

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7645774号  
(P7645774)

(45)発行日 令和7年3月14日(2025.3.14)

(24)登録日 令和7年3月6日(2025.3.6)

|                                      |                |          |                           |   |
|--------------------------------------|----------------|----------|---------------------------|---|
| (51)国際特許分類                           |                | F I      |                           |   |
| F 0 2 G                              | 1/043(2006.01) | F 0 2 G  | 1/043                     | D |
| F 0 2 G                              | 1/044(2006.01) | F 0 2 G  | 1/044                     | A |
| F 0 2 G                              | 1/047(2006.01) | F 0 2 G  | 1/047                     |   |
| F 0 2 G                              | 1/05 (2006.01) | F 0 2 G  | 1/05                      | A |
| F 0 2 G                              | 1/055(2006.01) | F 0 2 G  | 1/055                     | G |
| 請求項の数 15 (全16頁)                      |                |          |                           |   |
| (21)出願番号 特願2021-182824(P2021-182824) |                | (73)特許権者 | 720001060                 |   |
| (22)出願日 令和3年11月9日(2021.11.9)         |                |          | ヤンマーホールディングス株式会社          |   |
| (65)公開番号 特開2023-70562(P2023-70562A)  |                |          | 大阪府大阪市北区茶屋町 1 番 3 2 号     |   |
| (43)公開日 令和5年5月19日(2023.5.19)         |                | (74)代理人  | 110000947                 |   |
| 審査請求日 令和6年2月22日(2024.2.22)           |                |          | 弁理士法人あーく事務所               |   |
|                                      |                | (72)発明者  | 北崎 真人                     |   |
|                                      |                |          | 大阪府大阪市北区茶屋町 1 番 3 2 号 ヤ   |   |
|                                      |                |          | ンマーホールディングス株式会社内          |   |
|                                      |                | (72)発明者  | 吉塚 徹                      |   |
|                                      |                |          | 大阪府大阪市北区茶屋町 1 番 3 2 号 ヤ   |   |
|                                      |                |          | ンマーホールディングス株式会社内          |   |
|                                      |                | (72)発明者  | 坂本 修                      |   |
|                                      |                |          | 滋賀県米原市下多良 1 丁目 1 1 3 番地 3 |   |
|                                      |                |          | 株式会社 e スター内               |   |
|                                      |                | (72)発明者  | 田原 妙子                     |   |
| 最終頁に続く                               |                |          |                           |   |

(54)【発明の名称】 スターリングエンジン

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

エンジン部、ヒータ熱交換器、再生器、およびクーラ熱交換器を有するスターリングエンジンであって、

少なくとも前記エンジン部および前記クーラ熱交換器を含むエンジン本体と、少なくとも前記ヒータ熱交換器を含むヒータ構造体とが別体構造とされており、

前記エンジン本体と前記ヒータ構造体とが連結管部を介して接続されており、

前記再生器および前記クーラ熱交換器が前記エンジン部に含まれる気筒に対して前記ヒータ熱交換器の反対側に配置され、前記再生器の上端位置が前記気筒の上端位置よりも上方とされていることを特徴とするスターリングエンジン。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のスターリングエンジンであって、

当該スターリングエンジンは、前記エンジン部のクランクシャフトに対して直線状に配置された複数の前記気筒が駆動される複動型エンジンであることを特徴とするスターリングエンジン。

【請求項 3】

請求項 2 に記載のスターリングエンジンであって、

ヒータ熱交換器においては、複数の前記気筒の分のヒータ細管群が円環状に配置されていることを特徴とするスターリングエンジン。

【請求項 4】

請求項 1 から 3 の何れか 1 項に記載のスターリングエンジンであって、  
前記ヒータ熱交換器の長手方向が前記気筒におけるピストンの摺動方向と交差する向きとなるように配置されていることを特徴とするスターリングエンジン。

【請求項 5】

請求項 4 に記載のスターリングエンジンであって、  
前記ヒータ構造体を保持する第 1 サポート部材を有していることを特徴とするスターリングエンジン。

【請求項 6】

請求項 4 または 5 に記載のスターリングエンジンであって、  
前記再生器を保持する第 2 サポート部材を有していることを特徴とするスターリングエンジン。

10

【請求項 7】

請求項 2 に記載のスターリングエンジンであって、  
前記気筒の低温室と前記クーラ熱交換器とを繋ぐ作動流体経路に開閉バルブを備え、エンジンの停止時には前記開閉バルブによって前記作動流体経路を部分的に閉塞させることを特徴とするスターリングエンジン。

【請求項 8】

請求項 2 に記載のスターリングエンジンであって、  
位相が  $180^\circ$  ずれた複数の前記気筒の低温室同士を接続するバイパス経路と、  
前記バイパス経路に設けられた連通バルブとを備え、  
エンジン運転中は前記連通バルブを閉じて前記バイパス経路を閉塞し、エンジンの停止時には前記連通バルブを開いて前記バイパス経路を連通させることを特徴とするスターリングエンジン。

20

【請求項 9】

請求項 7 に記載のスターリングエンジンであって、  
エンジン運転中に前記開閉バルブを任意の開度に制御することで、エンジン出力を調整可能であることを特徴とするスターリングエンジン。

【請求項 10】

請求項 8 に記載のスターリングエンジンであって、  
エンジン運転中に前記連通バルブを任意の開度に制御することで、エンジン出力を調整可能であることを特徴とするスターリングエンジン。

30

【請求項 11】

請求項 8 に記載のスターリングエンジンであって、  
エンジン起動用のセルモータを有し、  
エンジン起動時には前記連通バルブを開いた状態で前記セルモータを始動させ、エンジンの起動後に、前記連通バルブを閉じ、前記セルモータを停止させることを特徴とするスターリングエンジン。

【請求項 12】

請求項 1 から 11 の何れか 1 項に記載のスターリングエンジンであって、  
前記再生器は、前記エンジン本体に含まれることを特徴とするスターリングエンジン。

40

【請求項 13】

請求項 1 から 12 の何れか 1 項に記載のスターリングエンジンであって、  
前記連結管部を構成する各連結管は、連結管壁の内部に管路全体に渡って蓄熱体が設けられていることを特徴とするスターリングエンジン。

