

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-118406
(P2006-118406A)

(43) 公開日 平成18年5月11日(2006.5.11)

(51) Int. Cl.

F02G 1/057 (2006.01)

F1

F02G 1/057

テーマコード(参考)

Z

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2004-305923 (P2004-305923)
(22) 出願日 平成16年10月20日(2004.10.20)

(71) 出願人 501204525
独立行政法人海上技術安全研究所
東京都三鷹市新川6丁目38番1号
(74) 代理人 100087745
弁理士 清水 善廣
(74) 代理人 100098545
弁理士 阿部 伸一
(74) 代理人 100106611
弁理士 辻田 幸史
(72) 発明者 平田 宏一
東京都三鷹市新川6丁目38番1号 独立
行政法人 海上技術安全研究所内
(72) 発明者 川田 正園
東京都三鷹市新川6丁目38番1号 独立
行政法人 海上技術安全研究所内

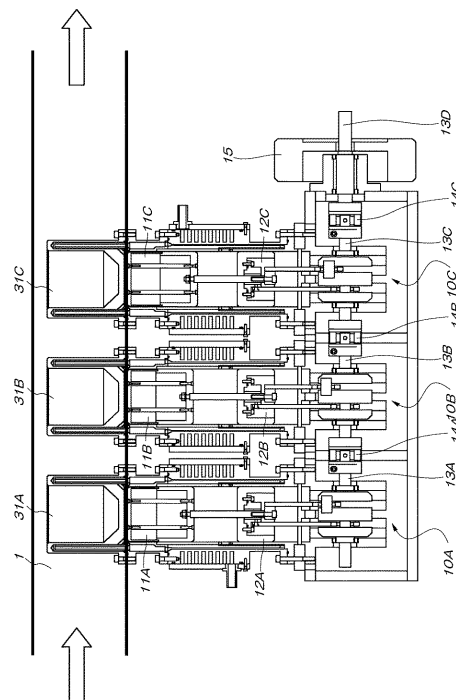
(54) 【発明の名称】 廃熱回収装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】複数のスターリングエンジンを多段化して、1台では回収しきれない熱量を、他のスターリングエンジンで有効に回収できる廃熱回収装置を提供する。

【解決手段】ディスプレイサピストン11A、11B、11Cとパワーピストン12A、12B、12Cとをクランクシャフト13A、13B、13Cに連結したスターリングエンジン10A、10B、10Cを複数個備え、それぞれのスターリングエンジンを多段に組み合わせ、廃熱などの熱源ガスを一方のスターリングエンジンから他方のスターリングエンジンに向けて順に通過させて加熱源として利用する廃熱回収装置であって、いずれか一つのスターリングエンジンにおけるディスプレイサピストンの行程容積とパワーピストンの行程容積との容積比を、他のスターリングエンジンにおけるディスプレイサピストンの行程容積とパワーピストンの行程容積との容積比と異ならせたことを特徴とする廃熱回収装置。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

ディスプレイサピストンとパワーピストンとをクランクシャフトに連結したスターリングエンジンを複数個備え、それぞれの前記スターリングエンジンを多段に組み合わせ、廃熱などの熱源ガスを一方の前記スターリングエンジンから他方の前記スターリングエンジンに向けて順に通過させて加熱源として利用する廃熱回収装置であって、いずれか一つの前記スターリングエンジンにおける前記ディスプレイサピストンの行程容積と前記パワーピストンの行程容積との容積比を、他の前記スターリングエンジンにおける前記ディスプレイサピストンの行程容積と前記パワーピストンの行程容積との容積比と異ならせたことを特徴とする廃熱回収装置。

10

【請求項 2】

前記ディスプレイサピストンのストローク又は前記パワーピストンのストロークを異ならせることで前記行程容積を異ならせたことを特徴とする請求項 1 に記載の廃熱回収装置。

【請求項 3】

前記スターリングエンジンにおける前記容積比を、所定のエンジン入口温度に対して当該スターリングエンジンで得られる最高発電出力よりも低い発電出力となる容積比としたことを特徴とする請求項 1 に記載の廃熱回収装置。

【請求項 4】

前記熱源ガスに対して最上流に位置する前記スターリングエンジンにおける前記容積比を、所定のエンジン入口温度に対して当該スターリングエンジンで得られる最高発電出力よりも低い発電出力となる容積比としたことを特徴とする請求項 1 に記載の廃熱回収装置。

20

【請求項 5】

N 段の前記スターリングエンジンで得られる加算発電出力が、(N - 1) 段の前記スターリングエンジンで得られる加算発電出力よりも高くなるように、それぞれの前記スターリングエンジンにおける前記容積比を、所定のエンジン入口温度に対して当該スターリングエンジンで得られる最高発電出力よりも低い発電出力となる容積比としたことを特徴とする請求項 1 に記載の廃熱回収装置。

【請求項 6】

隣り合う前記スターリングエンジンにおける前記クランクシャフト同士を、カップリングによって連結したことを特徴とする請求項 1 に記載の廃熱回収装置。

30

【請求項 7】

それぞれの前記スターリングエンジンを直列に併設し、前記クランクシャフトからそれぞれの冷却部及びそれぞれの加熱部までの距離を同一としたことを特徴とする請求項 1 に記載の廃熱回収装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、廃熱やバイオマスなどの熱源を有効に活用する廃熱回収装置に関する。

