる。

【００２７】

上述したように、燃料と空気の流量は、着火後にクリーンな排気ガスを排出する事に併せて、バーナー内における火炎の着火を考慮して制御されている。図3aについて説明すると、燃料レギュレータ324とブロワー328のそれぞれによって供給される燃料と空気の流量を制御するためにバーナー・コントローラ326が使用されている。燃料レギュレータ324は着火のための初期値にセットされている。いったん、火炎が発生するとヒーター・ヘッドの温度センサー404によって計測されるヒーター・ヘッド温度を制御するために、バーナー・コントローラ326は燃料の流量を変化させる（図4参照)。火炎検出器が火炎を検出することにより、火炎が発生していることが判る。火炎検出器にはいろいろなタイプのものがあり、当該技術の分野ではサーモ・カップルや紫外線センサーが知られている。火炎の検出方法については、対応する米国特許出願 No.09/517,808（出願日2000年3月2日）に記載されており、これを引用することにより本明細書の一部を成す。燃焼用空気ブロワー328の出力(または空気の質量流量)は、燃焼室409（図4参照）内の空燃比を制御するためにバーナー・コントローラ326によってセットされる。空燃比とは、空気の質量流量に対する燃料の質量流量の比であり、排気ガスに影響を及ぼす重要なファクターである。ブロワー328は燃料の質量流量に対する空気の質量流量を増加させまたは減少させることによって空燃比を制御する。例えば、空燃比を一定に保つために、燃料レギュレータ324がその出力を上げるに従って、バーナー・コントローラ326はブロワー出力を増加させ、逆の場合もまた同様である。希望する空燃比と燃料の流量は同時に変えることができる。そのときには、希望する空燃比と燃料の流量の両方の変化に適応するために、バーナー・コントローラ326はブロワー328の出力も変化させる。

【００２８】

一酸化炭素(CO)、炭化水素(HC)、および窒素酸化物(NO_X)の排出を最小化するためには、完全燃焼を実現できる希薄な空燃混合ガスが必要になる。この希薄な空燃混合ガスは理論混合比（すなわち、例えばプロパンを使用した場合、燃料1グラムに対して空気15.67グラムである。）よりも空気比率が多くなっている状態のものである。一定に固定された量の燃料に対して、空気を更に加えていくことによって、CO、HC、およびNO_Xの排出量は減少していき、空燃混合ガス中の空気の比率が一定値になると、燃焼中の火炎が不安定になるような状態になる。このような状態になると、空燃混合ガス中のある部分は完全燃焼することなくバーナーから排出される。空燃混合ガスの不完全燃焼は、大量のCOとHCを発生させることになる。希薄消炎限界（Lean Blow-Out limit: “LBO”）に至って火炎が消え

るまで、空燃混合ガス中の空気量を増やしていくと、COとHCの排出は急激に増加する。供給される空気（すなわち、予加熱された空気であるが）の温度が増加するに従ってLBOはより希薄な状態になる。その結果、スターリン・エンジンのウォーム・アップ中、予加熱された空気の温度が増加するに従って、最適な空燃混合ガスの空燃比は低下する。いったんエンジンがウォーム・アップされてしまうと、エンジンを運転するために、空燃比は最適な空燃比に保持されるか、あるいは最適な空燃比以下に保持される。

【００２９】

それゆえに、最初に空燃比は、着火させるために最適な空燃比となるように制御しなければならない。いったん火炎が発生すると、空燃比は、予加熱された空気の温度と燃料のタイプに基づき、有害排気ガスを最小化するために制御される。ヒーター・ヘッドの温度を調整するために、燃料の流量を増加または減少させるとき、空気の流量もまた適切な空燃比を維持するように調整される。

【００３０】

燃料は、空燃比の限定された範囲内でのみ着火する。着火時、使用される燃料に対応する理論空燃比よりもわずかに高いか、またはわずかに低い着火空燃比が使用される。前述したように、希薄な空燃混合ガスを使用することは一酸化炭素(CO)、炭化水素(HC)、および窒素酸化物(NO_X)の排出を最小化する。しかし、一般的には希薄に予混合した空燃混合ガスの点火は困難になる。

【００３１】

本発明の実施例では、希薄に予混合した空燃混合ガスをバーナー内で点火し易くするために“チョーク”状態にする。図5aは、本発明の実施例であって、バーナーに供給される燃料と空気を制御するための装置を表したブロック・ダイアグラムである。バーナー502はブロワー528と燃料源504に連結されている。バーナー・コントローラ526は、バーナー502に供給される燃料と空気を制御するためれに使用されている。図3a-3cに関連して説明したように、バーナー502は、燃料源504からの燃料とブロワー528からの空気とを予混合し、空燃混合ガスを形成させるために使用されるインテーク・マニホールドを含む。