【請求項 14】

請求項 13 に記載のスターリングエンジンであって、  
前記蓄熱体は中央部分が空洞部とされていることを特徴とするスターリングエンジン。

【請求項 15】

請求項 1 から 14 の何れか 1 項に記載のスターリングエンジンであって、  
前記連結管部は、前記エンジン本体および前記ヒータ構造体に対して着脱可能であり、

50

接続される部材との間のシール面に金属リングを配置させていることを特徴とするスターリングエンジン。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、スターリングエンジンに関する。

【背景技術】

【0002】

スターリングエンジンは多種多様な高温熱源から動力を回収できるものであり、近年は既存の高温排熱（ごみ焼却場や工場炉など）からの排熱回収・発電技術として注目されている。また、スターリングエンジンは、ピストン上方の高温空間（膨張空間）に対して、ヒータ熱交換器、再生器、クーラ熱交換器の順に各空間が連結されている。スターリングエンジンは、高温熱源にヒータ熱交換器を挿入し、そこから熱を吸収することで動力を発生させている。

10

【0003】

従来のスターリングエンジン（例えば、特許文献1～3）は、ヒータ熱交換器が膨張空間および再生器に直接接続された構造となっており、ヒータ熱交換器と（膨張空間を含む）エンジンとは近接して配置されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

20

【0004】

【文献】特開平7-259646号公報

【文献】特開平10-213012号公報

【文献】特許第5533713号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

従来のスターリングエンジンでは、ヒータ熱交換器の設置自由度が小さく、多種多様な高温熱源に合わせてエンジンを設置することが難しいといった問題がある。例えば、特許文献1では、ヒータ熱交換器はエンジンのピストン摺動方向（シリンダ軸上）に配置されているため、高温熱源ガスの配管がエンジンの真横に設置されている場合、ヒータ熱交換器を熱源配管に挿入することができない。

30

【0006】

本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであり、ヒータ熱交換器の設置自由度が高いスターリングエンジンを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記の課題を解決するために、本発明のスターリングエンジンは、エンジン部、ヒータ熱交換器、再生器、およびクーラ熱交換器を有するスターリングエンジンであって、少なくとも前記エンジン部および前記クーラ熱交換器を含むエンジン本体と、少なくとも前記ヒータ熱交換器を含むヒータ構造体とが別体構造とされており、前記エンジン本体と前記ヒータ構造体とが連結管部を介して接続されていることを特徴としている。

40

【0008】

上記の構成によれば、連結管部の形状を変更することで（例えば、連結管部を交換することで）エンジン本体とヒータ構造体との位置関係を容易に変更することができる。これにより、ヒータ熱交換器の設置自由度が高くなり、多種多様な高温熱源に対してヒータ熱交換器を容易に設置することができる。

【0009】

また、上記スターリングエンジンは、前記再生器および前記クーラ熱交換器が前記気筒の後方に配置され、前記再生器の上端位置が前記気筒の上端位置よりも上方とされている

50

構成とすることができる。

【 0 0 1 0 】

上記の構成によれば、再生器の上端位置を気筒の上端位置よりも上方とすることで、再生器、気筒、およびヒータ熱交換器との間で、連結管部の配置スペースが確保しやすくなる。

【 0 0 1 1 】

また、上記スターリングエンジンは、前記エンジン部のクランクシャフトに対して直線状に配置された複数の気筒が駆動される複動型エンジンである構成とすることができる。

【 0 0 1 2 】

また、上記スターリングエンジンでは、ヒータ熱交換器においては、複数の気筒分のヒータ細管群が円環状に配置されている構成とすることができる。

10

【 0 0 1 3 】

上記の構成によれば、ヒータ熱交換器において複数の気筒分のヒータ細管群を円環状に配置することで、ヒータ細管群のコンパクト配置が実現できる。

【 0 0 1 4 】

また、上記スターリングエンジンは、前記ヒータ熱交換器の長手方向が前記気筒におけるピストンの摺動方向と交差する向きとなるように配置されている構成とすることができる。

【 0 0 1 5 】

また、上記スターリングエンジンは、前記ヒータ構造体を保持する第 1 サポート部材を有している構成とすることができる。

20

【 0 0 1 6 】

また、上記スターリングエンジンは、前記再生器を保持する第 2 サポート部材を有している構成とすることができる。

【 0 0 1 7 】

また、上記スターリングエンジンは、前記気筒の低温室と前記クーラ熱交換器とを繋ぐ作動流体経路に開閉バルブを備え、エンジンの停止時には前記開閉バルブによって前記作動流体経路を部分的に閉塞させる構成とすることができる。

【 0 0 1 8 】

上記の構成によれば、バタフライバルブなどの安価なバルブを用いてエンジンの停止制御を安全に行うことができる。また、開閉バルブは、作動流体経路を部分的に閉塞することで、閉じられた経路に掛かる負荷（圧縮圧）が大きくなりすぎることを防止し、部品などに破損を生じることを回避できる。

30

【 0 0 1 9 】

また、上記スターリングエンジンは、位相が 180°ずれた気筒の低温室同士を接続するバイパス経路と、前記バイパス経路に設けられた連通バルブとを備え、エンジン運転中は前記連通バルブを閉じて前記バイパス経路を閉塞し、エンジンの停止時には前記連通バルブを開いて前記バイパス経路を導通させる構成とすることができる。

【 0 0 2 0 】

上記の構成によれば、位相が 180°ずれた気筒の低温室同士を連通させることで、エンジン停止時に部品などに過負荷を与えることなく、速やかなエンジン停止が可能となる。

40

【 0 0 2 1 】

また、上記スターリングエンジンは、エンジン運転中に前記開閉バルブあるいは前記連通バルブを任意の開度に制御することで、エンジン出力を調整可能である構成とすることができる。

【 0 0 2 2 】

上記の構成によれば、エンジン出力を調整可能とすることで、例えば、高温熱源の温度が上がりすぎた場合などに、エンジン出力を低下させ、エンジンの部品保護を図ることが可能となる。