40

【背景技術】**【0002】**

廃熱やバイオマスなどの熱源を有効に活用することは、環境問題及びエネルギー問題の解決に繋がる。スターリングエンジンは熱源を選ばず、温度差があれば運転できるという特徴を持つことから、それらの有効活用方法として適していると考えられる。

【発明の開示】**【発明が解決しようとする課題】****【0003】**

しかし、工場等からの廃熱は化石燃料の燃焼と比べて一般的に温度が低い。また、バイオマスの燃焼は化石燃料のように安定した燃焼が困難である。廃熱などのように限られた

50

熱量、温度の熱源を有効に利用するためには、スターリングエンジンを運転する温度レベルが重要になる。熱源の熱量を無駄なく利用するには、スターリングエンジンへの入熱量を増加させればよいが、1台のスターリングエンジンでは回収しきれない熱量が生じる場合も少なくない。

【0004】

そこで本発明は、限られた熱源を最大限に活用するために、複数のスターリングエンジンを多段化することで、1台のスターリングエンジンでは回収しきれない熱量を、他のスターリングエンジンで有効に回収することができる廃熱回収装置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】

【0005】

請求項1記載の本発明の廃熱回収装置は、ディスプレイサピストンとパワーピストンとをクランクシャフトに連結したスターリングエンジンを複数個備え、それぞれの前記スターリングエンジンを多段に組み合わせ、廃熱などの熱源ガスを一方の前記スターリングエンジンから他方の前記スターリングエンジンに向けて順に通過させて加熱源として利用する廃熱回収装置であって、いずれか一つの前記スターリングエンジンにおける前記ディスプレイサピストンの行程容積と前記パワーピストンの行程容積との容積比を、他の前記スターリングエンジンにおける前記ディスプレイサピストンの行程容積と前記パワーピストンの行程容積との容積比と異ならせたことを特徴とする。

請求項2記載の本発明は、請求項1に記載の廃熱回収装置において、前記ディスプレイサピストンのストローク又は前記パワーピストンのストロークを異ならせることで前記行程容積を異ならせたことを特徴とする。

請求項3記載の本発明は、請求項1に記載の廃熱回収装置において、前記スターリングエンジンにおける前記容積比を、所定のエンジン入口温度に対して当該スターリングエンジンで得られる最高発電出力よりも低い発電出力となる容積比としたことを特徴とする。

請求項4記載の本発明は、請求項1に記載の廃熱回収装置において、前記熱源ガスに対して最上流に位置する前記スターリングエンジンにおける前記容積比を、所定のエンジン入口温度に対して当該スターリングエンジンで得られる最高発電出力よりも低い発電出力となる容積比としたことを特徴とする。

請求項5記載の本発明は、請求項1に記載の廃熱回収装置において、N段の前記スターリングエンジンで得られる加算発電出力が、(N-1)段の前記スターリングエンジンで得られる加算発電出力よりも高くなるように、それぞれの前記スターリングエンジンにおける前記容積比を、所定のエンジン入口温度に対して当該スターリングエンジンで得られる最高発電出力よりも低い発電出力となる容積比としたことを特徴とする。

請求項6記載の本発明は、請求項1に記載の廃熱回収装置において、隣り合う前記スターリングエンジンにおける前記クランクシャフト同士を、カップリングによって連結したことを特徴とする。

請求項7記載の本発明は、請求項1に記載の廃熱回収装置において、それぞれの前記スターリングエンジンを直列に併設し、前記クランクシャフトからそれぞれの冷却部及びそれぞれの加熱部までの距離を同一としたことを特徴とする。

【発明の効果】

【0006】

本発明によれば、特に上流側におけるスターリングエンジンに入熱量を低下させることで、下流側におけるスターリングエンジンに入熱量を高めることができ、それぞれのスターリングエンジンの発電効率を適切に調整することができ、結果としてトータルの発電出力を高めることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0007】

本発明の第1の実施の形態による廃熱回収装置は、いずれか一つの前記スターリングエンジンにおけるディスプレイサピストンの行程容積とパワーピストンの行程容積との容積比を

10

20

30

40

50

、他のスターリングエンジンにおけるディスプレイサピストンの行程容積とパワーピストンの行程容積との容積比と異ならせたものである。本実施の形態によれば、それぞれのスターリングエンジンの容積比を異ならせることで、それぞれのスターリングエンジンの入熱量を調整することができ、トータルの発電出力を高めることができる。

本発明の第2の実施の形態は、第1の実施の形態による廃熱回収装置において、ディスプレイサピストンのストローク又はパワーピストンのストロークを異ならせることで行程容積を異ならせたものである。本実施の形態によれば、行程容積の変更をストロークによって行うことで、それぞれのスターリングエンジンの設計を容易に行うことができる。

