

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6534348号
(P6534348)

(45) 発行日 令和1年6月26日(2019.6.26)

(24) 登録日 令和1年6月7日(2019.6.7)

(51) Int.Cl.

F 1

F25B 9/14 (2006.01)
F25B 9/00 (2006.01)F 25 B 9/14 510 B
F 25 B 9/00 Z

請求項の数 13 (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2015-523063 (P2015-523063)
 (86) (22) 出願日 平成24年7月26日 (2012.7.26)
 (65) 公表番号 特表2015-523538 (P2015-523538A)
 (43) 公表日 平成27年8月13日 (2015.8.13)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2012/048321
 (87) 國際公開番号 WO2014/018041
 (87) 國際公開日 平成26年1月30日 (2014.1.30)
 審査請求日 平成27年1月15日 (2015.1.15)
 審判番号 不服2017-14531 (P2017-14531/J1)
 審判請求日 平成29年10月2日 (2017.10.2)

(73) 特許権者 501356112
 スミトモ (エスエイチアイ) クライオ
 ジェニックス オブ アメリカ インコー
 ポレイテッド
 Sumitomo (SHI) Cryoge
 nics of America, Inc
 .
 アメリカ合衆国 18103 ペンシルベ
 ニア州 アレンタウン ヴァルティー ス
 トリート 1833
 (74) 代理人 100123788
 弁理士 宮崎 昭夫
 (74) 代理人 100127454
 弁理士 緒方 雅昭

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】ブレイトンサイクル冷却装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

200Kよりも低い温度の冷却を行うブレイトンサイクル冷却装置であって、室温に近い空間と200Kよりも低い膨張空間とを仕切る底部と、室温および200Kよりも低い温度の間の温度勾配を有するシリンダ内を滑走する円筒状の側壁とを備えたカップ型の往復ピストンを有する、ブレイトンサイクル冷却装置。

【請求項 2】

前記ピストンの長さは、前記ピストンの直径よりも短い、請求項1に記載のブレイトンサイクル冷却装置。

【請求項 3】

前記ピストンの底部の厚さは、前記ピストンの直径の25%よりも薄い、請求項1に記載のブレイトンサイクル冷却装置。

【請求項 4】

前記ピストンは、高温端に駆動システムを有し、空圧的な力または機械的な力が前記駆動システムに作用して、前記ピストンを往復運動させる、請求項1に記載のブレイトンサイクル冷却装置。

【請求項 5】

ガスは、高圧によって前記ピストンの低温端へ導かれ、ロータリーバルブを介して低圧へ排出される、請求項1に記載のブレイトンサイクル冷却装置。

【請求項 6】

10

20

前記ピストンは、可変速度で往復運動する、請求項 1 に記載のブレイトンサイクル冷却装置。

【請求項 7】

前記円筒状の側壁の内側は、少なくとも部分的に排気される、請求項 1 に記載のブレイトンサイクル冷却装置。

【請求項 8】

前記ピストンの底部は、少なくとも 80 % の非金属材料を含む、請求項 1 に記載のブレイトンサイクル冷却装置。

【請求項 9】

200 K よりも低い温度の冷却を行うガスバランス型のブレイトンサイクル冷却装置で 10 あって、

室温に近い空間と 200 K よりも低い膨張空間とを仕切る底部と、室温および 200 K よりも低い温度の間の温度勾配を有するシリンダ内を滑走する円筒状の側壁とを備えたカップ型の往復ピストンと、

前記ピストンの前記底部の高温端に取り付けられた駆動システムと、を有するガスバランス型のブレイトンサイクル冷却装置。

【請求項 10】

吸気バルブおよび排気バルブが、前記ピストンが前記シリンダの低温端の近くにあるときに高圧ガスを入れ、前記ピストンが前記シリンダの高温端の近くにあるときに低圧へガスを排気するために、前記シリンダの低温端に位置する、請求項 9 に記載のガスバランス型のブレイトンサイクル冷却装置。

【請求項 11】

ロー・タリーバルブが、前記ピストンが前記シリンダの低温端の近くにあるときに高圧ガスを導き、前記ピストンが前記シリンダの高温端の近くにあるときに低圧へガスを排気するために、前記シリンダの低温端に位置する、請求項 9 に記載のガスバランス型のブレイトンサイクル冷却装置。

