

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第6176772号
(P6176772)

(45) 発行日 平成29年8月9日 (2017.8.9)

(24) 登録日 平成29年7月21日 (2017.7.21)

(51) Int.Cl.	F I
F 2 3 R 7/00 (2006.01)	F 2 3 R 7/00
F 0 2 K 7/04 (2006.01)	F 0 2 K 7/04
F 2 3 C 15/00 (2006.01)	F 2 3 C 15/00
F 2 3 C 3/00 (2006.01)	F 2 3 C 3/00 3 0 1

請求項の数 3 外国語出願 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2011-208870 (P2011-208870)	(73) 特許権者	390041542
(22) 出願日	平成23年9月26日 (2011.9.26)		ゼネラル・エレクトリック・カンパニー
(65) 公開番号	特開2012-78083 (P2012-78083A)		アメリカ合衆国、ニューヨーク州 1 2 3
(43) 公開日	平成24年4月19日 (2012.4.19)		4 5、スケネクタデイ、リバーロード、1
審査請求日	平成26年9月16日 (2014.9.16)		番
(31) 優先権主張番号	12/895,368	(74) 代理人	100137545
(32) 優先日	平成22年9月30日 (2010.9.30)		弁理士 荒川 聡志
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100105588
			弁理士 小倉 博
		(74) 代理人	100129779
			弁理士 黒川 俊久

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 局所的な屈曲波修正機構を備えたパルスデトネーション管

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

パルスデトネーション管（10）であって、
内部表面（88）と外部表面（66）と実質的に均一な壁厚（56）とを有する連続ベース管（12）と、
前記連続ベース管（12）の下流部分の局所的な屈曲波修正機構と
を備え、
前記局所的な屈曲波修正機構は、少なくとも1つの波形頂部（60）及び少なくとも1つの波形谷部（62）であって、前記少なくとも1つの波形頂部（60）における第1の局所厚さが前記均一な壁厚（56）より大きく且つ前記少なくとも1つの波形谷部（62）における第2の局所厚さが前記均一な壁厚（56）より小さくなるように、前記連続ベース管（12）の前記外部表面（66）上で起伏のある外部表面及び平らな内部表面を形成した、少なくとも1つの波形頂部（60）及び少なくとも1つの波形谷部（62）を備えて、前記パルスデトネーション管（10）を通る屈曲波速度が期待される屈曲波速度とは異なるように該屈曲波速度を局所的に変化させ、又は屈曲波エネルギーを局所的に発散させ、或いはこれらの組み合わせを行うように構成されている、パルスデトネーション管（10）。

【請求項 2】

前記局所的な屈曲波修正機構が、前記連続ベース管（12）の壁厚の局所的変動を形成する、請求項 1 に記載のパルスデトネーション管（10）。

【請求項 3】

前記壁厚の局所的変動が、下流側方向（24）に沿って周期的に増減する、請求項 2 に記載のパルスデトネーション管（10）。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本明細書で開示される主題は、パルスデトネーション管に関し、より具体的には、局所的な屈曲波修正機構を利用することによるパルスデトネーション管の耐久性の向上に関する。

10

【背景技術】

【0002】

パルスデトネーション燃焼は、様々な実用的エンジン用途において利用することができる。このような用途の 1 つの実施例は、高温のデトネーション生成物が出口ノズルを通して配向されて航空宇宙推進用の推力を生成するパルスデトネーションエンジン（PDE）の開発である。複数の燃焼室を含むパルスデトネーションエンジンは、パルスデトネーションエンジン用の「複数管」構成と呼ばれることがある。別の実施例は、運転効率を高めるために従来のガスタービンエンジン技術及びパルスデトネーション（PD）技術の両方を用いた、「ハイブリッド」エンジンの開発である。このようなパルスデトネーションタービンエンジン（PDTE）は、航空機推進用として、或いは地上ベースの発電システム

20

【0003】

パルスデトネーション管内では、燃焼反応は、超音速で移動するデトネーション波であり、これにより亜音速のデフラグレーション燃焼と比べて燃焼プロセスの効率が向上する。具体的には、空気及び燃料は、通常、離散パルスでパルスデトネーション管に噴射される。次いで、燃料空気混合気は、点火源によりデトネーションを生じ、これによりデトネーション波が確立されて超音速で管を通して下流側に伝播する。加えて、弱い衝撃波が燃焼器入口に向けて上流側に伝播することができる。デトネーションプロセスは、パルスデトネーション管内で加圧排出ガスを生成し、これを用いて推力を発生させ、或いは、タービンにおいて仕事に変換することができる。

30

【0004】

理解されるように、パルスデトネーション管の材料特性及び幾何形状は、力学的な波が管構造を通して移動する速度を少なくとも部分的に定める。この速度は屈曲波速度として知られ、呼吸モード成分と膨張成分とを含むことができる。デトネーション波 22 が管体を通して移動すると、デトネーション波面に付随する急激な圧力上昇が、管体の長さに沿った各離散的な位置において力学的な波を発生させる。これらの力学的な波は、屈曲波速度で管構造を通して伝播する。デトネーション波の速度が管の屈曲波速度と実質的に同様である場合、デトネーション波は、共振時にパルスデトネーション管を励振させることになる。そのため、デトネーション波から結果として生じる歪みは、デトネーション波圧力での静圧荷重に伴う歪みよりも有意に大きくなる。このような歪み増幅は、複数の併合屈曲波の付加的作用に起因して、管長に沿って増大する可能性がある。例えば、特定の管構成において、歪みは、静圧荷重と比べて、2、3、4、5、6 倍、又はそれ以上に増幅される場合がある。結果として、パルスデトネーション管の寿命が大きく短縮される可能性がある。