本発明の第3の実施の形態は、第1の実施の形態による廃熱回収装置において、スターリングエンジンにおける容積比を、所定のエンジン入口温度に対して当該スターリングエンジンで得られる最高発電出力よりも低い発電出力となる容積比としたものである。本実施の形態によれば、一つのスターリングエンジンにおける発電出力を低下させることで、このスターリングエンジンでの入熱量を少なくし、その低下分だけ他のスターリングエンジンの入熱量を高めることができ、熱源ガスの低下に伴う、特に下流側に配置したスターリングエンジンでの発電出力を高めることができる。

本発明の第4の実施の形態は、第1の実施の形態による廃熱回収装置において、熱源ガスに対して最上流に位置するスターリングエンジンにおける容積比を、所定のエンジン入口温度に対して当該スターリングエンジンで得られる最高発電出力よりも低い発電出力となる容積比としたものである。本実施の形態によれば、熱源ガスに対して最上流側のスターリングエンジンでの入熱量を低下させることで、下流側に配置するスターリングエンジンでの十分な入熱量を確保することができる。

本発明の第5の実施の形態は、第1の実施の形態による廃熱回収装置において、N段のスターリングエンジンで得られる加算発電出力が、(N-1)段のスターリングエンジンで得られる加算発電出力よりも高くなるように、それぞれのスターリングエンジンにおける容積比を、所定のエンジン入口温度に対して当該スターリングエンジンで得られる最高発電出力よりも低い発電出力となる容積比としたものである。本実施の形態によれば、個々のスターリングエンジンでの入熱量を適切に調整することができる。

本発明の第6の実施の形態は、第1の実施の形態による廃熱回収装置において、隣り合うスターリングエンジンにおけるクランクシャフト同士を、カップリングによって連結したものである。本実施の形態によれば、それぞれのクランクシャフトを単一のクランクシャフトで構成していないので、それぞれのスターリングエンジンの行程容積の変更を容易に行うことができる。

本発明の第7の実施の形態は、第1の実施の形態による廃熱回収装置において、それぞれのスターリングエンジンを直列に併設し、クランクシャフトからそれぞれの冷却部及びそれぞれの加熱部までの距離を同一としたものである。本実施の形態によれば、クランクシャフトからの冷却部及び加熱部までの距離を同一とすることで、それぞれの冷却部の接続や加熱部の接続を容易に行うことができる。

【実施例】

【0008】

以下本発明の一実施例による廃熱回収装置について説明する。

図1は本実施例による廃熱回収装置の構成を示す断面図、図2は同装置の熱交換器の構成を示す要部断面図、図3は図2における加熱部を示す要部断面図、図4は図2における再生熱交換器を示す要部断面図、図5は図2における冷却部を示す要部断面図、図6は同装置のピストン駆動機構の構成を示す要部断面図である。

図1に示すように、本実施例による廃熱回収装置は、3機のスターリングエンジン10A、10B、10Cを直列に併設している。それぞれのスターリングエンジン10A、10B、10Cは、それぞれの加熱部31A、31B、31Cを熱源ガス流路1内に設置する。このとき、スターリングエンジン10Aの加熱部31Aを熱源ガス流路1の最上流側に、スターリングエンジン10Bの加熱部31Bをスターリングエンジン10Aの加熱部31Aよりも下流側に、スターリングエンジン10Cの加熱部31Cをスターリングエン

ジン 10 B の加熱部 31 B よりも下流側に配置している。また、それぞれのスターリングエンジン 10 A、10 B、10 C は、ディスプレイサピストン 11 A、11 B、11 C とパワーピストン 12 A、12 B、12 C とを有している。ディスプレイサピストン 11 A、11 B、11 C 及びパワーピストン 12 A、12 B、12 C は、それぞれクランクシャフト 13 A、13 B、13 C に連結されている。また、クランクシャフト 13 A とクランクシャフト 13 B とは、カップリング 14 A により、クランクシャフト 13 B とクランクシャフト 13 C とは、カップリング 14 B により接続され、クランクシャフト 13 C の他端側は、カップリング 14 C を介してフライホイール 15 のシャフト 13 D と接続されている。

【0009】

これら 3 機のスターリングエンジン 10 A、10 B、10 C は、それぞれのディスプレイサピストン 11 A、11 B、11 C とパワーピストン 12 A、12 B、12 C との行程容積が異なる他は、同一構成なので、以下の説明においては、スターリングエンジン 10 A について説明する。

図 2 に示すように、ディスプレイサピストン 11 A の一端側には加熱部 31 A が、ディスプレイサピストン 11 A の他端側には冷却部 32 が配置されている。また、加熱部 31 A と冷却部 32 との間には、再生熱交換器 33 が配置されている。なお、ディスプレイサピストン 11 A の一端側の空間は膨張空間 34、ディスプレイサピストン 11 A の他端側の空間は圧縮空間 35 となる。熱交換器 30 は、加熱部 31 A、冷却部 32、及び再生熱交換器 33 によって構成されている。

図 3 に示すように、加熱部 31 A は、加熱ヘッド 36 と内管 37 で構成されている。加熱ヘッド 36 は中央に窪みを有し、この窪みを構成する円筒部には、内管 37 の入る 10 mm の穴 38 が 20 本空いている。内管 37 には、外径 8 mm、内径 4 mm のパイプを用いている。膨張空間 34 から流れ出る作動ガスは、穴 38 と内管 37 の隙間を上昇し、上端で折り返して内管 37 の内側を通り再生熱交換器 33 へ流れる。この構造により、溶接部分をなくし、伝熱面積を増加させることで高い伝熱特性が期待できる。