【請求項 12】

前記ピストンは、可変速度で往復運動する、請求項 9 に記載のガスバランス型のブレイトンサイクル冷却装置。

【請求項 13】

ダブルバンパーは前記駆動システムによって作動される、請求項 9 に記載のガスバランス型のブレイトンサイクル冷却装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ガスバランス型のブレイトンサイクルエンジンに関し、特には、5 から 30 kW までの範囲に含まれる入力電力を有し、約 150 K で動作するように設計されたガスバランス型のブレイトンサイクルエンジンに関する。

【背景技術】

【0002】

ブレイトン型またはブレイトンサイクルエンジンは、3 つの必須要素、すなわち、ガス圧縮機、対向流熱交換器および膨張機を有する。

【0003】

S H I - C r y o g e n i c s に譲渡された最近の 4 つの特許出願には、ガスバランス型のブレイトンサイクル膨張エンジンと 2 つの改良点（1 つは極低温への冷却時間の最小化、もう一つは水蒸気をポンピングするためのクライオポンプの冷却）が記載されている。冷却を行うためのブレイトンサイクルに基づいて動作するシステムは、ガスを吐出圧力で対向流熱交換器に供給する圧縮機を備え、低温吸気バルブを介して膨張空間へガスを導き、断熱的に膨張させ、その膨張した（冷たい）ガスを排気バルブを介して排気し、その冷却ガスを冷却中の負荷を介して循環させ、そして、対向流熱交換器を介してガスを圧縮

10

20

20

30

30

40

50

機へ戻す。

【0004】

R. C. Longsworthによる2011年9月15日付けの米国特許出願公開第2011/0219810号明細書には、ピストンが、機械的駆動装置または高圧と低圧とが互いに入れ替わるガス圧力によって駆動される、高温端に設けられた駆動システムを有し、その駆動システムの周囲の領域におけるピストンの高温端の圧力は、ピストンが動いている間、ピストンの低温端での圧力と実質的に等しい、ブレイトンサイクルに基づいて動作するレシプロ膨張エンジンが記載されている。R. C. Longsworthによる2012年4月12日付けの米国特許出願公開第2012/0085121号明細書には、先の特許出願で記載されたような、ブレイトンサイクルに基づいて動作するレシプロ膨張エンジンの制御において、極低温に物質を冷却する時間を最小化できる制御が記載されている。S. Dunnなどによる2011年5月12日付けの米国特許第13/106218号明細書には、膨張ピストンを作動させるための代替手段が記載されている。R. C. Longsworthによる2011年7月6日付けの米国特許第61/504810号明細書には、水蒸気をクライオポンピングするための冷却コイルへのブレイトンサイクルエンジンの応用が記載されている。米国特許出願公開第2011/0219810号明細書および米国特許第13/106218号明細書に記載のエンジンは、「ガスバランス型のブレイトンサイクルエンジン」として知られている。これらのエンジンに対してガスを供給するために使用することができる圧縮機システムは、S. Dunnによって2006年4月28日付けで提出された「オイルバイパスを有する圧縮機 (Compressor With Oil Bypass)」というタイトルの米国特許出願公開第2007/0253985号明細書に記載されている。この発明のエンジンは、W. E. Giffordによる1965年9月14日付けの米国特許第3205688号明細書およびA. J. Lobbによる1991年1月29日付けの米国特許第4987743号明細書と同様な特徴を有する低温ロータリーバルブを組み込んでいる。また、R. C. Longsworthによる2001年7月10日付けの米国特許第6256997号明細書で記載されたような振動吸収ダブルバンパー、および、H. Asamiなどによる1997年1月7日付けの米国特許5590533号明細書で記載されたようなピストンの耐摩耗コーティングも組み込んでいる。