40

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献 1】CHAO et al., "One the Design of Detonation Engines," GALCIT Report FM 00-7, January 15, 2001

50

【発明の概要】

【0006】

最初に請求項に記載された本発明の範囲内にある一部の実施形態について以下で要約する。これらの実施形態は、特許請求した本発明の技術的範囲を限定することを意図するものではなく、むしろそれらの実施形態は、本発明の実施可能な形態の簡潔な概要を示すことのみを意図している。当然のことながら、本発明は、下記に説明した実施形態と同様のもの又は該実施形態と異なるものとすることができる様々な形態を含むことができる。

【0007】

1つの実施形態において、パルスデトネーション管は、実質的に均一な壁厚を有する連続ベース管を含む。パルスデトネーション管はまた、パルスデトネーション管を通る屈曲波速度が期待される屈曲波速度とは異なるように該屈曲波速度を局所的に変化させ、及び/又は屈曲波エネルギーを局所的に発散させるよう構成された局所的な屈曲波修正機構を含む。

10

【0008】

別の実施形態において、パルスデトネーション管は、実質的に均一な壁厚を有する連続ベース管を含む。パルスデトネーション管はまた、パルスデトネーション管の上流側端部に配置され且つ下流側方向に空気パルスを放射するよう構成された空気バルブを含む。パルスデトネーション管は更に、各空気パルスに燃料を噴射して混合燃料 - 空気領域を確立するよう構成された燃料噴射器と、空気バルブから下流側に配置され且つ混合燃料 - 空気領域を点火させることによりデトネーション波を引き起こすよう構成された点火源とを含む。加えて、パルスデトネーション管は、点火源から下流側に位置付けられた局所的な屈曲波修正機構を含む。局所的な屈曲波修正機構は、パルスデトネーション管を通る屈曲波速度が期待される屈曲波速度とは異なるように該屈曲波速度を局所的に変化させ、及び/又は屈曲波エネルギーを局所的に発散させるように構成されている。

20

【0009】

更なる実施形態において、パルスデトネーション管は、実質的に均一な壁厚を有する連続ベース管を含む。連続ベース管は、該連続ベース管の下流側領域を通るデトネーション波の伝播を促進するよう構成される。パルスデトネーション管はまた、下流側領域に近接した局所的な屈曲波修正機構を含む。局所的な屈曲波修正機構は、パルスデトネーション管を通る屈曲波速度が期待される屈曲波速度とは異なるように該屈曲波速度を局所的に変化させ、及び/又は屈曲波エネルギーを局所的に発散させるように構成されている。

30

【0010】

本発明のこれらの及びその他の特徴、態様並びに利点は、図面全体を通して同じ参照符号が同様の部分を表す添付図面を参照して以下の詳細な説明を読むと、より良好に理解されるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】パルスデトネーション管の1つの実施形態の概略図。

【図2】実質的に均一な壁厚を有するパルスデトネーション管及び局所的な屈曲波修正機構を有するパルスデトネーション管についてのデトネーション波速度に対する歪み増幅の例示的なグラフ。

40

【図3】連続ベース管に結合された外側管を有するパルスデトネーション管の1つの実施形態の概略図。

【図4】下流側方向に沿って周期的に増減する壁厚を有するパルスデトネーション管の1つの実施形態の概略図。

【図5】連続ベース管の周りに配置され且つベース管の外部表面に結合された複数のリングを有する、パルスデトネーション管の1つの実施形態の概略図。

【図6】複数の半径方向スリットを有するリングを示す、線6-6から見た図5のパルスデトネーション管の断面図。

【図7】複数のキャビティを有するリングを示す、線7-7に沿って見た図5のパルスデ

50

トネーション管の断面図。

【図 8】ベース管の外部表面から延びる複数のナブを有するパルスデトネーション管の 1 つの実施形態の切り欠き斜視図。

【図 9】支持構造体への複数のカップリングを有するパルスデトネーション管の 1 つの実施形態の概略図。

【図 10】ベース管の内部表面上に配置された複数のリッジを有するパルスデトネーション管の 1 つの実施形態の断面図。

【発明を実施するための形態】

【0012】

本発明の 1 つ又はそれ以上の特定の実施形態について、以下に説明する。これらの実施形態の簡潔な説明を行うために、本明細書では、実際の実施態様の全ての特徴については説明しないことにする。何れかの技術又は設計プロジェクトと同様に、このような何らかの実際の実装の開発において、システム及びビジネスに関連した制約への準拠など、実装毎に異なる可能性のある開発者の特定の目標を達成するために、多数の実装時固有の決定を行う必要がある点は理解されたい。更に、このような開発の取り組みは、複雑で時間を要する可能性があるが、本開示の利点を有する当業者にとっては、設計、製作、及び製造の日常的な業務である点を理解されたい。

【0013】

本発明の種々の実施形態の要素を導入する際に、冠詞「a」、「an」、「the」、及び「said」は、要素の 1 つ又はそれ以上が存在することを意味するものとする。用語「備える」、「含む」、及び「有する」は、包括的なものであり、記載した要素以外の付加的な要素が存在し得ることを意味する。