【 0 0 2 3 】

50

また、上記スターリングエンジンは、エンジン起動用のセルモータを有し、エンジン起動時には前記連通バルブを開いた状態で前記セルモータを始動させ、エンジンの起動後に、前記連通バルブを閉じ、前記セルモータを停止させる構成とすることができる。

【 0 0 2 4 】

上記の構成によれば、エンジン起動時に連通バルブを開くことでエンジン負荷が軽減され、これにより小型のセルモータの使用が可能となる。

【 0 0 2 5 】

また、上記スターリングエンジンでは、前記再生器は、前記エンジン本体に含まれる構成とすることができる。

【 0 0 2 6 】

上記の構成によれば、再生器およびクーラ熱交換器は何れも円筒状の類似した形状であることから、再生器をエンジン本体側に含め、再生器およびクーラ熱交換器が一定的に接続された構成とすることで、スターリングエンジンの小型化に有利となる。

【 0 0 2 7 】

また、上記スターリングエンジンでは、前記連結管部を構成する各連結管は、連結管壁の内部に管路全体に渡って蓄熱体が設けられている構成とすることができる。

【 0 0 2 8 】

上記の構成によれば、蓄熱体の蓄熱作用によって連結管に再生器と同様の機能を持たせることができ、熱を有効利用してスターリングエンジンの出力を向上させることができる。

【 0 0 2 9 】

また、上記スターリングエンジンでは、前記蓄熱体は中央部分が空洞部とされている構成とすることができる。

【 0 0 3 0 】

上記の構成によれば、空洞部が作動流体の通路となり、連結管において蓄熱体による圧力損失の増加を抑制することができる。

【 0 0 3 1 】

また、上記スターリングエンジンでは、前記連結管部は、前記エンジン本体および前記ヒータ構造体に対して着脱可能であり、接続される部材との間のシール面に金属Ｏリングを配置させている構成とすることができる。

【 0 0 3 2 】

上記の構成によれば、連結管部をエンジン本体およびヒータ構造体に対して着脱可能とすることで、エンジン本体とヒータ構造体との位置関係の変更が容易となり、また、金属Ｏリングの使用によって高温への耐性を要する箇所でのシールが行える。

【発明の効果】

【 0 0 3 3 】

本発明のスターリングエンジンは、エンジン本体とヒータ構造体とを別体構造とし、これらが連結管部を介して接続されることで、ヒータ熱交換器の設置自由度が高くなり、多種多様な高温熱源に対してヒータ熱交換器を容易に設置することができるといった効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 3 4 】

【図 1】本発明の一実施形態を示すものであり、スターリングエンジンの外観を示す斜視図である。

【図 2】図 1 のスターリングエンジンを異なる方向から見た斜視図である。

【図 3】スターリングエンジンの概略構成を示す模式図である。

【図 4】スターリングエンジンと高温熱源との位置関係例を示す説明図である。

【図 5】クランクシャフトに作用する偶力の一例を示す説明図である。

【図 6】クランクシャフトに作用する偶力の好適例を示す説明図である。

【図 7】スターリングエンジンの概略構成を示す模式図である。

【図 8】スターリングエンジンにおける連結管部の拡大斜視図である。

10

20

30

40

50

【図 9】スターリングエンジンにおける再生器、クーラ熱交換器および気筒の配置関係を示す図である。

【図 10】ヒータ熱交換器におけるヒータ細管群の配置例を示す平面図である。

【図 11】連結管の外観例を示す斜視図である。

【図 12】スターリングエンジンの概略構成を示す模式図である。

【図 13】連結管の断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0035】

〔実施の形態 1〕

以下、本発明の実施の形態について、図面を参照して詳細に説明する。図 1 および図 2 は、本実施の形態 1 に係るスターリングエンジン 10 の外観を示す斜視図である。図 3 は、スターリングエンジン 10 の概略構成を示す模式図である。

【0036】

図 1 および図 2 に示すように、スターリングエンジン 10 は、エンジン部 11、ヒータ熱交換器 12、再生器 13、クーラ熱交換器 14 および連結管部 15 を有している。また、図 1 および図 2 に示すスターリングエンジン 10 では、エンジン部 11 のクランクシャフト 115（図 3 参照）に発電機 20 が接続されており、スターリングエンジン 10 の駆動によって発電機 20 にて発電を行うことが可能である。

【0037】

スターリングエンジン 10 は、高温熱源（例えば高温流体の流れる高温パイプ）にヒータ熱交換器 12 を挿入し、ヒータ熱交換器 12 において作動流体を加熱する。さらに、クーラ熱交換器 14 では、冷却水によって作動流体を冷却する（冷却水の供給手段については図示省略）。スターリングエンジン 10 は、こうして加熱／冷却される作動流体の移動によってエンジン部 11 を駆動するようになっている。尚、エンジン部 11 は単気筒タイプのエンジンであってもよく多気筒タイプのエンジンであってもよいが、本実施の形態 1 では 4 気筒タイプのエンジン部 11 を例示する。

【0038】

エンジン部 11 は、図 3 に示すように、4 つの気筒 111A～111D（特に区別しない場合は単に気筒 111 と称する）を有している。ここでは、クランクシャフト 115 に対して直線状に配置された 4 つの気筒を、その配置順に従って気筒 111A～111D としている。それぞれの気筒 111 にはピストン 112 が備えられ、ピストン 112 の摺動方向（図 3 では上下方向）に対する一方側（図 3 では上側）に高温室 113 が設けられ、他方側（図 3 では下側）に低温室 114 が設けられる。高温室 113 はヒータ熱交換器 12 と接続され、低温室 114 はクーラ熱交換器 14 と接続されている。ヒータ熱交換器 12 およびクーラ熱交換器 14 は、間に再生器 13 を挟んで接続されている。再生器 13 は、ヒータ熱交換器 12 とクーラ熱交換器 14 との間の蓄熱手段となるものであり、作動流体がヒータ熱交換器 12 からクーラ熱交換器 14 に移動するときに作動流体から蓄熱し、反対の流れのときにその熱を作動流体に回収させることで熱を有効利用する。尚、図 3 に示すスターリングエンジン 10 は 4 気筒複動型エンジンであり、間に同じ再生器 13 を挟んで接続されたヒータ熱交換器 12 およびクーラ熱交換器 14 は、それぞれ異なる気筒 111 に対して接続される構成となっている。