【0005】

水蒸気をポンピングするためのクライオポンプには、120Kおよび170Kの間の温度へ冷却されるクライオパネルが必要となる。これは、空気をクライオポンプするのに必要な10Kから20Kの温度範囲よりもはるかに暖かい。C. B. Hoodらによる「10 - 30Kで動作するためのヘリウム冷却装置 (Helium Refrigerators for Operation in the 10 - 30 K Range)」というタイトルの論文 (Advances in Cryogenic Engineering, Vol. 9, Plenum Press, New York (1964), pp 496-506収録) には、1.0 kWで20K以上の冷却を行うことができるレシプロ膨張エンジンを有する大型のブレイトンサイクル冷却装置が記載されている。この冷却装置は、大きなスペースチェンバー内の空気をクライオポンプするために開発された。1970年代初頭から、120Kから170Kの範囲の温度で500から3000Wの能力を有する水蒸気のクライオポンピングは、Müssiimerによる1973年10月30日付けの米国特許第3768273号明細書で記載されたような、混合ガスを使用する冷却装置によって占められていた。より最近の特許であるFlynnなどによる2003年6月10日付けの米国特許6574978号明細書には、水蒸気のポンピングにおいて、約150Kで約500から3000Wを有する、この種の冷却装置を冷却および加熱する速度を制御する手段が記載されている。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

混合ガス冷却装置で使用される冷却材は、地球温暖化への影響のために、段階的に廃止されるものを含む。したがって、全て環境に優しいヘリウム、アルゴンまたは窒素を使用するブレイトンサイクルエンジンが使用されることが望ましい。本発明は、約150Kで

機能するブレイトンサイクルエンジンがより低い温度用に設計されたものよりもはるかに単純化できるという認識に基づいている。これらの単純化は、3000Wを超える冷却能力を生じさせ、その結果、現在の混合ガス冷却装置に匹敵することが可能なエンジンの設計を実現する。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明に特有の特徴は、低い振動で高い変位速度を有する軽量往復ピストンの設計である。底部と円筒状の側壁を有するカップ型の往復ピストンで実現され、底部は、室温に近い空間と、200Kよりも低い膨張空間とに仕切られ、側壁は、室温および200Kよりも低い温度の間の温度勾配を有するシリンダ内を滑走することが望ましい。駆動システムは、空圧的または機械的な力によって往復動作を引き起こすことができるピストンに取り付けられる。以下で述べるエンジンは、米国特許出願13/106218号明細書で記載されたようなガスバランス型のブレイトンサイクルに基づいて動作する。さらに往復動作は、冷却膨張空間の内部および外部でガスを循環させるために、低温ロータリーバルブを使用することによって最小化される。

10

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】駆動システムを備える軽量ピストン、シリンダ、ガスを高温排出容積に導くためのポート、および、低温排出容積の内部および外部のガスの流れを制御する低温ロータリーバルブを備えるエンジン100の横断面図であり、高圧ガスの導入終了時のピストンおよびバルブの位置を示す。

20

【図2】冷却装置システム200、および、エンジン100と他の構成要素の関係を示す概略図であり、低圧ガスの排気終了時のピストンおよびバルブの位置を示す。

【発明を実施するための形態】

【0009】

図1は、エンジン100の横断面図である。カップ型のピストン1は、カップの底部2と、円筒状のスリーブ3と、底部キャップ4と、ピストンシール5と、摩擦防止コーティング6と、スリーブ3内の真空ギャップ7と、ピストンカップリング11と、駆動システム12とを備える。ピストン1は、低い熱伝導率を備えるために典型的にはステンレス鋼で形成されたシリンダ8内を往復運動する。ピストンの底部2およびスリーブ3は繋がっており、シリンダの熱膨張と一致させるために、典型的にはステンレス鋼で形成される。底部キャップ4は、ステンレス鋼の熱膨張とほぼ一致させることができる繊維強化プラスチックのような材料で形成され、相対的に低い熱伝導率を有し、相対的に低い密度を有する。

30

【0010】

シリンダ8の高温端は、ピストンシール5が往復運動する領域においてシリンダ8を室温付近に維持するために、高い熱伝導率を有するシリンダスリーブ9によって囲まれている。シリンダ8は、駆動ハウジング14がボルトで固定されているウォーム法兰ジ10に溶接されていることが示されている。