【0014】

本明細書で使用されるように、パルスデトネーション管は、タービン内での一連のデトネーション又は擬似デトネーションの繰り返しによる圧力上昇及び速度増大の両方をもたらすあらゆる装置又はシステムを意味するものと理解される。「擬似デトネーション」とは、デフラグレーション波によりもたらされる圧力上昇及び速度増大よりも大きな圧力上昇及び速度増大を生じる超音速乱流燃焼プロセスである。パルスデトネーション管の実施形態には、燃料/酸化剤混合物（例えば、燃料/空気混合気）を点火する手段、及び点火プロセスにより発生する圧力波面が合体してデトネーション波又は擬似デトネーションを生じるデトネーションチャンバが含まれる。各デトネーション又は擬似デトネーションは、スパーク放電又はレーザパルスなどの外部点火による、或いは、衝撃波収束又は自動点火などのガスダイナミックプロセスによる、もしくは別のデトネーション（すなわち、クロスファイア）による何れかによって開始される。本明細書で使用されるデトネーションは、デトネーション又は擬似デトネーションの何れかを指すのに用いられる。

【0015】

本明細書で開示される実施形態は、管を通る屈曲波伝播を局所的に変化させ、デトネーション波が共振周波数（例えば、呼吸モード共振周波数）にて管を励起しないようにすることによって、パルスデトネーション管内の歪みを実質的に低減することができる。例えば、1 つの実施形態において、パルスデトネーション管は、実質的に均一な壁厚を有する連続ベース管を含む。連続ベース管は、該連続ベース管の下流側領域を通るデトネーション波の伝播を可能にするよう構成される。パルスデトネーション管はまた、下流側領域に近接した連続ベース管に結合される局所的な屈曲波修正機構を含む。局所的な屈曲波修正機構は、パルスデトネーション管の屈曲波速度がデトネーション波の期待速度と異なるように屈曲波速度を局所的に変化させ、及び/又は屈曲波エネルギーを局所的に発散させるように構成される。このようにして、デトネーション波と屈曲波との間の相互作用は、共振周波数にてパルスデトネーション管を励起させることはなく、これにより管内の歪みを実質的に低減する。結果として、パルスデトネーション管の寿命が有意に向上し、及び/又はパルスデトネーション管をより軽量の及び/又はより安価な材料で構成することができる。

【 0 0 1 6 】

図 1 は、推力を生成し及び / 又はタービンを駆動するのに用いることができるパルスデトネーション管 1 0 の 1 つの実施形態の概略図である。本実施形態において、パルスデトネーション管 1 0 は、実質的に均一な壁厚を有する連続ベース管 1 2 を含む。パルスデトネーション管 1 0 はまた、少なくとも 1 つの燃料噴射器 1 4 (例えば、1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、又はそれ以上)を含み、該燃料噴射器は、パルスデトネーション管 1 0 内に位置付けられた燃焼ゾーンに燃料を送給する。更に、パルスデトネーション管 1 0 は、管 1 0 の上流側領域 1 8 に配置される空気バルブ 1 6 を含む。空気バルブ 1 6 は、パルスデトネーション管 1 0 に離散的空気パルスを送給するよう構成される。燃料噴射器 1 4 は、空気パルスの各々に燃料を送給し、デトネーションに好適な燃料空気混合気を構築するよう構成される。次いで、点火源 2 0 が燃料空気混合気にデトネーションを生じさせ、これによりパルスデトネーション管 1 0 を通って下流側方向 2 4 に伝播するデトネーション波 2 2 を形成する。具体的には、デトネーション波 2 2 は、管 1 0 の下流側領域 2 6、例えば、点火源 2 0 から下流側の領域を通過する。デトネーション反応による排出ガス 2 8 は、下流側方向 2 4 でパルスデトネーション管 1 0 から流出し、例えば、推力を生成又はタービンを駆動するのに利用することができる。

10

【 0 0 1 7 】

以下で詳細に検討するように、パルスデトネーション管 1 0 は、下流側領域 2 6 に近接した連続ベース管 1 2 に結合される局所的な屈曲波修正機構を含む。局所的な屈曲波修正機構は、パルスデトネーション管の屈曲波速度がデトネーション波 2 2 の期待速度と異なるように屈曲波速度を局所的に変化させ、及び / 又は屈曲波エネルギーを局所的に発散させるよう構成される。理解されるように、パルスデトネーション管 1 0 の材料特性及び幾何形状は、力学的な波が管 1 0 の構造を通して移動する速度を少なくとも部分的に定める。この速度は屈曲波速度として知られ、呼吸モード成分と膨張成分とを含むことができる。デトネーション波 2 2 が管 1 0 を通って下流側方向 2 4 に移動すると、デトネーション波面に付随する急激な圧力上昇が、管 1 0 の長さに沿った各離散的位置において力学的な波を発生させる。これらの力学的な波は、屈曲波速度で管構造を通して伝播する。デトネーション波 2 2 の速度が管の屈曲波速度と実質的に同様である場合、デトネーション波 2 2 は、共振時にパルスデトネーション管 1 0 を共振させることになる。そのため、デトネーション波 2 2 から結果として生じる歪みは、デトネーション波圧力での静圧荷重に伴う歪みよりも有意に大きくなる。このような歪み増幅は、複数の併合屈曲波の付加的作用に起因して、管 1 0 の長さに沿って増大する可能性がある。例えば、特定の管構成において、歪みは、静圧荷重と比べて、2、3、4、5、6 倍、又はそれ以上に増幅される場合がある。局所的な屈曲波修正機構は、パルスデトネーション管 1 0 の屈曲波速度がデトネーション波 2 2 の速度と異なるように屈曲波速度を局所的に変化させ、及び / 又は屈曲波エネルギーを局所的に発散させるよう構成されるので、デトネーション波 2 2 は、共振周波数(例えば、呼吸モード共振周波数)ではパルスデトネーション管を駆動せず、これにより管構造内の歪みが実質的に低減される。結果として、パルスデトネーション管 1 0 の寿命を有意に向上させることができ、及び / 又はパルスデトネーション管をより軽量な及び / 又はより安価な材料で構成することができる。