図 4 に示すように、再生熱交換器 33 は、同心円状に径の異なる円管 39、40 を配置し、各円管 39、40 の隙間には黄銅金網のマトリックス材 41 を詰めている。内管 37 から流れ出る作動ガスは、マトリックス材 41 を通り抜け、冷却部 32 へと流れる。

図 5 に示すように、冷却部 32 は、シリンダ 42 の同心円状に内径 105 mm のクーラ管 43 と内径・外径がそれぞれ 95 mm 及び 102 mm のクーラ内管 44 を配置してある。再生熱交換器 33 から流れ出る作動ガスは、クーラ管 43 とクーラ内管 44 の間を通り、下端で折り返し、クーラ内管 44 とシリンダ 42 の間を通過して圧縮空間 35 に流れる。この構造で、加熱部 31 A と同様に溶接部分をなくし、広い伝熱面積を確保でき、高い伝熱特性を期待できる。冷却水は、クーラ管 43 に設けられた深さ 15 mm、幅 5 mm のフィン 45 の隙間を階段状に流れる。なお、圧縮空間 35 で冷却された作動流体は、上記の流れと反対の方向に流れて膨張空間 34 に至る。

【0010】

図 6 に示すように、ピストン駆動機構における出力取り出し機構にはスコッチヨーク機構を用いている。ディスプレイサピストン 11 A を接続するディスプレイサヨークボード 16 と、パワーピストン 12 A を接続するパワーピストンヨークボード 17 とは、ディスプレイサピストン 11 A 及びパワーピストン 12 A の中心から所定距離ずらした位置に、それぞれ 1 つずつ配置している。なお、ディスプレイサピストン 11 A 及びパワーピストン 12 A の中心からディスプレイサヨークボード 16 までの距離と、ディスプレイサピストン 11 A 及びパワーピストン 12 A の中心からパワーピストンヨークボード 17 までの距離は、等しくすることが好ましい。ディスプレイサヨークボード 16 の一端及びパワーピストンヨークボード 17 の一端にはそれぞれベアリング 19 が設けられている。そして、それぞれのベアリング 19 の内周に設けたクランクピン 20 によってディスプレイサヨークボード 16 の一端及びパワーピストンヨークボード 17 の一端はクランクディスク 18 に回動自在に取り付けられている。ここで、ディスプレイサヨークボード 16 のベアリ

10

20

30

40

50

ング 19 は、ディスプレイサヨークボード 16 の回転半径だけ離れた位置に、パワーピストンヨークボード 17 のベアリング 19 は、パワーピストンヨークボード 17 の中心線からクランクシャフト 13 A での回転半径だけ離れた位置にそれぞれ設けるとともに、ディスプレイサピストン 11 A とパワーピストン 12 A との位相を 90 度ずらしている。このように、ディスプレイサヨークボード 16 とパワーピストンヨークボード 17 とを、ディスプレイサピストン 11 A 及びパワーピストン 12 A の中心から所定距離ずらした位置に、それぞれ 1 つずつ配置することで、ピストン駆動機構を小型化し、部品点数を削減することができる。

以上のように、本実施例の装置によれば、熱量や温度レベルが異なる多様な熱源に対応して適切なスターリングエンジンを組み合わせて使用することが可能である。

10

【0011】

次に、図 7 に示すように熱源に対して複数のスターリングエンジンを直列に並べ、1 台目で温度低下した熱量を 2 台目で回収するような多段化した廃熱回収装置の最適設計について以下に説明する。

スターリングエンジンを多段化して熱源の熱量を 1 段ずつ回収していくと、熱源の熱量は下流に行くに従い減少する。一方、ディスプレイサ型スターリングエンジンにおいては、ディスプレイサピストンとパワーピストンの行程容積の大きさや比を変化させることで、入熱量や出力を調整できる。したがって、熱源の変化に合わせて各段の行程容積を変化させた出力特性の異なるそれらのスターリングエンジンを多段に組み合わせることで、熱源を有効に利用でき、組み合わせを変更することで多種熱源に対応できる。

20

このような多段式スターリングエンジンでは、熱源の熱量を最大限に活用するため、各エンジンの運転温度レベルが重要になる。そこで、多段式スターリングエンジンの運転温度レベルと性能の簡易予測計算を行う。図 7 に示すように、熱源の条件として、質量流量 m 、温度 T_0 及び比熱 c を設定する。この熱源の値を用い、エンジン出口温度 T_1 をパラメータとして、次式によりスターリングエンジンへの有効熱入力 Q_{in} を算出する。

【0012】

【数 1】

$$Q_{in} = mc(T_0 - T_1) \quad (1)$$

【0013】

次に、膨脹空間の温度低下を考慮したカルノー効率 η_{car} に、熱損失及び圧力損失の影響を補正するためのカルノー係数 k_{cor} を乗じて、図示熱効率 η_{ind} を求める。

【0014】

【数 2】

$$\eta_{ind} = k_{car} \eta_{car} = k_{car} \left(1 - \frac{T_C}{T_1 - \Delta T} \right) \quad (2)$$