【００３２】

チョークした状態は、バーナー・コントローラ526を使用して、予混合した空燃混合ガスを、点火に必要な初期の比較的高い濃度の着火空燃比にすることによって達成される。いったん火炎ができると、燃料の流量を低減するために計量バルブ510を使用して、着火空燃比を希薄な空燃比に調整する。計量バルブは当該技術分野で知られている高速作動計量バルブとすることができる。高濃度の混合ガスから希薄な混合ガスへの空燃比の調整は、火炎を安定化させるため短い時間(一秒以下の時間)内に行われる。

【００３３】

図5bは、本発明の実施例であって、空燃混合ガスを着火させるために使用される代表的な等価空燃比の時間変化を示したものである。図5に示す等価空燃比は時間に対してプロットされている。ここで用語「等価空燃比」は当該技術分野で良く知られたものであり、空燃比(前に定義したものである)を理論空燃比によって標準化(ノーマライズ)したものである。等価空燃比と空燃比のグラフ上の挙動は類似しており、以下の議論では空燃比と呼ぶ。図5bに示した実施例では、空燃混合ガスの着火空燃比は、初期の段階では比較的濃い混合ガスにセットされている。燃料としてプロパンを使用した好適な実施例では、初期の空燃混合ガスは空気1グラム当り燃料0.9グラムにセットされている。いったん火炎が発生512すると、燃料源504(図5a参照)からの燃料流量を短い時間内(一秒以下の時間)に減少させる一方、空燃比を低減514させるために空気の流量はブロワー528(図5a参照)によって一定値に維持される。図5bでは、空燃比は空気1グラム当り燃料0.7グラムにまで低減されている。図5aに関連して説明したように、高速応答計量バルブ510を使用して、燃料流量を減少させることもできる。火炎は、一般的に、より希薄な空燃比においても安定化516する。

【００３４】

バーナー中で空燃混合ガスを着火させるときに遭遇するもう一つの問題は、通常起こり

うる材料の損傷の他、材料および製造が同一でないこと起因して起こるバーナー特性の変動である。バーナー特性の変動は、バーナー中で低温時に空燃混合ガスを点火しようとするときに特に関係する問題である。上述した材料および製造が同一でないというような装置上の小さな変化であっても、空燃混合ガスをバーナー内で点火しようとすると上手くいかない場合がある。そのため、点火シーケンス中には適切な空燃比を使用することが重要になる。前に説明したように、与えられた燃料はある限定された空燃比を越える場合にのみ着火する。「着火空燃比」の範囲は、特定の使用環境下では非常に狭いものである。

【００３５】

本発明の実施例では、バーナー・コントローラ526（図5a参照）はバーナー内で空燃混合ガスを着火させるために、適切な空燃比を探し出すための適応プロセスを実行している。図6は、バーナー・コントローラによって空燃混合ガスを着火させるために使用することができる、等価着火空燃比を交互に段階的に変化させていくシーケンスをグラフィカルに示したものである。前述したように、等価空燃比は理論空燃比に対して標準化(ノーマライズ)した空燃比のことである。本発明の実施例では、バーナー・コントローラは、空燃混合ガスに点火することに成功したときに使用された最後の着火空燃比を記憶している。この時系列的な着火空燃比の値は、その後に点火しようとする際に使うことができる。図6に示すように、バーナー・コントローラは記憶してある着火空燃比602を空燃混合ガスを点火する際の初期値として使用する。もし最初着火の試みが失敗したとき、着火空燃比を下げて第二の着火空燃比604とする。一つの実施例として、空燃比を調整する前に、未燃焼の空燃混合ガスでバーナーをパージすることもできる。着火空燃比は、燃料の流量または空気の流量のいずれかを変えることにより調整することができる。ブロワーは細かい調整が可能なので、バーナーに供給する空気の量を変えることが望ましい。