20

30

40

【 0 0 1 8 】

理解されるように、パルスデトネーション管 1 0 は、ガスタービンエンジンのパルスデトネーション燃焼器内で利用することができる。このような構成において、パルスデトネーション管 1 0 からの排出ガスを利用して、タービンを回転駆動することができる。或いは、パルスデトネーション管 1 0 は、「純粋な」パルスデトネーションエンジン内で利用でき、ここでは排出ガスが縮小拡大ノズルを通して大気に直接的に配向されて生の推力を生成する。その上、本発明の実施形態は、燃料及び空気を伴う燃焼反応を記述しているが、代替の実施形態は、燃料と他の酸化剤(例えば、酸素、窒素酸化物、その他)とを反応させて燃焼反応を生じさせることができる点は理解されたい。

【 0 0 1 9 】

50

図 2 は、実質的に均一な壁厚を有するパルスデトネーション管及び局所的な屈曲波修正機構を有するパルスデトネーション管についてのデトネーション波速度に対する歪み増幅の例示的なグラフである。図示のように、横軸 30 はデトネーション波速度を表し、縦軸 32 は歪み増幅を表し、曲線 34 は、連続ベース管 12 のような実質的に均一な壁厚を有するパルスデトネーション管に沿った離散的位置でのデトネーション波速度の関数としての歪み増幅を表している。歪み増幅は、デトネーション波圧力における静圧荷重に伴う期待歪みに対して、デトネーション波 22 により誘起される歪みの比として定義することができる。図示のように、歪み増幅曲線 34 は、亜臨界領域 36、臨界領域 38、及び超臨界領域 40 を含む。歪み増幅曲線 34 は、臨界領域 38 にて最大値に達し、ここでデトネーション波速度は、パルスデトネーション管 10 の屈曲波速度に実質的に等しい。この速度は、臨界波速度 42 として知られている。図示のように、臨界波速度 42 でのパルスデトネーション管 10 の作動は、約 4 の歪み増幅をもたらすことができる。しかしながら、代替の管構成においては、最大歪み増幅はより大きく又はより小さくなる場合がある点は理解されたい。例えば、特定の実施形態において、最大歪み増幅は、約 2、3、4、5、6、又はそれ以上よりも大きくなることができる。

10

【0020】

図示のように、歪み増幅は、デトネーション波速度が臨界波速度 42 を下回ると急激に減少する。そのため、亜臨界領域 36 内の歪み増幅は約 1 とすることができる。しかしながら、代替の実施形態では、亜臨界領域内の歪み増幅が約 1.2、1.4、1.6、1.8、又はそれ以上であってもよい点は理解されたい。同様に、デトネーション波速度が臨界波速度 42 を上回ると、歪み増幅は約 2 まで減少し、超臨界領域 40 全体を通じて実質的に一定のままとなる。本発明の実施形態の超臨界領域 40 では歪み増幅は約 2 であるが、代替の管構成は、超臨界領域 40 内でより高い又は低い増幅係数をもたらすことができる点は理解されたい。加えて、超臨界領域 40 を過ぎてデトネーション波速度が増大すると、歪み増幅はゼロに向かって減少し始める場合がある点を理解されたい。

20

【0021】

グラフはまた、局所的な屈曲波修正機構を有するパルスデトネーション管 10 に沿って離散的位置でデトネーション波速度の関数として歪み増幅を表す曲線 44 を含む。曲線 34 と同様に、曲線 44 は、亜臨界領域 46、臨界領域 48、及び超臨界領域 50 を含む。しかしながら、臨界領域 48 の位置によって示されるように、局所的な屈曲波修正機構を有するパルスデトネーション管の臨界波速度 52 は、実質的に均一な壁厚を有する管の臨界波速度 42 よりも有意に大きい。換言すると、力学的な波は、局所的な屈曲波修正機構を有する管の構造体を通して、実質的に均一な壁厚を有する管よりも迅速に移動することができる。結果として、期待されるデトネーション波速度が臨界波速度 42 に相当する場合、実質的に均一な壁厚を有する管内の歪み増幅は約 4 になる。しかしながら、臨界波速度 42 は、局所的な屈曲波修正機構を有する管の亜臨界領域 46 の範囲内では低下するので、歪み増幅は約 1 になる。そのため、局所的な屈曲波修正機構を有するパルスデトネーション管の寿命は、実質的に均一な壁厚を有する管の寿命よりも有意に長くなることができる。

30

【0022】

加えて、グラフは、代替の局所的な屈曲波修正機構を有するパルスデトネーション管 10 に沿って離散的位置でデトネーション波速度の関数として歪み増幅を表す別の曲線 45 を含む。曲線 45 は、亜臨界領域 47、臨界領域 49、及び超臨界領域 51 を含み、これらは、曲線 34 のそれぞれの領域に関連するデトネーション波速度に実質的に相当する。しかしながら、曲線 45 の臨界領域 49 に関連する歪み増幅は、曲線 34 の臨界領域 38 に関連する歪み増幅よりも実質的に小さい。具体的には、曲線 45 に関連するパルスデトネーション管は、屈曲波エネルギーを局所的に発散するよう構成された局所的な屈曲波修正機構を含み、これにより最大歪み増幅を約 2.25 にまで低減する。例えば、局所的な屈曲波修正機構は、管を通して下流側方向に伝播する屈曲波に干渉し、これによりデトネーション波と管との間に共振結合が確立される可能性を実質的に低減又は排除することが