【0015】

ここで、 T_C は圧縮空間ガス温度、 T_1 はエンジン出口温度に対する膨脹空間の温度低下であり、両者ともエンジンや熱源の条件に合わせて設定する。

40

次に機械効率 η_m 及び発電機効率 η_g をそれぞれ設定し、次式により発電出力 W_g を求める。

【0016】

【数 3】

$$W_g = Q_{in} \eta_{ind} \eta_m \eta_g \quad (3)$$

【0017】

式 (1) から (3) により、出口温度 T_1 に応じたエンジン出力の試算が可能になる。

50

そして、1 段目におけるスターリングエンジンの出口温度 T_1 を 2 段目におけるスターリングエンジンの入口温度、2 段目におけるスターリングエンジンの出口温度 T_2 を 3 段目におけるスターリングエンジンの入口温度とし、各段にて同様の計算を行うことで、多段式エンジンの性能を予測することが可能となる。

【0018】

次に、質量流量 $m = 0.0035 \text{ kg/s}$ 、温度 $T_1 = 400$ の廃熱を想定し、3 段構成におけるスターリングエンジンの出力試算を行った結果について説明する。

図 8 は 2 段目におけるスターリングエンジン出口温度 T_2 を 240 とした場合の 1 段目におけるスターリングエンジン出口温度 T_1 と発電出力との関係を示す特性図、図 9 は 2 段目におけるスターリングエンジン出口温度 T_2 を 300 とした場合の 1 段目におけるスターリングエンジン出口温度 T_1 と発電出力との関係を示す特性図である。

計算は、2 段目におけるスターリングエンジン出口温度 T_2 を 160 から 10 ごとに 340 まで固定し、それぞれの T_2 に対し 1 段目及び 3 段目におけるスターリングエンジン出口温度をパラメータとして行った。なお、カルノー係数 k_{cal} 、機械効率 η_m 及び発電機効率 η_g はそれぞれ 0.7、0.7 及び 0.8、膨張空間の温度低下 ΔT は 50 K とした。また、1 段、2 段及び 3 段目におけるスターリングエンジンの圧縮空間ガス温度 T_c は、それぞれ 60、50、40 とした。図中の実線は 1 段目におけるスターリングエンジンの出力、破線は 1 段目と 2 段目におけるスターリングエンジンの合計出力、その他の線は 1 段目から 3 段目におけるスターリングエンジンの合計出力を表している。

図 8 では $T_1 = 320$ 、 $T_3 = 160$ 付近で最大出力 96 W が得られている。一方図 9 では $T_1 = 360$ 、 $T_2 = 200$ 付近で最大出力 91 W が得られている。エンジン出口温度をパラメータとしたマトリックス計算を行った結果、エンジン出口温度がそれぞれ $T_1 = 320$ 、 $T_2 = 240$ 及び $T_3 = 160$ の時に最大出力が得られ、1 から 3 段エンジンの出力はそれぞれ 43 W、33 W 及び 20 W となった。このような計算を行うことで、多段式エンジンの出力並びに最適な運転条件を試算することができる。

【0019】

図 10 は、同様の熱源を想定した場合、1 から 4 段構成におけるスターリングエンジンの最高出力をまとめたグラフである。

スターリングエンジンの段数を増やすことで出力の向上を見込めることが確認できる。しかし、スターリングエンジンの段数を増やすごとにエンジン 1 台ごとの出力は減少していき、エンジン寸法や製作コストに見合った出力の上昇は見込まれなくなる。したがって、スターリングエンジンの段数の決定は出力の向上とエンジン寸法及び製作コストを考慮して行う必要がある。

【0020】

図 10 で示す最高出力の値を目標として図 1 に示す 3 段式スターリングエンジンの各寸法及び条件について下記に説明する。

まず、加熱部 31A の内管 37 の適正本数について図 11 を用いて説明する。

図 11 は、加熱部のヒータ本数と発電出力との関係を示す特性図である。

3 段式スターリングエンジンの適切な熱量レベルを計算条件として、簡略的な伝熱計算を行い、膨張空間作動ガス温度を算出した。そして、その値を用いて等温モデルにより出力を求めた。それによると、ヒータ管本数が 10 本以上になると出力の変化はほとんどなくなり、13 本をピークになだらかに減少していく。このような結果並びにエンジン寸法の制限から、伝熱面積を多く確保できるよう管本数を 20 本とした。

【0021】

次に、スターリングエンジンの回転数について図 12 を用いて説明する。

図 12 は、1 から 3 段目におけるそれぞれのスターリングエンジンの回転数と発電出力との関係を示す特性図である。

図 12 に示すように、回転数が増加するに従い、各スターリングエンジンの出力も上昇している。しかし、この計算は機械効率及び発電機効率を一定として行った結果である。実際の機械効率は、回転数の増加に伴い低下する。したがって、実際の発電出力はある回

10

20

30

40

50

転数で最大値を持つ。発電出力が前章により求められた各エンジンの最高出力値である 43 W、33 W 及び 20 W となる 1000 rpm 付近を目標回転数とした。