【0039】

スターリングエンジン 10 の動作は、各気筒 111 におけるピストン 112 が、第 1 位置（上死点位置：図 3 では気筒 111A）、第 2 位置（ピストン 112 が下向きに移動する間に、上死点位置からクランクシャフト 115 を 90°回転させる位置：図 3 では気筒 111D）、第 3 位置（下死点位置：図 3 では気筒 111C）、および第 4 位置（ピストン 112 が上向きに移動する間に、下死点位置からクランクシャフト 115 を 90°回転させる位置：図 3 では気筒 111B）を順にとるようなサイクルを繰り返すことで成立する。

【0040】

10

20

30

40

50

本実施の形態１に係るスターリングエンジン１０は、少なくともエンジン部１１とクーラ熱交換器１４とを含むエンジン本体Ｅ（図４参照）と、少なくともヒータ熱交換器１２を含むヒータ構造体Ｈ（図４参照）とが別体構造とされ、これらが連結管部１５を介して接続されることを構造的特徴としている。再生器１３は、エンジン本体Ｅ側に含まれてもよく、あるいはヒータ構造体Ｈ側に含まれてよい。本実施の形態１では、再生器１３をエンジン本体Ｅ側に含めた構成を例示しており、この場合、連結管部１５は、ヒータ熱交換器１２と再生器１３との間を接続する複数の連結管と、ヒータ熱交換器１２と各気筒１１の高温室１１３との間を接続する複数の連結管とを含む構成となる。

#### 【００４１】

尚、再生器１３をヒータ熱交換器１２側に含める場合は、連結管部１５は、再生器１３とクーラ熱交換器１４との間を接続する複数の連結管と、ヒータ熱交換器１２と各気筒１１の高温室１１３との間を接続する複数の連結管とを含む構成となる。但し、再生器１３およびクーラ熱交換器１４は、何れも円筒状の類似した形状であることから、これらは一体的に接続された構成とすることがスターリングエンジン１０の小型化に有利であり、再生器１３はエンジン本体Ｅ側に含めることが好ましい。

#### 【００４２】

このように、エンジン本体Ｅとヒータ構造体Ｈとを連結管部１５を介して接続するスターリングエンジン１０は、連結管部１５の形状を変更することで（例えば連結管部１５を交換することで）エンジン本体Ｅとヒータ構造体Ｈとの位置関係を容易に変更することが可能となる。すなわち、多種多様な高温熱源に対してヒータ熱交換器１２を容易に設置することができる。

#### 【００４３】

例えば、図４に示す例では、ヒータ構造体Ｈはエンジン本体Ｅから側方に延びるように配置されており、ヒータ熱交換器１２を配置すべき高温熱源がエンジン本体Ｅの側方に存在する高温パイプ５０Ａであるような場合には、高温熱源に対してヒータ熱交換器１２を容易に設置することができる。しかしながら、ヒータ熱交換器１２を配置すべき高温熱源がエンジン本体Ｅの上方に存在する高温パイプ５０Ｂであるような場合には、ヒータ構造体Ｈはエンジン本体Ｅから側方に延びるのではなく、上方に延びるように配置されていることが好ましい。本実施の形態１に係るスターリングエンジン１０は、連結管部１５の形状を変更することで、ヒータ構造体Ｈがエンジン本体Ｅから上方に延びるような配置とすることも容易である。

#### 【００４４】

尚、スターリングエンジン１０において、エンジン本体Ｅとヒータ構造体Ｈとの間のサポートを連結管部１５のみで行うと強度の問題がある。スターリングエンジン１０におけるサポート強度が弱いと、複数の気筒１１のそれぞれの振動を抑制できず、エンジン全体としての振動が大きくなる。また、例えば図１，２に示すように、ヒータ構造体Ｈがエンジン本体Ｅから側方に延びるような横向き構造（言い換えれば、ヒータ熱交換器１２の長手方向が気筒１１におけるピストン１１２の摺動方向と直交する構造）とした場合、ヒータ構造体Ｈの自重によって連結管部１５に偏荷重が発生する恐れがある。

#### 【００４５】

このため、本実施の形態に係るスターリングエンジン１０は、エンジン本体Ｅおよびヒータ構造体Ｈを保持するサポート部材（例えば、図１におけるフレーム３１，３２）を有していることが好ましい。フレーム３１は、エンジン本体Ｅに対して水平方向に接続されたヒータ熱交換器１２を、エンジン機関台３３とエンジン部１１のシリンダブロックとからサポートするものであり、特許請求の範囲に記載の第１サポート部材に相当する。フレーム３２は、ヒータ熱交換器１２と各再生器１３とを繋ぐと共に、再生器１３同士をも繋いでサポートするものであり、特許請求の範囲に記載の第２サポート部材に相当する。これらのサポート部材により、スターリングエンジン１０の振動を抑制できる。また、従来構造では実現できなかったヒータ横向き構造を採用できるようになる。

#### 【００４６】

## 〔実施の形態２〕

本実施の形態２では、スターリングエンジン１０は、４気筒複動型エンジンであることを前提する。すなわち、スターリングエンジン１０は、図３に示すように、４つの気筒１１１Ａ～１１１Ｄにおいて、ピストン１１２は $90^\circ$ ずつ位相をずらして駆動される（具体的には、ピストン１１２の位相は気筒１１１Ａ～１１１Ｄの順に位相が $90^\circ$ ずつ遅れている）。ここで、基準となる気筒（例えば、気筒１１１Ａ）を第１気筒とし、第１気筒から位相の遅れる順に第２～第４気筒と定義すれば、図３の例では、気筒１１１Ｂが第２気筒、気筒１１１Ｃが第３気筒、気筒１１１Ｄが第４気筒となる。