【００３６】

もし、空燃混合ガスを第二の着火空燃比604で点火させることに成功したら、その第二の着火空燃比は、将来空燃混合ガスを点火する際、あるいは再点火する際に使用するためにバーナー・コントローラによって記憶される。もし、第二の着火空燃比604で着火させることができなかった場合には、バーナー・コントローラは着火空燃比を第一の着火空燃比602および第二の着火空燃比604よりも高い第三の着火空燃比606まで高める。前にも述べたように、空燃比を調整する前に未燃焼の空燃混合ガスでバーナーをパージすることができる。もし、空燃混合ガスを第三の着火空燃比で点火させることに成功したら、その第三の着火空燃比606は、将来空燃混合ガスを点火する際の初期値として使用するためにバーナー・コントローラによって記憶される。もし、第三の着火空燃比で、空燃混合ガスがバーナー内で着火しなかった場合には、このプロセスを続行し、着火空燃比を第四の着火空燃比608まで再び下げる。第四の着火空燃比608は、第一の着火空燃比602と第二の着火空燃比604の両者より低い。図6に示すように、着火空燃比を調整するシーケンスは、バーナー内の空燃混合ガスが着火するのに成功するまで繰り返される。空燃混合ガスが点火した着火空燃比の値は、次回空燃混合ガスを点火しようとする際または再点火しようとする際のためにバーナー・コントローラによって記憶(そして、以前に記憶された値は置き換えられる)される。このプロセスを適応することによって、バーナー装置をコンポーネントの劣化やその他の変化に対して適応できるようにすることができる。

【００３７】

バーナー内の空燃混合ガスの点火特性は、予加熱した空気の温度によって生じる燃料の可燃限界が変化することによっても影響を受ける。予加熱した空気の温度がより高い場合には、より希薄な空燃混合ガスであっても容易に点火し、安定した火炎を得ることができる。従って、例えば、前に述べた方法によって、適切な点火を確実に行うことができるようにするために、予加熱した空気の温度に基づき着火空燃比を調整することができ、またはオフセットさせることができる。前にも述べたように、希薄な空燃混合ガスを使用することは一酸化炭素(CO)、炭化水素(HC)、および窒素酸化物(NO_X)の排出を最小化する。予加熱した空気の温度は、望ましくはサーモカップル410のような温度センサーを使用して、図4に示すように燃焼室409に結合された渦巻き板402の中で計測される。実測された予

加熱した空気の温度は、予め定めた点火のための空燃比と予加熱した空気の温度の間の関係に基づき、着火空燃比の適切なオフセット量を決定するために使用される。前述したように、予加熱した空気の温度がより高い場合には、一般に希薄な空燃混合ガス使用することができる。従って、一つの実施例では、予加熱した空気の温度がより高い場合には、着火空燃比をより希薄な着火空燃比へ下げている。

【００３８】

この着火空燃比は火炎が安定化し、燃焼室の内部の温度がウォームアップ温度になるまで維持される。図4について説明すると、燃焼室409の温度は、典型的にはヒーター・ヘッド408の温度を計測することにより定められ、または燃焼室が加熱されている時間を考慮することにより決定される。サーモカップルのような温度センサーを、ヒーター・ヘッドの温度を計測するために使うことができる。好適な実施例では、着火空燃比はヒーター・ヘッドの温度が300℃に到達するまで、または火炎が点火されてから５秒間の間は保持される。

【００３９】

いったん火炎が安定し、燃焼室409の温度が必要なウォームアップ温度に達すれば、空燃比は予加熱した空気の温度および燃料のタイプに基づいて制御される。

【００４０】

前に述べたように、予加熱した空気の温度803があがると、図8で示したように、空燃混合ガスの最適な空燃比801は低下する。予加熱した空気の温度は、好適には、予加熱した空気に燃料を混合する直前の空気流内に配置した高温測定用のセンサーを使用して測定される。例えば、図4においては、温度センサー410は、予加熱した空気の温度を測定するために渦巻き板402内の空気流中に配置されている。

【００４１】

また、予加熱した空気の温度はヒーター・ヘッドの温度から推測することもできる。予加熱した空気の温度は、実測したヒーター・ヘッドの温度と、ヒーター・ヘッド、バーナー、およびプリ・ヒーターの数学的モデルから予測することができる。この数学モデルは、図7に示すようにコンデンサーと抵抗からなるアナログ電気回路で構成されたものである。図7は、本発明に関連して、ヒーター・ヘッドとプリ・ヒーターの熱的挙動に関する電気的なモデルに置き換えて示したものである。熱系の装置を表現するのに、アナログ電気回路を使用することは本技術の分野では良く知られているものである。図7に示すような数学的モデルは、バーナー・コントローラによって使用され、ヒーター・ヘッドの実測温度に基づいて予加熱した空気の温度を予測する。