【0022】

以上の結果、図 1 に示す 3 段式スターリングエンジンでは、1 段目におけるスターリングエンジンの発電出力を 43 W、2 段目におけるスターリングエンジンの発電出力を 33 W、3 段目におけるスターリングエンジンの発電出力を 20 W、各段における加算発電出力を 96 W となるように設計した。なお、3 段のスターリングエンジンの回転数は同じであり、1000 rpm とした。なお、前述の通り、質量流量 $m = 0.0035 \text{ kg/s}$ 、温度 $T_1 = 400$ の廃熱を想定し、1 段目におけるスターリングエンジン出口温度 $T_2 = 320$ 、2 段目におけるスターリングエンジン出口温度 T_3 を 240、3 段目におけるスターリングエンジン出口温度 $T_4 = 160$ とした。

10

上記の条件によれば、1 段目におけるスターリングエンジンの膨張空間ガス温度は 270、圧縮空間ガス温度は 60、2 段目におけるスターリングエンジンの膨張空間ガス温度は 190、圧縮空間ガス温度は 50、3 段目におけるスターリングエンジンの膨張空間ガス温度は 110、圧縮空間ガス温度は 40 となる。

従って、ディスプレイサピストンとパワーピストンのそれぞれのピストン直径を 8.4 mm とした場合、1 段目におけるスターリングエンジンのディスプレイサピストンのストロークは 5.2 mm、パワーピストンのストロークは 4.8 mm、2 段目におけるスターリングエンジンのディスプレイサピストンのストロークは 5.4 mm、パワーピストンのストロークは 4.4 mm、3 段目におけるスターリングエンジンのディスプレイサピストンのストロークは 4.6 mm、パワーピストンのストロークは 4.6 mm となる。

20

【0023】

以上のように、本実施例によれば、それぞれのスターリングエンジンの容積比を異ならせることで、特に上流側におけるスターリングエンジンの入熱量を制限することで、下流側におけるスターリングエンジンの入熱量を高めることができ、それぞれのスターリングエンジンの出力を適切に調整することができ、結果としてトータルの発電出力を高めることができる。

また、本実施例のように、ディスプレイサピストンのストローク又はパワーピストンのストロークを異ならせて行程容積を異ならせることで、それぞれのスターリングエンジンの設計を容易に行うことができる。

30

また、本実施例のように、スターリングエンジンにおける容積比を、所定のエンジン入口温度に対して当該スターリングエンジンで得られる最高発電出力よりも低い発電出力となる容積比とすることで、一つのスターリングエンジンにおける発電出力を低下させることで、このスターリングエンジンでの入熱量を少なくし、その低下分だけ他のスターリングエンジンの入熱量を高めることができ、熱源ガスの低下に伴う、特に下流側に配置したスターリングエンジンでの発電出力を高めることができる。

特に、本実施例のように、熱源ガスに対して最上流に位置するスターリングエンジンにおける容積比を、所定のエンジン入口温度に対して当該スターリングエンジンで得られる最高発電出力よりも低い発電出力となる容積比とすることで、下流側に配置するスターリングエンジンでの十分な入熱量を確保することができる。

40

また、本実施例のように、3 段のスターリングエンジンで得られる加算発電出力が、2 段のスターリングエンジンで得られる加算発電出力よりも高くなるように、それぞれのスターリングエンジンにおける容積比を、所定のエンジン入口温度に対して当該スターリングエンジンで得られる最高発電出力よりも低い発電出力となる容積比とすることで、個々のスターリングエンジンでの入熱量を適切に調整することができる。

また、本実施例のように、隣り合うスターリングエンジンにおけるクランクシャフト同士を、カップリングによって連結することで、それぞれのスターリングエンジンの行程容積の変更を容易に行うことができる。

また、本実施例のように、それぞれのスターリングエンジンを直列に併設し、クランクシャフトからそれぞれの冷却部及びそれぞれの加熱部までの距離を同一とすることで、そ

50

それぞれの冷却部の接続や加熱部の接続を容易に行うことができる。

【産業上の利用可能性】

【0024】

本発明の廃熱回収装置は、廃熱やバイオマスなどの熱源ガスを活用した発電装置や動力装置として利用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】本発明の一実施例による廃熱回収装置の構成を示す断面図

【図2】同装置の熱交換器の構成を示す要部断面図

【図3】図2における加熱部を示す要部断面図

10

【図4】図2における再生熱交換器を示す要部断面図

【図5】図2における冷却部を示す要部断面図

【図6】同装置のピストン駆動機構の構成を示す要部断面図

【図7】熱源に対して複数のスターリングエンジンを直列に並べた場合のモデル図

【図8】2段目におけるスターリングエンジン出口温度 T_2 を240とした場合の1段目におけるスターリングエンジン出口温度 T_1 と発電出力との関係を示す特性図

【図9】2段目におけるスターリングエンジン出口温度 T_2 を300とした場合の1段目におけるスターリングエンジン出口温度 T_1 と発電出力との関係を示す特性図