## 【００４７】

４つの気筒がクランクシャフト１１５に対して直線状に配置された気筒複動型エンジンの場合、位相が $180^\circ$ ずれた２つの気筒の間では遇力が発生し、この偶力がエンジン振動の原因となったり、クランクシャフトに負荷（曲げ応力）を与えたりする。図３の例では、第１気筒から第４気筒の順に４つの気筒１１１が並んで配置しているが、第１気筒と第３気筒との間、および第２気筒と第４気筒との間に偶力が発生する。また、図５に示すように、それぞれの気筒がクランクシャフト１１５に対して与える力を $F$ 、隣り合う２つの気筒間のピッチを $L$ とした場合、クランクシャフト１１５に作用する最大偶力 $N$ （例えば、第１気筒と第３気筒との間の偶力）は、 $N = 2FL$ となる。

## 【００４８】

これに対し、本実施の形態２では、気筒の配置順序を工夫することでクランクシャフト１１５に発生する偶力を抑制（最小化）する。具体的には、位相が $180^\circ$ ずれた気筒同士を近接させる（隣り合わせる）気筒配置とする。例えば、図６に示すように、第１気筒および第３気筒を隣り合わせ、かつ、第２気筒および第４気筒を隣り合わせる気筒配置とすることで、クランクシャフト１１５に作用する最大偶力 $N$ （例えば、第１気筒と第３気筒との間の偶力）は、 $N = FL$ となる。尚、図６は、第１気筒、第３気筒、第４気筒、第２気筒の順に配置されているが、第４気筒と第２気筒との順序は入れ替わってもよい。

## 【００４９】

また、４気筒複動型エンジンでは、セットとなるヒータ熱交換器１２、再生器１３およびクーラ熱交換器１４は、位相が $90^\circ$ ずれた気筒間で接続される。図３を例に見れば、第１気筒である気筒１１１Ａと第２気筒である気筒１１１Ｂとの間で、ヒータ熱交換器１２、再生器１３およびクーラ熱交換器１４のセットが接続されている。具体的には、クーラ熱交換器１４が位相の進んだ気筒１１１Ａ側の低温室１１４に接続され、ヒータ熱交換器１２が位相の遅れた気筒１１１Ｂ側の高温室１１３に接続されている。同様の接続関係は、第２気筒である気筒１１１Ｂと第３気筒である気筒１１１Ｃとの間、第３気筒である気筒１１１Ｃと第４気筒である気筒１１１Ｄとの間、および第４気筒である気筒１１１Ｄと第１気筒である気筒１１１Ａとの間にも存在する。

## 【００５０】

ここで、図３はクランクシャフト１１５に対する気筒配置を第１～第４気筒の順（図５に対応する配置順）としたものである。これに対し、クランクシャフト１１５に対する負荷低減のために、気筒配置を第１気筒、第３気筒、第４気筒、第２気筒の順（図６に対応する配置順）とした場合、気筒間におけるヒータ熱交換器１２、再生器１３およびクーラ熱交換器１４の接続は、模式的には図７に示すようになる。

## 【００５１】

ヒータ熱交換器１２は、高温熱源に挿入された状態で効率的な熱交換が行えるように、ヒータ細管群にて構成されている。エンジン本体Ｅとヒータ構造体Ｈとが一体構造とされ、ヒータ熱交換器１２がエンジン部１１の高温室１１３と再生器１３との両方に直接接続される（連結管部１５を介さずに接続される）ような従来構造の場合、図７に示すような接続構造を得ることは困難である。すなわち、ヒータ熱交換器１２において、４気筒分のヒータ細管群におけるコンパクト配置（例えば、図１０に示すようなヒータ細管群の規則正しい配置）が不可能となる。

## 【００５２】

10

20

30

40

50



これに対し、本実施の形態 2 に係るスターリングエンジン 10 は、実施の形態 1 と同様に、エンジン本体 E とヒータ構造体 H とが別体構造とされ、これらが連結管部 15 を介して接続されている。このため、図 8 に示すように、連結管部 15 における複数の連結管によって、ヒータ熱交換器 12 と再生器 13 との間の接続、およびヒータ熱交換器 12 と各気筒 111 の高温室 113 との間の接続を高い自由度で行えるようになる。その結果、ヒータ熱交換器 12 に関しては、再生器 13 や気筒 111 との接続関係に関わらず、4 気筒分のヒータ細管群におけるコンパクト配置が可能となる。

#### 【0053】

より具体的には、図 9 に示すように、再生器 13 およびクーラ熱交換器 14 が気筒 111 の後方に近接して縦置きされ、再生器 13 の上端位置 P1 が気筒 111 の上端位置 P2 よりも上方とされることが好ましい。これにより、再生器 13、気筒 111、およびヒータ熱交換器 12 との間で、連結管部 15 の配置スペースが確保しやすくなる。また、ヒータ熱交換器 12 においては、図 10 に示すように、4 気筒分のヒータ細管群を円環状に配置することが好ましい。これにより、ヒータ熱交換器 12 におけるヒータ細管群のコンパクト配置が実現できる。

#### 【0054】

尚、連結管部 15 は、図 11 に例示するような連結管 150 を、ヒータ熱交換器 12 と再生器 13 との間、あるいはヒータ熱交換器 12 と気筒 111 との間に個別に接続するような（エンジン本体 E およびヒータ構造体 H に対して着脱可能である）構成とすることができる。連結管 150 は、接続される部材（ヒータ熱交換器 12、再生器 13 または気筒 111）との間のシール面に、金属リング 151 を配置させて気密を得る構成とすることが好ましい。金属リング 151 としては、高温への耐性を有するメタル中空型のリングガasketなどを使用することができる。

#### 【0055】

##### 〔実施の形態 3〕

スターリングエンジン 10 は受動的なエンジンであり、基本的には、高温熱源から熱が供給される限りは動作を継続する（熱の供給が無くなれば動作を停止する）。しかしながら、緊急時などにおいてエンジンの動作を停止させる必要が生じることも考えられる。本実施の形態 3 では、スターリングエンジン 10 のエンジン停止構成についての好適例について説明する。