【００４２】

図7では、バーナーによって発生した熱エネルギーは熱源710によって表されている。V_{head}は既知のヒーター・ヘッド温度である。ヒーター・ヘッドの温度を測定するためには、図4で示したサーモカップル404のような温度センサーを使用することができる。再び図7へ戻ると、予加熱した空気の温度はほぼプリ・ヒーターの温度$V_{preheater}$になる。コンデンサー702はヒーター・ヘッドの熱容量を表し、コンデンサー704はプリ・ヒーターの熱容量を表している。抵抗706は、ヒーター・ヘッドを離れる燃焼ガスとプリ・ヒーターの間の熱抵抗を表している。抵抗708は、入ってくる予加熱された空気とプリ・ヒーターの間の熱抵抗を表している。図7に示したアナログ電気回路を記述するために使用することができる一連の方程式とプリ・ヒーターの温度$V_{preheater}$の解は、当該技術の分野では良く知られている。この熱数学モデルに基づけば、ヒーター・ヘッドの温度から数百℃だけ引くことにより予加熱した空気の温度の近似値が得られる。一つの実施例では、予加熱した空気の温度はヒーター・ヘッド温度から約300℃低いものとして与えられている。

【００４３】

空気温度が室温であるスタート時の空燃比から、運転中のウォームアップされた状態で予加熱された空気の温度における空燃比まで、最適な空燃比は、予加熱した空気の温度と共に直線的に減少する。空気の温度が、既知である燃料の自然点火温度を越えているときには、空気は十分にウォームアップされているものと考えられる。例えば、プロパンの自

然点火温度は490℃である。燃料としてプロパンを使用した好適な実施例では、スタート時の空燃比は空気1グラムに対して燃料0.052グラムであり、その結果スターリン・エンジンの排気ガス中の酸素は約4%となる。上記実施例における運転中の空燃比は、空気1グラムに対して燃料0.026グラムであり、その結果スターリン・エンジンの排気ガス中の酸素は約13%となる。

【００４４】

スターリン・エンジンの排気ガス中に含まれる酸素を測定することにより、空燃比を決定することができる。図9について説明する。排気ガスをサンプリングし排気ガス中の特定のガス濃度を測定するために、燃焼室310(図3a参照)から出る排気ガスの流路中にガス・センサー902を配置することができる。以下に説明する実施例では、ガス・センサー902として酸素センサーを使用して、排気ガス中の酸素の濃度を計測している。酸化ジルコニウムを使用した酸素センサー902は、酸素レベルを測定するのに使用することができる。酸化ジルコニウム・センサーを含め、多くの酸素センサーは図10に示すように空燃混合ガス918の空燃比の変化に対して単調でない応答をする。これについては後で更に説明する。図10は、等価空燃比と排気ガス中の酸素の濃度との間の関係、および等価空燃比と酸素センサー(酸化ジルコニウム・センサー)の信号との間の関係を示している。

【００４５】

図9について説明する。排気ガス中の酸素レベルを測定した後、ガス・センサー902は信号904をバーナー・コントローラ910(又は空気－燃料コントローラ)に送る。バーナー・コントローラは、ブロワー912へブロワー信号908を出力する。ブロワー912によって供給される空気は、空燃混合ガス918を形成するために燃料源914から燃料レギュレータによって供給される燃料と混合される。バーナーに十分な空気の流入があるとき、ガス・センサーが測定しようとする排気ガス中の余剰酸素の量は変動する。希薄な条件下では、ガス・センサーの信号は図10のカーブ1002で示すように、排気ガス中に存在する酸素に比例する。しかしもし、空気の流量が十分低くなったら、排気ガス中には酸素は存在しなくなる。かわりに、排気ガス中には不完全燃焼を示す一酸化炭素が大量に発生する。このような燃料リッチな状態または酸素が不足した状態においては、ガス・センサーは酸素に反応せず、一酸化炭素(CO)に反応する。このときガス・センサーの信号は、図10のカーブ1004に示すように等価空燃比に比例する。

【００４６】

本発明の好適な実施例では、このようなセンサーの応答によって、燃料が希薄な状態又は燃料リッチな状態の何れの状態にあっても空燃比を決定し、空気と燃料を適切に制御することができる。図10について説明する。実際の空燃比は、酸素センサーの信号の大きさと、ブロワー信号に対する酸素センサー信号の関係から誘導される符号によって決定することができる。誘導される符号が正の場合（ブロワー信号と酸素センサー信号が共に増加する場合）には、バーナーは燃料が希薄か酸素リッチの領域で運転されていることを示す一方、誘導される符号が負の場合には、バーナーは燃料リッチの領域で運転されていることを示す。従って、ブロワー信号が増加すると共に、排気ガス中の酸素の濃度(O_2%)が増加する場合には、バーナーは燃料が希薄な状態で運転されていることを意味し、ブロワー信号が増加すると共に、排気ガス中の酸素のレベル(O_2信号)が減少する場合には、バーナーは燃料リッチな状態で運転されていることを意味する。