40

50

できる。そのため、曲線 4 5 の臨界波速度 4 2 が曲線 3 4 の臨界波速度と実質的に同様のままであっても、歪み増幅が実質的に低下され、これによりパルスデトネーション管の寿命が延長される結果となる。曲線 4 5 の最大歪み増幅は約 2 . 2 5 であるが、代替の局所的な屈曲波修正機構では、より高い又はより低い最大歪み増幅をもたらす場合がある点は理解されたい。

【 0 0 2 3 】

上記で検討したように、グラフは、パルスデトネーション管 1 0 の長さに沿ったある離散的な位置におけるデトネーション波速度の関数としての歪み増幅を表している。理解されるように、歪み増幅は、複数の併合屈曲波の付加的な作用に起因して、管の長さに沿って増大する可能性がある。そのため、パルスデトネーション管 1 0 の下流側領域 2 6 内の歪みは、上流側領域 1 8 内の歪みよりも有意に大きくなる場合がある。結果として、局所的な屈曲波修正機構は、下流側領域 2 6 に近接した管 1 0 に結合することができ、これにより歪みが低減され、パルスデトネーション管をより軽量及び / 又は安価な材料から構成できるようになる。

10

【 0 0 2 4 】

パルスデトネーション管 1 0 の屈曲波速度は、管の寸法及び / 又は材料特性に少なくとも部分的に依存することができる点を理解されたい。例えば、屈曲波速度は、以下の式によって近似することができる。

【 0 0 2 5 】

【 数 1 】

20

$$V = \frac{1}{d+t} \sqrt{\frac{E \cdot t \cdot d}{\rho (1-\nu^2)}}$$

ここで、d は管の直径、t は管の壁厚、E は管材料のヤング係数、 ρ は管材料の密度、 ν は管材料のポアソン比である。ヤング係数、密度、及びポアソン比は管 1 0 の材料特性であるので、これらのパラメータの局所的な変動は、管 1 0 の長さに沿った管壁の組成又は構造の変化を生じることになる。加えて、管 1 0 の直径の変動は、デトネーション波 2 2 の流動特性に影響を及ぼす可能性がある。そのため、管壁の厚みを局所的に変えてパルスデトネーション管 1 0 の屈曲波速度を調整することが望ましいとすることができる。

30

【 0 0 2 6 】

図 3 は、連続ベース管 1 2 に結合された外側管 5 4 を有するパルスデトネーション管 1 0 の 1 つの実施形態の概略図である。上記で検討したように、屈曲波速度は、管壁厚に少なくとも部分的に依存する。具体的には、管壁の厚みが増大すると、屈曲波がパルスデトネーション管 1 0 を通って移動する速度が上昇する。図示の実施形態において、連続ベース管 1 2 は、実質的に均一な壁厚 5 6 を有し、これにより特定の屈曲波速度が得られる。デトネーション波 2 2 の速度が屈曲波速度に実質的に同様である場合、パルスデトネーション管 1 0 内部で共振が確立されることになり、デトネーション波圧力での静圧荷重と比べて歪みが有意に増大する。下流側領域 2 6 においてパルスデトネーション管 1 0 の厚み 5 8 を局所的に増大させることによって、デトネーション波 2 2 が共振周波数（例えば、呼吸モード共振周波数）で管 1 0 を駆動しないように屈曲波速度を増大させ、これによりパルスデトネーション管 1 0 内の歪みが実質的に低減される。

40

【 0 0 2 7 】

例証として、デトネーション波 2 2 は、約 1 7 0 0 m / s でパルスデトネーション管を通して伝播することができる。また、連続ベース管 1 2 の屈曲波速度が約 1 7 0 0 m / s である場合、デトネーション波 2 2 は、パルスデトネーション管 1 0 内に共振を誘起し、デトネーション波圧力での静圧荷重と比べて歪みが有意に増大する。その上、複数の併合

50

屈曲波の付加的作用に起因して、管 10 の長さに沿って増大する可能性がある。そのため、外側管 54 を下流側領域 26 に近接して連続ベース管 12 に結合することにより、パルスデトネーション管 10 の厚み 58 が増大することになり、これにより屈曲波速度がデトネーション波速度を上回って上昇する。例えば、屈曲波速度は、約 2000 m/s まで上昇することができる。結果として、管 10 の下流側部分 26 が亜臨界領域になり、これにより歪みが低減され且つ管寿命が延びる結果となる。

【0028】

本実施形態では外側管 54 は連続ベース管 12 に結合されているが、代替の実施形態は、下流側方向 24 に沿って増大する壁厚を有する管 12 を利用してもよい点は理解されたい。更に、壁厚は、下流側領域 26 内で減少してもよく、これによりパルスデトネーション管 10 が超臨界領域内で動作することが可能になる点は理解されたい。超臨界領域内の歪みは、亜臨界領域内の歪みよりも大きい可能性があるが、臨界領域内の歪みよりも小さい。加えて、管壁が薄いほど、パルスデトネーション管 10 の重量及び / 又は製造コストを有意に低減することができる。

【0029】

図 4 は、下流側方向 24 に沿って周期的に増減する壁厚を有するパルスデトネーション管 10 の 1 つの実施形態の概略図である。図示のように、パルスデトネーション管 10 は、波形又は起伏のある表面仕上げを含み、頂部 60 と谷部 62 とを有する。この構成の結果として、パルスデトネーション管 10 の屈曲波速度は、局所的な管壁厚に基づき周期的に増減することになる。屈曲波速度が管 10 の下流側領域 26 全体にわたって変化するので、デトネーション波 22 と管 10 との間の共振結合が確立される可能性が有意に低減又は排される。そのため、管 10 内の歪みは、実質的に均一な壁厚を有する管よりも有意に小さくなる。本実施形態は、2 つの頂部 60 と 1 つの谷部 62 とを含むが、代替の実施形態は、より多くの又はより少ない頂部 60 及び / 又は谷部 62 を含むことができる点は理解されたい。加えて、代替の実施形態では、波形表面の振幅及び頻度は変えることができる点は理解されたい。