#### 【0056】

スターリングエンジン 10 は、作動流体の移動を止めることでエンジンを停止させることができる。このため、本実施の形態 3 に係るスターリングエンジン 10 は、作動流体の低温部経路（気筒 111 の低温室 114 とクーラ熱交換器 14 とを繋ぐ作動流体経路）に開閉バルブ 16（図 1 参照）を設け、エンジン動作中は開閉バルブ 16 を開き、この開閉バルブ 16 を閉じることでエンジンを停止させる構成とすることができる。尚、原理的には、開閉バルブ 16 を設ける経路は特に限定されるものではなく、高温部経路（気筒 111 の高温室 113 とヒータ熱交換器 12 とを繋ぐ作動流体経路）に設けることも可能である。但し、スターリングエンジン 10 では、高温部経路は連結管部 15 となるため、高温部経路は開閉バルブ 16 の配置に不適であり、開閉バルブ 16 は低温部経路に設けられることが好ましい。

#### 【0057】

使用される開閉バルブ 16 の種類は特に限定されるものではなく、例えば、バタフライバルブなどの安価なバルブを用いることができる。この場合、開閉バルブ 16 は、経路を完全に塞ぐようなものとする、閉じられた経路に掛かる負荷（圧縮圧）が大きくなりすぎて部品などに破損を生じる恐れもある。このため、開閉バルブ 16 は経路を完全に塞ぐものではなく、作動流体をある程度は通過させることのできる（経路を部分的に閉塞させる）穴開き弁とすることが好ましい。すなわち、開閉バルブ 16 は、経路を完全に塞がなくても、流路面積を低減して作動流体の移動量を減らすだけでもエンジン停止させることが可能である。より具体的には、開閉バルブ 16 の通路閉塞面積は、閉塞により発生する

10

20

30

40

50

圧縮圧でエンジンが破損しない最大の面積で、かつ確実にエンジンを停止できる（エンジン出力 機械損失となる）面積に設定されている。

【 0 0 5 8 】

また、開閉バルブ 1 6 は、ロータリーソレノイドなどを用いて経路の流路面積を調整できるようなものであってもよい。この場合、経路の流路面積を徐々に小さくするような制御が可能であり、エンジンの急激な停止を避け、エンジン停止時にピストン 1 1 2 に掛かる負荷などを低減することができる。

【 0 0 5 9 】

また、本実施の形態 3 に係るスターリングエンジン 1 0 の変形例として、図 1 2 に示す構成も考えられる。図 1 2 に示すスターリングエンジン 1 0 は、位相が 1 8 0 ° ずれた気筒 1 1 1 の低温室 1 1 4 同士をバイパス経路 1 7 で接続し、バイパス経路 1 7 に連通バルブ 1 7 1 を設けた構成である。図 1 2 の例では、気筒 1 1 1 A と気筒 1 1 1 C とがバイパス経路 1 7 で接続され、かつ、気筒 1 1 1 B と気筒 1 1 1 D とがバイパス経路 1 7 で接続されている。

10

【 0 0 6 0 】

図 1 2 のスターリングエンジン 1 0 では、エンジン動作中は連通バルブ 1 7 1 を閉じておき、この連通バルブ 1 7 1 を開いてバイパス経路 1 7 を導通させる（位相が 1 8 0 ° ずれた気筒 1 1 1 の低温室 1 1 4 同士を連通させる）ことでエンジンを停止させることができる。この構成では、エンジン停止時に部品などに過負荷を与えることなく、速やかなエンジン停止が可能となる。

20

【 0 0 6 1 】

尚、図 1 2 におけるエンジン停止構成を図 6 に示す気筒配置を採用したスターリングエンジン 1 0 に適用した場合、位相が 1 8 0 ° ずれた気筒同士は互いに隣り合う配置となるため、バイパス経路 1 7 を短くすることができる。これにより、バイパス経路 1 7 による無駄な容積の発生やコストアップを抑制できる。また、バイパス経路 1 7 が長くなる場合の起動時の馬力ロスも低減することができる。

【 0 0 6 2 】

また、本実施の形態 3 に係るスターリングエンジン 1 0 では、開閉バルブ 1 6 や連通バルブ 1 7 1 の開度を調整可能とすることで、エンジンの出力制御に用いることも可能である。例えば、高温熱源の温度が上がりすぎた場合などに、開閉バルブ 1 6 を幾分閉じたり、連通バルブ 1 7 1 を幾分開いたりすることでエンジン出力を低下させ、エンジンの部品保護を図ることが可能となる。

30

【 0 0 6 3 】

〔 実施の形態 4 〕

本実施の形態 4 では、スターリングエンジン 1 0 のエンジン起動制御についての好適例について説明する。

【 0 0 6 4 】

スターリングエンジン 1 0 は、その起動においてセルモータ 4 0（図 1 参照）を必要とする。このセルモータ 4 0 は、当然ながら、スターリングエンジン 1 0 の起動時におけるエンジン負荷（圧力損失）が大きいほど大型のモータが必要となる。

40

【 0 0 6 5 】

これに対し、本実施の形態 4 に係るスターリングエンジン 1 0 は、図 1 2 に示す構成を有することを前提とし、連通バルブ 1 7 1 を用いて起動時のエンジン負荷を低減することを特徴とする。すなわち、実施の形態 4 に係るスターリングエンジン 1 0 は、その起動時に連通バルブ 1 7 1 を開いた状態でセルモータ 4 0 を始動させる。スターリングエンジン 1 0 は、連通バルブ 1 7 1 を開くことでエンジン負荷が軽減され、これにより小型のセルモータ 4 0 の使用が可能となる。そして、エンジンの回転数が所定値となれば、連通バルブ 1 7 1 を閉じ、セルモータ 4 0 を停止させて、エンジンの運転を維持することができる。

【 0 0 6 6 】

〔 実施の形態 5 〕

50

上述したスターリングエンジン 10 は、エンジン本体 E とヒータ構造体 H とを別体構造とし、これらが連結管部 15 を介して接続された構造を特徴としている。この構造においては、連結管部 15 が熱サイクルに寄与しない無効容積となり、スターリングエンジン 10 の出力低下の要因となりうる。本実施の形態 5 では、連結管部 15 による出力低下を抑制するための好適例について説明する。