【００４７】

燃料－空気コントローラ910(図9参照)は、バーナー906が運転されている領域が何れであるかに基づいて、最適な空燃比が得られるようにブロワー912の流速を遅くしたり、速めたりして調整を行う。

【００４８】

別の実施例では、ガス・センサー902(図9参照)として一酸化炭素センサを使用して、スターリン・エンジンの排気ガス中の一酸化炭素(CO)濃度を計測し、空燃比を決定してもよい。COセンサーはコスト上の利点がある。空燃比とCO排気信号との関係は、図11に示すような断片的な直線として表わされる。図11は等価空燃比とCO排気信号との関係を示したも

のである。この関係は単調なものではなく、与えられたCO値またはCOセンサの信号に対して、２つの空燃比の値を取り得る。前述した方法と同様に、等価空燃比は、COセンサ信号の大きさと、ブロワー信号に対するCOセンサ信号との関係から誘導される符号とから決定することができる。図9を見ると、ブロワー信号908とCOセンサ902からのCO信号を使用して、コントローラ910は現在の空燃比を決定し、その決定した値と望ましい(または最適な)空燃比とを比較し、望ましい(または最適な)空燃比に近づけるためにブロワー912を制御する。

【００４９】

コントローラ910は、COセンサに基づいて空燃比を制御するために多くの方法を採用することができる。一つの実施例は、コントローラ910は望ましい(または最適な)空燃比に近づけるために、ブロワー912の流速を速めたり、遅くしたりして調整する。このほかの実施例としては、コントローラ910は、CO信号を最小化するためにブロワー信号を変えることができる。最小の信号を探し出すために使用される最適制御アルゴリズムは当該技術の分野では良く知られている。更に別の実施例では、コントローラ910は、CO信号を予め定めた値以下に保持するように、バーナー内に供給される燃料と空気を制御することができる。この場合、COレベルが望ましいレベル以下に留まっている限りは、空燃比は変動することが許容される。

【００５０】

ここで述べた装置および方法は、プロパン、天然ガス、メタン、ブタン、液化石油ガス(LPG)、発生炉ガス、木炭ガス、およびメタノールやエタノールのような気化させた液体燃料など(これらに限定するものではないが)を含む全てのガス状燃料に適用することができる。本発明に関連し、ここで述べた装置および方法は、スターリン・エンジンの他にも適用することができる。また、ここで説明した本発明の実施例は、単に代表的なものとして示したものであり、当該技術分野に精通した者であれば、この他にも多数の変形や改造を導きだせることは明らかである。このような全ての変形や改造は、添付した特許請求の範囲に定義している本発明の範囲内に含まれる。

【図面の簡単な説明】

【００５１】

本発明は、以下の説明と添付する図面を参照することにより、より容易に理解することができる。

【図１】図1aは、スターリン・サイクルを使用した機械の作動原理を説明するための図である。図1bも同様に、スターリン・サイクルを使用した機械の作動原理を説明するための図である。図1cも同様に、スターリン・サイクルを使用した機械の作動原理を説明するための図である。図1dも同様に、スターリン・サイクルを使用した機械の作動原理を説明するための図である。図1eも同様に、スターリン・サイクルを使用した機械の作動原理を説明するための図である。図1fも同様に、スターリン・サイクルを使用した機械の作動原理を説明するための図である。