【0030】

図 5 は、連続ベース管 12 の周りに配置され且つ下流側領域 26 に近接したベース管 12 の外部表面 66 に結合された複数のリング 64 を有する、パルスデトネーション管 10 の 1 つの実施形態の概略図である。本実施形態において、リング 64 は、屈曲波エネルギーを局所的に発散するよう構成される。具体的には、リング 64 は、管 10 を通って下流側方向 24 に伝播する屈曲波に干渉し、これによりデトネーション波 22 と管 10 との間に共振結合が確立される可能性が実質的に低減又は排除される。加えて、リング 64 は、屈曲波を（例えば、反対方向に）反射し、これにより反射波が入射屈曲波と干渉するとき波エネルギーを発散することができる。そのため、管 10 内の歪みは、屈曲波修正機構のない管よりも有意に小さくなる。本実施形態では 4 つのリング 64 が利用されているが、代替の実施形態ではより多く又はより少ないリング 64 を利用してもよい点は理解されたい。例えば、特定の実施形態において、1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、又はそれ以上のリング 64 を連続ベース管 12 の周りに配置し、外部表面 66 に結合することができる。

【0031】

図 6 は、複数の半径方向スリット 68 を有するリング 64 を示す、線 6-6 から見た図 5 のパルスデトネーション管 10 の断面図である。上記で検討したように、リング 64 は、パルスデトネーション管 10 を通る屈曲波伝播を干渉することにより、屈曲波エネルギーを発散することができる。スリット 68 は、冷却空気がリング 64 を流れることを可能にし、これによりパルスデトネーション管 10 と冷却空気との間の熱伝達を向上させることができる。例えば、特定の実施形態において、空気は、空気パルプ 16 を通って管 10 に流入する前に上流側方向でパルスデトネーション管の長さに沿って配向することができる。或いは、空気は、下流側方向に管 10 に沿って配向することができ、及び / 又は管の外側表面に衝突させることができる。空気がリング 64 を通過すると、熱が空気に伝達さ

10

20

30

40

50

れ、これにより管 10 が冷却される。結果として、管 10 は、放熱が向上することに起因して、より薄く及び / 又はより軽量の材料から構成することができる。

【 0032 】

図 7 は、複数のキャビティ 70 を有するリング 64 を示す、線 7 - 7 に沿って見た図 5 のパルスデトネーション管 10 の断面図である。スリット構成と同様に、キャビティ 70 は、冷却空気が管 10 の長さに沿って流れる経路を提供することができる。別の実施形態において、リング 64 は、管 10 と冷却空気との間の熱伝達を向上させるための他の機構を含むことができ、或いは、リング 64 は、実質的に固体とすることができる。更に別の実施形態において、単一のリング 64 が下流側領域 26 の長さ全体に沿って延びることができる。このような実施形態において、延長リング 64 は、図 6 を参照して上記で説明したようなスリット 68 又はキャビティ 70 を含むことができる。

10

【 0033 】

図 8 は、連続ベース管 12 の外部表面 66 から延びる複数のナブ 72 を有するパルスデトネーション管 10 の 1 つの実施形態の切り欠き斜視図である。ナブ 72 は、外部表面 66 に結合され、及び / 又は外部表面 66 と一体化することができる。リング 64 と同様に、ナブ 72 は、パルスデトネーション管 10 の下流側領域 26 を通過する屈曲波エネルギーを局所的に発散させるよう構成される。具体的には、ナブ 72 は、下流側方向 24 に管 10 を通って伝播する屈曲波と干渉し、これによりデトネーション波 22 と管 10 との間の共振結合が確立される可能性が実質的に低減又は排除される。そのため、管 10 内の歪みは、屈曲波修正機構のない管よりも有意に小さくなる。本実施形態ではナブ 72 が実質的に半球状であるが、代替の実施形態ではナブ 72 は他の形状を成すこともできる点は理解されたい。更に、本実施形態では 3 列のナブ 72 が連続ベース管 12 に結合されているが、代替の実施形態では、より多く又はより少ないナブ 72 を含むことができる点は理解されたい。加えて、ナブ 72 は、パルスデトネーション管 10 に隣接した空気流にパルスデトネーション管から熱を伝達し、これにより追加の冷却を提供することができる。

20

【 0034 】

図 9 は、支持構造体 74 への複数のカップリングを有するパルスデトネーション管 10 の 1 つの実施形態の概略図である。理解されるように、複数のパルスデトネーション管 10 は、パルスデトネーション燃焼器システム内に支持することができる。このような構成において、各管 10 は、燃焼器システムの本体に管 10 からの荷重を伝達する共通の支持構造体に固定することができる。特定の実施形態において、管 10 と支持構造体 74 との間のカップリングは、屈曲波エネルギーを局所的に発散させる働きをすることができる。例えば、連続ベース管 12 と支持構造体 74 との間のカップリングは、固定カップリング 76 を含むことができる。理解されるように、固定カップリング 76 は、支持構造体 74 に対する連続ベース管 12 の移動を実質的に阻止する。加えて、固定カップリング 76 は、パルスデトネーション管 10 からの屈曲波エネルギーを支持構造体 74 に伝達し、これにより下流側方向 24 に管 10 を通って伝播する力学的な波と干渉し、デトネーション波 22 と管 10 との間の共振結合が確立される可能性が実質的に低減又は排除することができる。