【0067】

図 13 は、連結管部 15 に使用される連結管 150 の断面図である。図 13 に示す連結管 150 は、連結管壁 152 の内部に管路全体に渡って金網メッシュや金属不織布などの蓄熱体 153 が設けられている。また、蓄熱体 153 は、その中央部分が空洞部 154 とされていることが好ましい。このような構成の連結管 150 は、その内部を高温の作動流体を通過するときに、蓄熱体 153 において熱を蓄熱し、外部への放熱を低減することができる。また、蓄熱体 153 の中央部分を空洞部 154 とすることで、空洞部 154 が作動流体通路となり、蓄熱体 153 による圧力損失の増加を抑制することができる。

10

【0068】

図 13 に示す連結管 150 は、蓄熱体 153 の蓄熱作用によって、再生器 13 と同様の機能を有することができ、熱を有効利用してスターリングエンジン 10 の出力を向上させることができる。

【0069】

今回開示した実施形態は全ての点で例示であって、限定的な解釈の根拠となるものではない。したがって、本発明の技術的範囲は、上記した実施形態のみによって解釈されるものではなく、特許請求の範囲の記載に基づいて画定される。また、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内での全ての変更が含まれる。

20

【符号の説明】

【0070】

- 10     スターリングエンジン
- 11     エンジン部
- 111     気筒
- 112     ピストン
- 113     高温室
- 114     低温室
- 115     クランクシャフト
- 12     ヒータ熱交換器
- 13     再生器
- 14     クーラ熱交換器
- 15     連結管部
- 150     連結管
- 151     金属Ｏリング
- 152     連結管壁
- 153     蓄熱体
- 154     空洞部
- 16     開閉バルブ
- 17     バイパス経路
- 171     連通バルブ
- 20     発電機
- 31     フレーム（第 1 サポート部材）
- 32     フレーム（第 2 サポート部材）
- 33     エンジン機関台
- 40     セルモータ
- 50A     高温パイプ
- 50B     高温パイプ

30

40

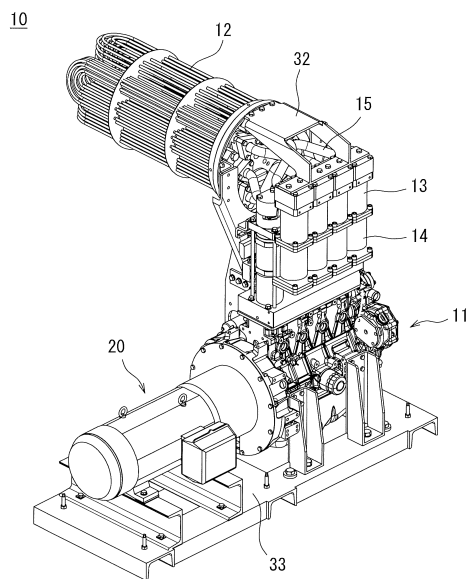
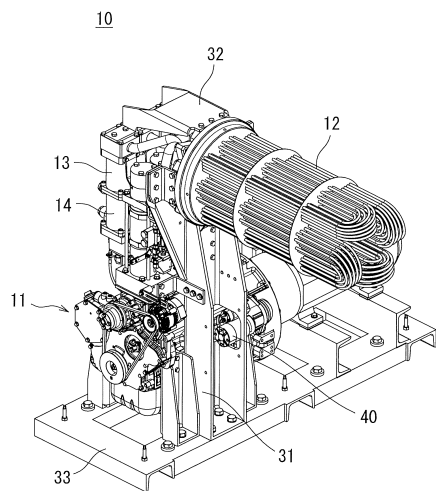
50