【図２】図2は、本発明の実施例であるスターリン・サイクル・エンジンの横断面図である。

【図３ａ】図3aは、本発明の好適な実施例あるスターリン・サイクル・エンジンに使用する燃料のインテーク・マニホールドの側方からの断面図を示したものである。

【図３ｂ】図3bは、図3aの燃料インテーク・マニホールドの切断面BBにおける上方から見た断面図を示したものである。

【図３ｃ】図3cは、図3aの燃料インテーク・マニホールドの切断面AAにおける下方から見た断面図を示したものであり、燃料噴射ノズルを示す。

【図４】図4は、本発明の実施例であるバーナーとヒーター・ヘッド組立の断面図であり、温度センサーの配置を示す。

【図５ａ】図5aは、本発明の実施例であり、バーナーに供給される燃料と空気の制御システムを示したダイヤグラムである。

【図５ｂ】図5bは、本発明の実施例であり、空燃混合ガスへ着火させるために使用される

代表的な等価着火空燃比を時間の関数として示したものである。
【図６】図6は、空燃混合ガスへ点火するためにバーナー・コントローラによって使用することができるものであって、等価着火空燃比をステップ状に交互に変えていくシーケンスをグラフ化して示したものである。
【図７】図7は、本発明の実施例である、ヒーター・ヘッドとプリ・ヒーターの熱的挙動を電気的なモデルとして表したものである。
【図８】図8は、本発明の実施例である、プロパンを使用した場合の予加熱した空気の温度と最適な空燃比との関係を示したものである。
【図９】図9は、本発明の好適な実施例である、酸素センサーを使用したブロワーの制御のブロック・ダイアグラムを示したものである。
【図１０】図10は、本発明の好適な実施例である、等価空燃比と排気ガス中の酸素濃度との関係、および等価空燃比と典型的な酸素センサーの信号との関係を示したものである。
【図１１】図11は、本発明の実施例である、等価空燃比と排気ガス中一酸化炭素濃度との関係を示したものである。

【図１】

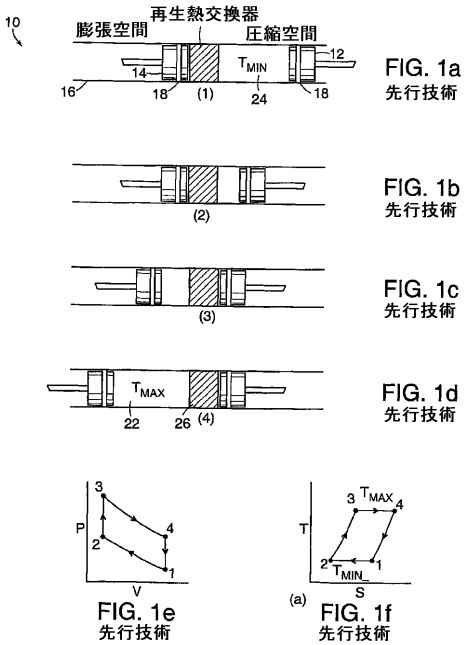


FIG. 1a 先行技術
FIG. 1b 先行技術
FIG. 1c 先行技術
FIG. 1d 先行技術
FIG. 1e 先行技術
FIG. 1f 先行技術

【図２】

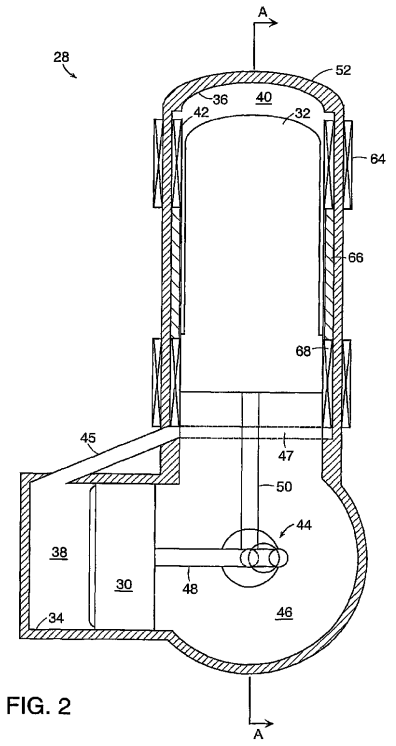


FIG. 2

【図３ａ】

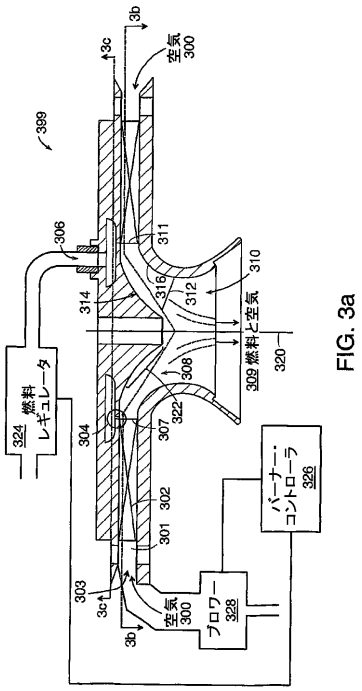
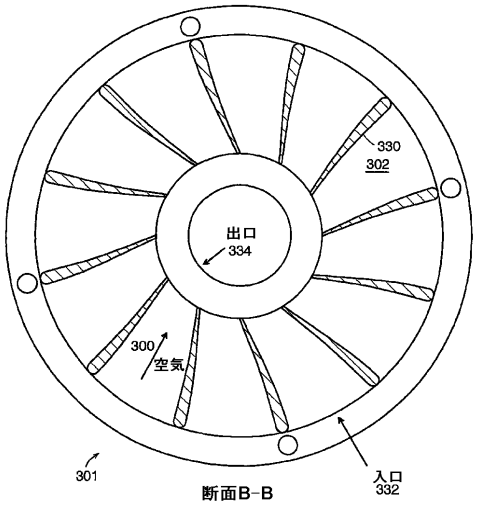