30

【 0035 】

固定カップリング 76 に加えて、パルスデトネーション管 10 は、ローラカップリング 78 を利用して連続ベース管 12 を支持構造体 74 に固定することができる。ローラカップリング 78 は、支持構造体 74 に対する管 10 の側方移動を実質的に阻止すると同時に、管 12 の長手方向拡大及び縮小を可能にする。固定カップリング 76 と同様に、ローラカップリング 78 は、屈曲波エネルギーの一部を支持構造体 74 に伝達し、これによりデトネーション波 22 とパルスデトネーション管 10 との間の共振結合と干渉することができる。図示の実施形態はまた、支持構造体 74 に対して連続ベース管 12 の移動を減衰するよう構成された減衰カップリング 80 を含む。図示のように、減衰カップリング 80 は、バネ 82 及び緩衝器 84 を含む。減衰カップリング 80 は、振動エネルギーを吸収するよう構成されているので、カップリング 80 は、屈曲波エネルギーを発散することによ

40

50

てデトネーション波 22 とパルスデトネーション管 10 との間の共振結合と干渉することができる。そのため、管 10 内の歪みは、減衰機能を持たない管よりも有意に小さくなることができる。

【0036】

図示の実施形態は、単一の固定カップリング 76、単一のローラカップリング 78 及び単一の減衰カップリング 80 を含むが、代替の実施形態は、連続ベース管 12 の下流側領域 26 に固定された他のカップリングを含むことができる点を理解されたい。例えば、特定の実施形態は、管 10 の下流側端部に固定された単一の固定カップリング 76、ローラカップリング 78、又は減衰カップリング 80 を含むことができる。或いは、パルスデトネーション管は、連続ベース管 12 の長さに沿った様々な位置に固定された、同じタイプ又は異なるタイプの複数のカップリングを含むことができる。

10

【0037】

図 10 は、下流側領域 26 に近接した連続ベース管 12 の内部表面 88 上に配置された複数のリッジ 86 を有するパルスデトネーション管 10 の 1 つの実施形態の断面図である。連続ベース管 12 の外部表面 66 に結合されたリング 64 及びナブ 72 と同様に、リッジ 86 は、屈曲波エネルギーを局所的に発散させるよう構成される。具体的には、リッジ 86 は、下流側方向 24 で管 10 を通って伝播する屈曲波と干渉し、これによりデトネーション波 22 と管 10 との間の共振結合が確立される可能性が実質的に低減又は排除される。そのため、管 10 内の歪みは、実質的に滑らかな内部表面を有する管よりも有意に低くなる。本実施形態において、リッジ 86 は、連続ベース管 12 と一体化される。しかしながら、代替の実施形態では、連続ベース管 12 の内部 88 に結合されたリッジを含むことができる点は理解されたい。加えて、代替の実施形態においては、所望の程度の屈曲波発散を達成するためにリッジの数、向き、高さ、及びノ又は形状が変わる可能性がある。

20

【0038】

特定のパルスデトネーション管 10 は、管 10 を通る流れを加速し、これによりデフラグレーションからデトネーションへの移行 (DDT) を誘起するよう構成された内部特徴要素を含む。特定の実施形態において、リッジ 86 は、流れを加速させて DDT を誘起することに加え、屈曲波エネルギーを局所的に発散させるよう構成することができる。このような実施形態において、リッジ 86 は、上流側領域 18 に延びて、DDT を容易にすることができる。

30

【0039】

様々な内部及び外部の局所的な屈曲波修正機構について上記で説明してきたが、代替の実施形態は、屈曲波速度を変化させ、及びノ又は屈曲波エネルギーを発散させるよう構成された他の特徴要素を含むことができる点は理解されたい。例えば、特定の実施形態は、螺旋パターンで管の内部表面又は外部表面の周りに延びる局所的な屈曲波修正機構を含むことができる。更に別の実施形態は、管の軸方向又は半径方向に沿って延びる特徴要素を含むことができる。また、各屈曲波修正機構は、連続ベース管と一体化されるか、或いは、連続ベース管に結合することができる点は理解されたい。

【0040】

本明細書は、最良の形態を含む実施例を用いて本発明を開示し、更に、あらゆる当業者があらゆるデバイス又はシステムを実施及び利用すること並びにあらゆる包含の方法を実施することを含む本発明を実施することを可能にする。本発明の特許保護される範囲は、請求項によって定義され、当業者であれば想起される他の実施例を含むことができる。このような他の実施例は、請求項の文言と差違のない構造要素を有する場合、或いは、請求項の文言と僅かな差違を有する均等な構造要素を含む場合には、本発明の範囲内にあるものとする。

40

【符号の説明】

【0041】

10 パルスデトネーション管

12 連続ベース管

50

1 4	燃料噴射器	
1 6	空気バルブ	
1 8	上流側領域	
2 0	点火源	
2 2	デトネーション波	
2 4	下流側方向	
2 6	下流側領域	
2 8	排出ガス	
3 0	横軸	
3 2	縦軸	10
3 4	歪み増幅曲線	
3 6	亜臨界領域	
3 8	超臨界領域	
4 0	超臨界領域	
4 2	臨界波速度	
4 4	歪み増幅曲線	
4 5	歪み増幅曲線	
4 6	亜臨界領域	
4 7	亜臨界領域	
4 8	臨界領域	20
4 9	臨界領域	
5 0	超臨界領域	
5 1	超臨界領域	
5 2	臨界波速度	
5 4	外側管	
5 6	連続ベース管壁厚	
5 8	パルスデトネーション管の厚み	
6 0	頂部	
6 2	谷部	
6 4	リング	30
6 6	連続ベース管外部表面	
6 8	半径方向スリット	
7 0	キャビティ	
7 2	ナブ	
7 4	支持構造体	
7 6	固定カップリング	
7 8	ローラカップリング	
8 0	減衰カップリング	
8 2	バネ	
8 4	緩衝器	40
8 6	リッジ	
8 8	連続ベース管外部表面	