40

【0011】

駆動システム12は、排出容積29内のガスから28内の低圧ガスを分離するシール13を有する。駆動システム12は、ピストン1が駆動ハウジング14またはベースバルブ25に当たる前に衝撃を吸収するエラストマーシール（例えば、Oリング）を有するダブルバンパー15と係合する。エンジン100の高温端でガスの注入は、ガスバランスの動作によって表されている。駆動システム容積28はガスライン51を介して低圧に接続される。ガスライン48、49および50は、全て高圧に接続されている。図1は、高圧ガスの導入終了時のピストンおよびバルブの位置を示す。ピストン1が低温排出容積30に流れ込んでいる高圧の低温ガスを高温端へ向けて動かしている間、僅かにより高い圧力のガスが高温排出容積29からチェックバルブ43およびライン50を介して排出される。

【0012】

50

ピストン 1 が高温端に届いた後、バルブディスク 1 6 は、図 2 で示された位置に移動し、低温排出容積 3 0 内のガスの低圧への排出を開始する。ガスは、チェックバルブ 4 2 を介して高圧ライン 4 9 から高温排出容積 2 9 へと流れ込む。バルブ 4 2 は、圧力逃しバルブとすることができる、ピストン 1 が低温端へ向けて動く速さを制御するために、ライン 4 9 に絞り弁を設けることもできる。また、バルブ 4 2 は、3 0 内の圧力よりも 2 0 内の圧力をほんの僅かに大きく保つ。ピストン 1 が図 2 で示されたように低温端に届いた場合、受動バルブ 4 4 は、開放して、高圧でガスをライン 4 8 から高温排出容積 2 9 へと導く。

【 0 0 1 3 】

ロータリーバルブディスク 1 6 は、カップリング 1 8 を介して駆動ピン 1 9 によってバルブモーターシャフト 2 1 へ連結する拡張シャフト 1 7 を有する。バルブモーター 2 0 は固定または可変の速さで動作することができる。バルブディスク 1 6 は、低い熱伝導率を有するアルミニウム合金で形成され、ハードコーティングすることができる。示されている設計では、バルブディスク 1 6 は、バルブベース 2 5 に接合されている低摩擦ポリマーであるバルブシート 2 6 上で回転する。図 1 では、バルブは、ガスポート 2 3 および 2 2 を介して低温排出容積 3 0 へ高圧でガスを導く位置で示されている。図 2 では、バルブディスク 1 6 は、ガスが排出容積 3 0 からポート 2 2 および 2 4 を介して低圧へ流れ込む位置で 9 0 ° 回転して示されている。室温のバルブモーターハウジング 5 2 は、スリープ 5 3 によってバルブベース 2 5 から分離されている。スリープ 5 3 は、ステンレス鋼のような低い熱伝導率を有する材料で形成される。さらにモータハウジング 5 2 とバルブベース 2 5 の間の熱損失は、断熱材 2 7 に最小化される。

【 0 0 1 4 】

図 2 は、冷蔵機システム 2 0 0 と、エンジン 1 0 0 と他の構成要素との間の関係を示す。システム 2 0 0 は、エンジン 1 0 0 に加えて、圧縮機 3 7 と、ガス貯蔵タンク 3 8 と、高圧ガス供給ライン 3 9 と、低圧戻りライン 3 6 と、対向流熱交換器 3 4 と、外部負荷熱交換器 3 1 への低圧の低温ガスライン 3 2 と、低温戻りライン 3 3 とを含む。

【 0 0 1 5 】

システム圧力は、余剰ガスを高圧ライン 3 5 から貯蔵タンク 3 8 へ入れるバルブ 3 9 と、ガスを貯蔵タンクから低圧ライン 3 6 に入れるバルブ 4 0 とで制御される。ピストン 1 が動く速さはバルブ 4 5 および 4 6 にて制御される。ガスは、バルブ 4 5 を介して室温の排出容積 2 9 に流れ込み、後段冷却器 4 1 およびバルブ 4 6 を介して高温で流れ出る。動作は空気が液体化する温度以上で順調であるため、発泡断熱材 4 7 によって低温部品を断熱することが実用的である。