FIG. 3a

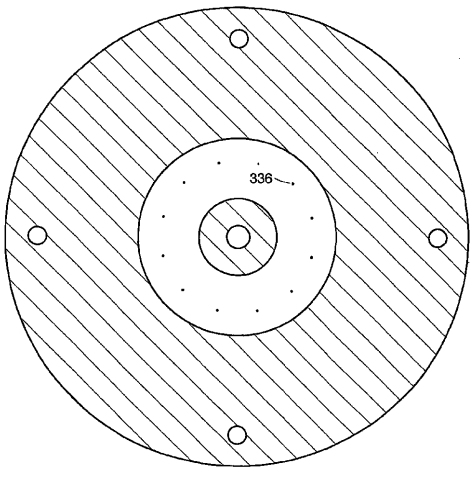
【図３ｂ】



断面B-B

FIG. 3b

【図３ｃ】



断面A-A

FIG. 3c

【図４】

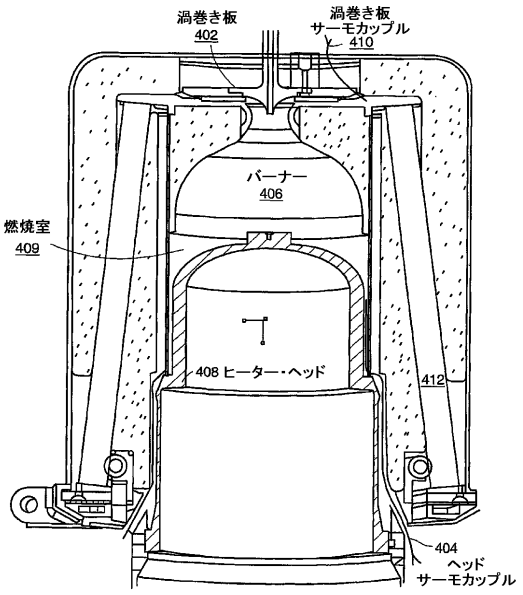


FIG. 4

【図５ａ】

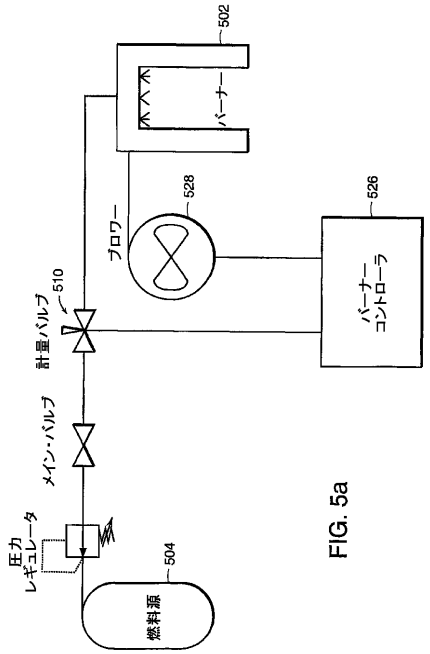


FIG. 5a

【図５ｂ】

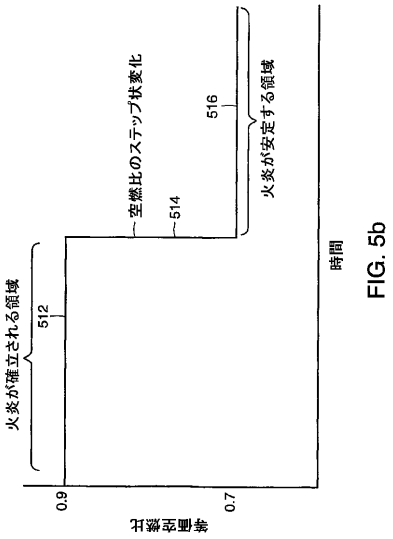


FIG. 5b

【図６】

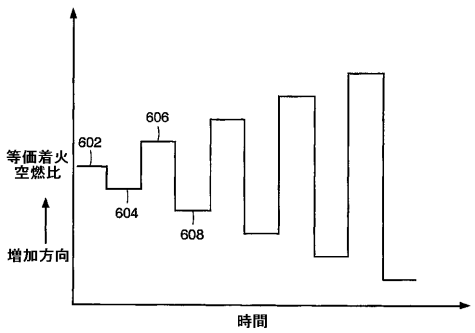


FIG. 6

【図７】

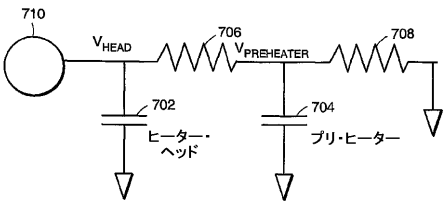


FIG. 7

【図８】

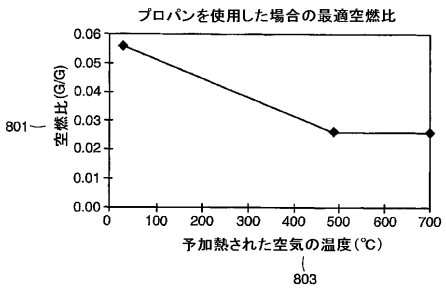


FIG. 8

【図９】

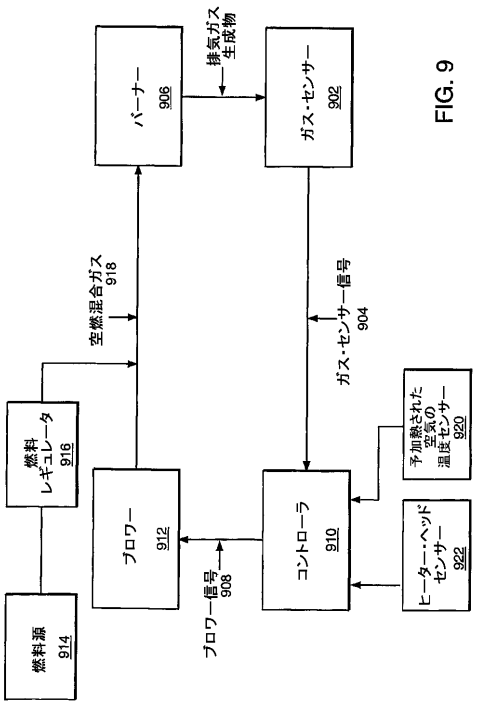


FIG. 9

【図１０】

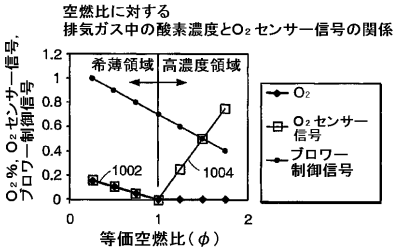


FIG. 10

【図１１】

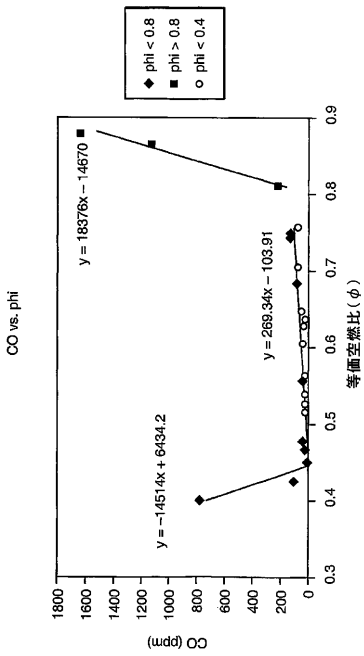


FIG. 11