【図 1】

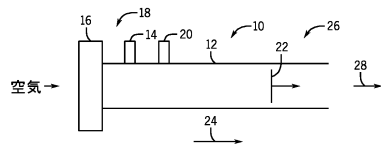


FIG. 1

【図 3】

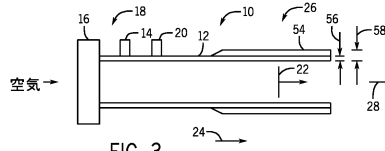


FIG. 3

【図 4】

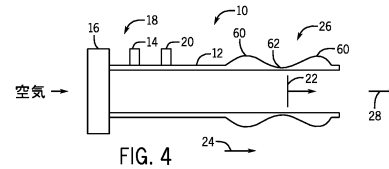


FIG. 4

【図 2】

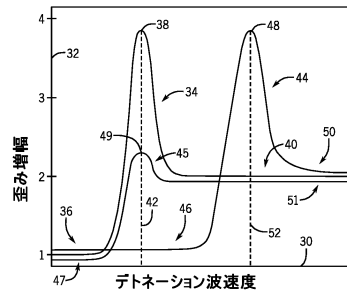


FIG. 2

【図 5】

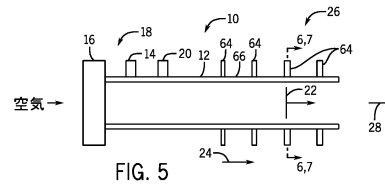


FIG. 5

【図 6】

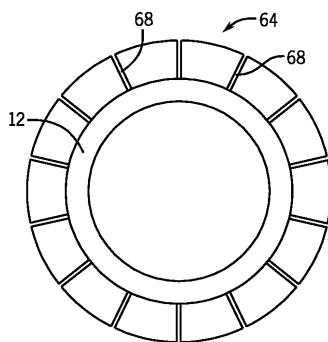


FIG. 6

【図 7】

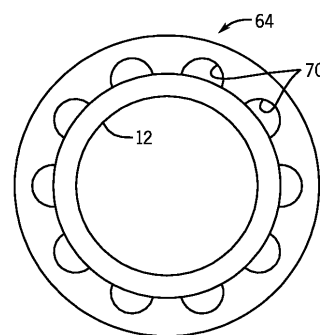


FIG. 7

【図 8】

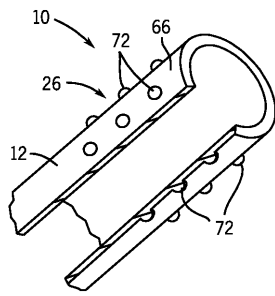


FIG. 8

【図 10】

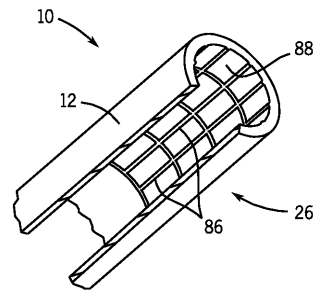


FIG. 10

【図 9】

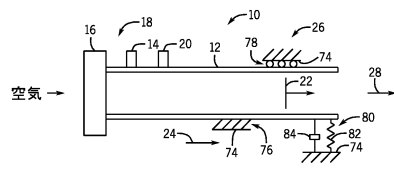


FIG. 9

フロントページの続き

- (72)発明者 マイケル・モスキンスキ
アメリカ合衆国、ニューヨーク州・１２３０９、ニスカユナ、ビルディング・ケイ１－３エイ５９、
ワン・リサーチ・サークル、ゼネラル・エレクトリック・カンパニー・グローバル・リサーチ
- (72)発明者 アダム・ラシード
アメリカ合衆国、ニューヨーク州・１２３０９、ニスカユナ、ビルディング・ケイ１－３エイ５９、
ワン・リサーチ・サークル、ゼネラル・エレクトリック・カンパニー・グローバル・リサーチ
- (72)発明者 ブライアン・ジーン・ブルゼク
アメリカ合衆国、ニューヨーク州・１２３０９、ニスカユナ、ビルディング・ケイ１－３エイ５９、
ワン・リサーチ・サークル、ゼネラル・エレクトリック・カンパニー・グローバル・リサーチ
- (72)発明者 ナレンドラ・ディガンバル・ジョシ
アメリカ合衆国、ニューヨーク州・１２３０９、ニスカユナ、ビルディング・ケイ１－３エイ５９、
ワン・リサーチ・サークル、ゼネラル・エレクトリック・カンパニー・グローバル・リサーチ

審査官 齊藤 公志郎

- (56)参考文献 特開２００４－３６１０７５（ＪＰ，Ａ）
特開２００８－２０２９０６（ＪＰ，Ａ）
特開２００８－２７２６２２（ＪＰ，Ａ）
特開平１０－１４１４３０（ＪＰ，Ａ）
特開２０１０－０３１９７５（ＪＰ，Ａ）
特開２００５－１３３６００（ＪＰ，Ａ）
米国特許出願公開第２００９／０３２０４３９（ＵＳ，Ａ１）
米国特許第６５８４７６５（ＵＳ，Ｂ１）
米国特許第２６０１４７１（ＵＳ，Ａ）
米国特許第１８５６５５２（ＵＳ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)

F 0 2 C 5 / 0 0 - 1 2
F 0 2 K 7 / 0 2 - 0 7 5
F 2 3 R 7 / 0 0