【図10】1から4段構成におけるスターリングエンジンの最高出力をまとめたグラフ

【図11】加熱部のヒータ本数と発電出力との関係を示す特性図

20

【図12】1から3段目におけるそれぞれのスターリングエンジンの回転数と発電出力との関係を示す特性図

【符号の説明】

【0026】

10A、10B、10C スターリングエンジン

11A、11B、11C ディスプレーサピストン

12A、12B、12C パワーピストン

13A、13B、13C クランクシャフト

14A、14B、14C カップリング

30 熱交換器

30

31A、31B、31C 加熱部

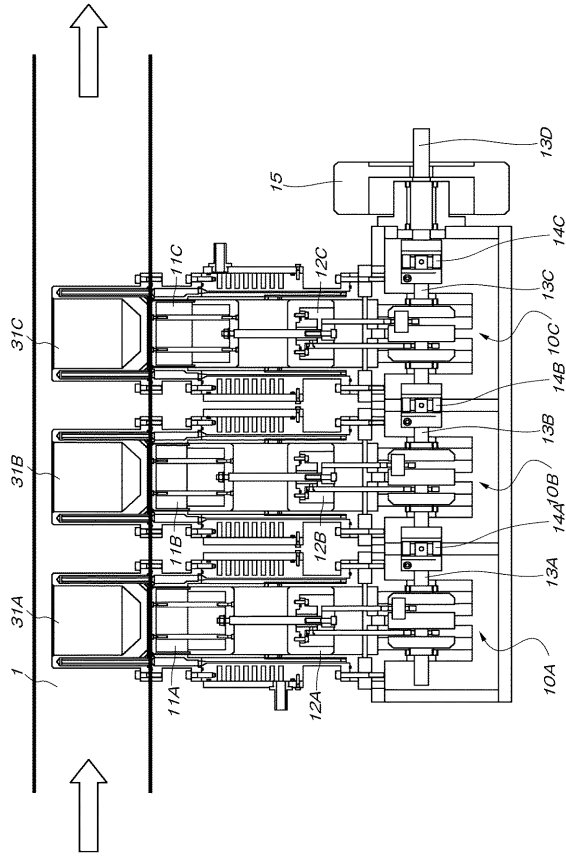
32 冷却部

33 再生熱交換器

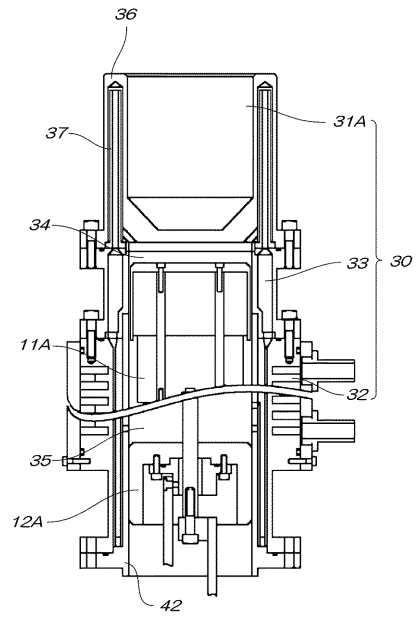
34 膨張空間

35 圧縮空間

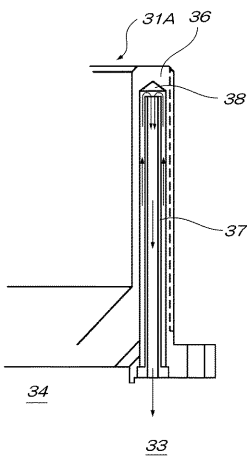
【図 1】