フロントページの続き

(74)代理人 100122839
弁理士 星 貴子
(74)代理人 100118647
弁理士 赤松 利昭
(72)発明者 カメン、ディーン・エル
アメリカ合衆国、ニューハンプシャー州 ０３１１０、ベッドフォード、ウェストウィンド・ドライブ １５
(72)発明者 ランジェンフェルド、クリストファー
アメリカ合衆国、ニューハンプシャー州 ０３０６３、ナシュア、カテドラル・サークル ３５
(72)発明者 ノリス、マイケル
アメリカ合衆国、ニューハンプシャー州 ０３１０４、マンチェスター、ミラー・ストリート ９５
(72)発明者 オームロッド、ウィリアム・ダブリュー・ザ・サード
アメリカ合衆国、ニューハンプシャー州 ０３１０６、フックセット、ハケット・ヒル・ロード １３６－Ｂ
(72)発明者 シュネリンガー、アンドリュー
アメリカ合衆国、マサチューセッツ州 ０１８４５、ノース・アンドーヴァー、エルム・ストリート ８３

審査官 近藤 泰

(56)参考文献 特開平０４－１３６４６５（ＪＰ，Ａ）
特開平１１－１５９７１８（ＪＰ，Ａ）
特開平１１－１５３０４６（ＪＰ，Ａ）
特開平０７－０２００８８（ＪＰ，Ａ）
特開昭６０－１４４６５５（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
F02G 1/043-1/057
G01N 27/26