E エンジン本体  
H ヒータ構造体

【図面】

【図 1】

【図 2】



10

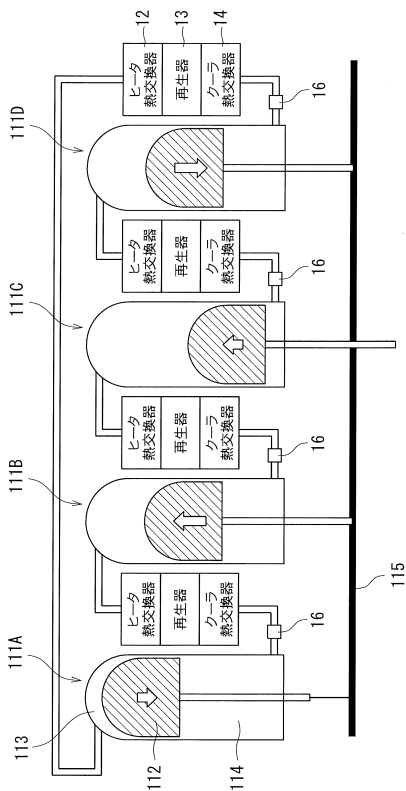
20

30

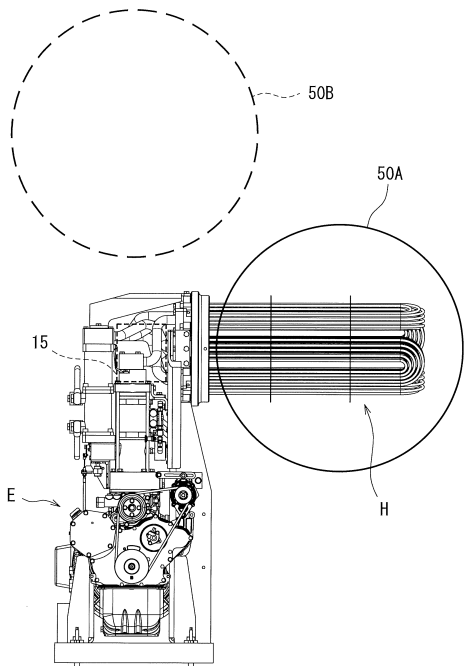
40

50

【図 3】



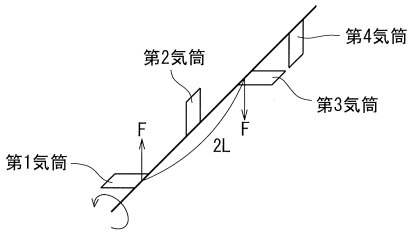
【図 4】



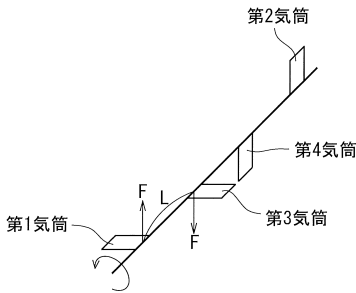
10

20

【図 5】



【図 6】

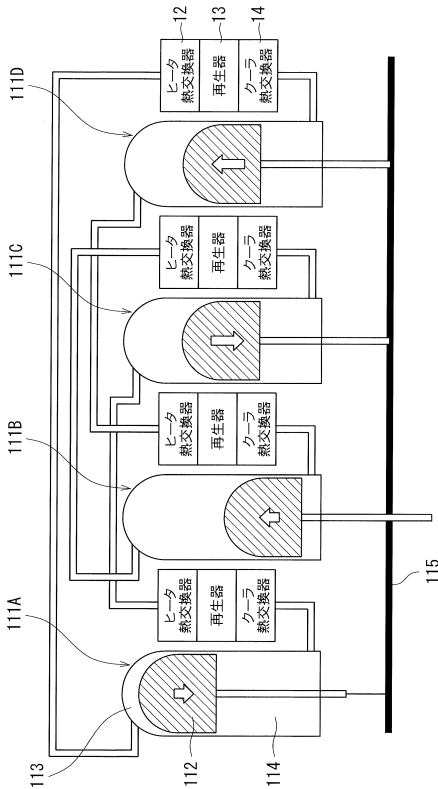


30

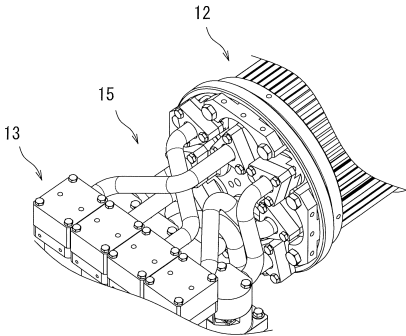
40

50

【図 7】



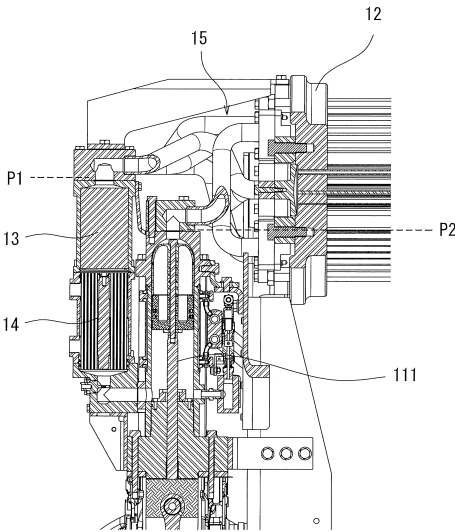
【図 8】



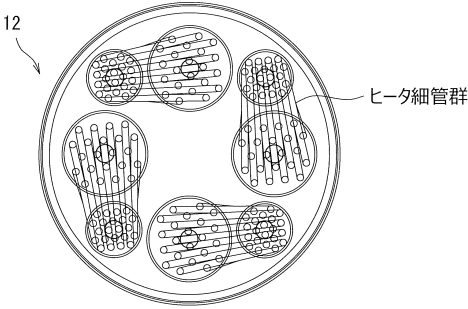
10

20

【図 9】



【図 10】

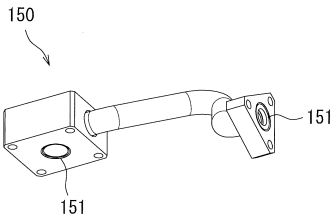


30

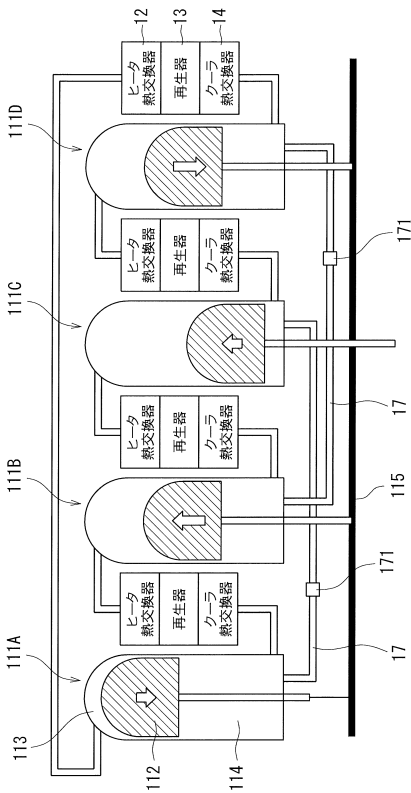
40

50

【図 1 1】



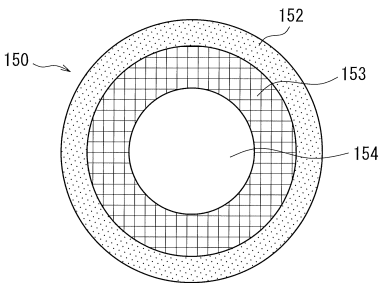
【図 1 2】



10

20

【図 1 3】



30

40

50

## フロントページの続き

滋賀県米原市下多良1丁目113番地3 株式会社eスター内

審査官 小関 峰夫

- (56)参考文献 特開昭57-013250(JP,A)  
特開昭58-122343(JP,A)  
特開平05-231240(JP,A)  
特開平07-286558(JP,A)  
特開2003-172452(JP,A)  
特開2011-064121(JP,A)  
米国特許第04765138(US,A)  
西独国特許出願公開第02231360(DE,A)  
韓国公開特許第10-2019-0070375(KR,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
F02G 1/04