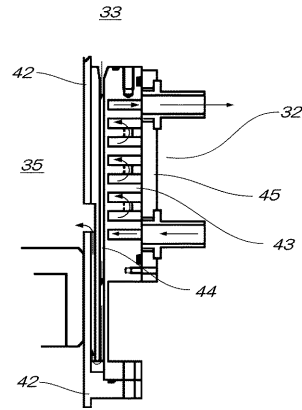
【図 2】



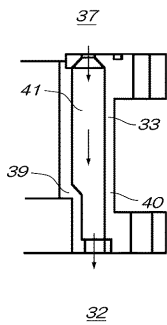
【図 3】



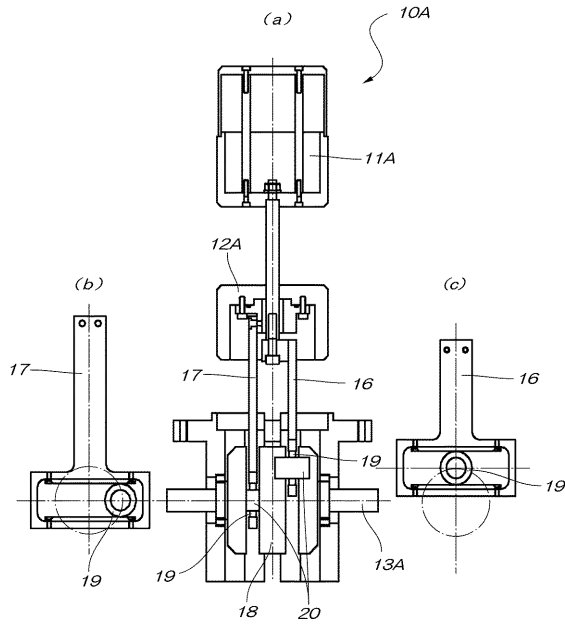
【図 5】



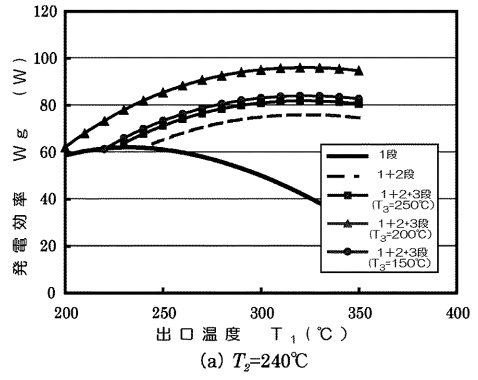
【図 4】



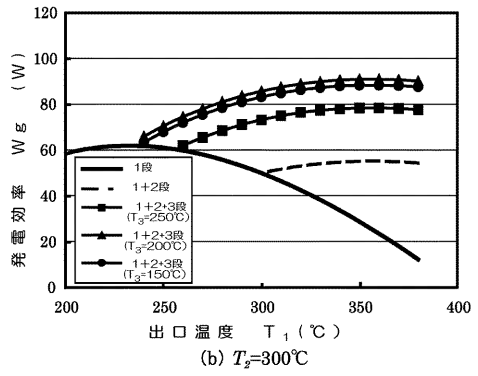
【 図 6 】



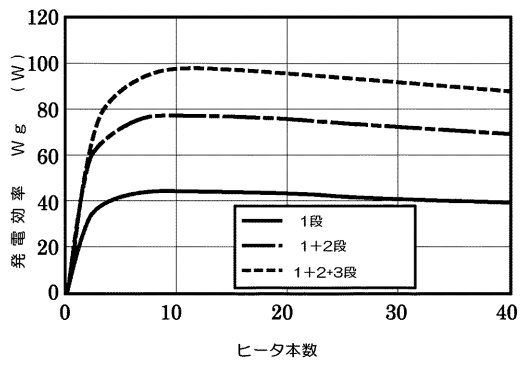
【 図 8 】



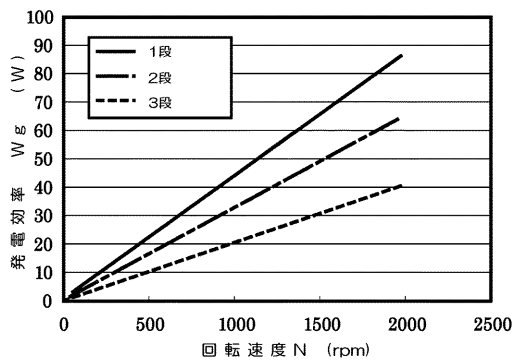
【 図 9 】



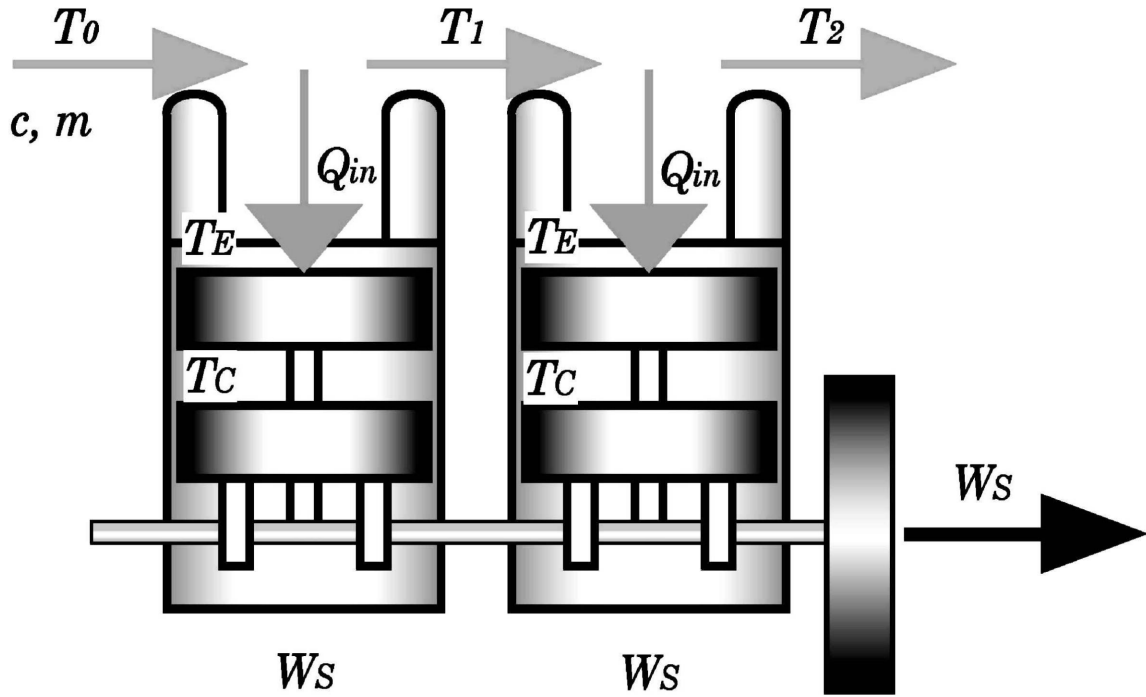
【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



【 図 7 】



【 図 1 0 】