【 0 0 1 6 】

本発明の主題である軽量ピストンは、ガスバランス型のブレイトンサイクルエンジンにおいて説明されていたが、他の駆動および制御機構に適用することもできる。これらのオプションのいくつかは、米国特許出願公開第 2 0 1 1 / 0 2 1 9 8 1 0 号明細書および米国特許第 1 3 / 1 0 6 2 1 8 号明細書に記載されている。

【 0 0 1 7 】

表 1 は、図 1 で示されたようなエンジン 1 0 0 の設計および性能の一例を表す。システムは、2 . 2 M P a / 0 . 8 M P a の圧力でヘリウムを使用し、電力として約 2 6 k W を消費する。性能は、1 5 0 K の平均負荷温度で計算される。

10

20

30

40

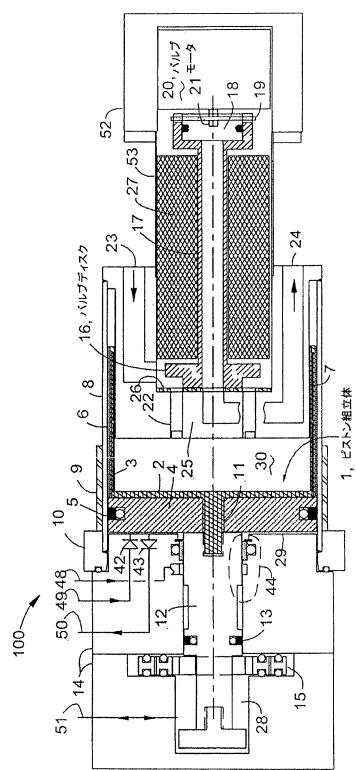
【表1】

表1	
図1で示されたようなエンジン100の設計および性能の一例	
シリンド I D [mm]	140
ピストン長 [mm]	100
ピストン底部厚 [mm]	27
ピストンキャップ4厚 [mm]	24
ピストンスリーブ厚 [mm]	4
ストローク [mm]	36
速さ [Hz]	5.5
ピストン重 [g]	2000
冷却能力 [W]	4200
正味冷却能力 [W]	3200

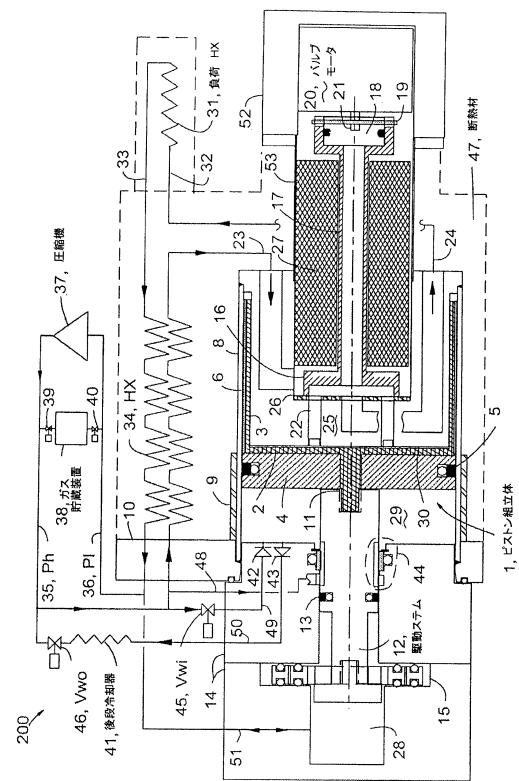
【0018】

全ての特許、特許出願公開および本出願で言及された係争中の出願は、全ての目的のために、その全体が参考によって援用される。

【図1】



【図2】



フロントページの続き

(72)発明者 ロングスワース、 ラルフ

アメリカ合衆国 18103-4783 ペンシルベニア州 アレンタウン ヴァルティー スト
リート 1833 スミトモ (エスエイチアイ) クライオジェニックス オブ アメリカ イ
ンコーポレイテッド内

合議体

審判長 山崎 勝司

審判官 窪田 治彦

審判官 宮崎 賢司

(56)参考文献 米国特許出願公開第2011/0219810 (US, A1)

特開2006-274939 (JP, A)

特開2006-275120 (JP, A)

特表2003-523496 (JP, A)

特開平6-42405 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F25B9/00, 9/14