

(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2005-295725

(P2005-295725A)

(43) 公開日 平成17年10月20日(2005. 10. 20)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
HO 2 N 11/00	HO 2 N 11/00	A
HO 1 L 35/28	HO 1 L 35/28	C
HO 1 L 35/30	HO 1 L 35/30	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2004-109294 (P2004-109294)	(71) 出願人	000003207 トヨタ自動車株式会社 愛知県豊田市トヨタ町1番地
(22) 出願日	平成16年4月1日(2004. 4. 1)	(74) 代理人	100088155 弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100089978 弁理士 塩田 辰也
		(72) 発明者	佐々木 俊武 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

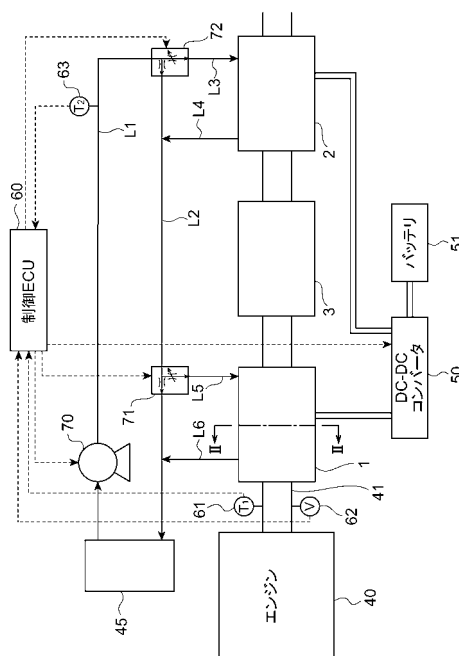
(54) 【発明の名称】 熱電発電装置

(57) 【要約】

【課題】 運転条件に応じて適切な電力量を回収することが可能な熱電発電装置を提供する。

【解決手段】 エンジン40の排気管41上に配置される熱電素子を有する第1の熱電変換スタック1と第2の熱電変換スタック2を備える。各熱電変換スタック1、2には、冷却水配管L1~L6が接続されており、この冷却水配管上には、スタック1、2に供給される冷却水比率を変更するための流量制御弁72、74が設けられている。制御ECU60は、温度計61、63、流量計62の検出結果を参照して各流量制御弁72、74を調整し、各スタック1、2に供給される冷却水の比率を変更する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

熱媒流路の上流側に配置され、該熱媒流路を流れる熱媒と供給される冷媒との温度差により起電力を生ずる熱電素子を有する第 1 の熱電変換モジュールと、前記熱媒流路の下流側に配置され、該熱媒流路を流れる熱媒と供給される冷媒との温度差により起電力を生ずる熱電素子を有する第 2 の熱電変換モジュールとを備える熱電発電装置であって、

前記第 1 の熱電変換モジュールと前記第 2 の熱電変換モジュールに供給する冷媒の比率を変更する比率変更手段を備えていることを特徴とする熱電発電装置。

【請求項 2】

熱媒の温度・流量および冷媒の温度を判定し、判定結果に基づいて前記比率変更手段の動作を制御することを特徴とする請求項 1 記載の熱電発電装置。 10

【請求項 3】

前記第 1 および第 2 の熱電変換モジュールの少なくともいずれかの一方の高温側、低温側温度を判定し、判定結果に基づいて前記比率変更手段の動作を制御することを特徴とする請求項 1 記載の熱電発電装置。

【請求項 4】

前記第 1 および第 2 の熱電変換モジュールによる起電力を測定し、測定結果に基づいて前記比率変更手段の動作を制御することを特徴とする請求項 1 記載の熱電発電装置。

【請求項 5】

前記熱媒流路は、燃焼機器の排気系であって、前記第 1 の熱電変換モジュールと前記第 2 の熱電変換モジュールとの間に排気浄化触媒を備えており、前記触媒の温度が所定以下の場合には、少なくとも前記第 1 の熱電変換モジュールへの冷媒供給を停止することを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 4 のいずれか 1 項に記載の熱電発電装置。 20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、熱エネルギーを電気エネルギーへ変換することにより発電を行う熱電発電装置に関する。

【背景技術】

【0002】

自動車のエンジンや、工場のボイラー等から排出される排ガスの持つ熱エネルギーを電力として回収する装置として熱電発電装置が知られている（例えば、特許文献 1 参照）。この特許文献 1 の技術では、排ガス流の上流側に高温領域で作動する高温用熱電変換モジュールを配置し、下流側にこれより低温領域で作動する低温用熱電変換モジュールを配置して、耐熱性を向上させるとともに、それぞれの作動温度を適正なものとするこゝで、発電装置全体としての発電効率を向上させている。 30

【特許文献 1】特開 2000 - 286469 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

ところで、この種の熱電発電装置においては、各熱電変換モジュールに冷却水を循環させて冷却している。そして、冷却水循環用に電動ポンプ等の動力源を用いているが、作動条件によっては熱電変換モジュールによって得られる電力に比較して電動ポンプの作動に必要な電力が大きく、実際に回収される電力量が少なくなることがある。 40

【0004】

そこで本発明は、運転条件に応じて適切な電力量を回収することが可能な熱電発電装置を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

上記課題を解決するため、本発明に係る熱電発電装置は、熱媒流路の上流側に配置され 50

、この熱媒流路を流れる熱媒と供給される冷媒との温度差により起電力を生ずる熱電素子を有する第1の熱電変換モジュールと、この熱媒流路の下流側に配置され、熱媒流路を流れる熱媒と供給される冷媒との温度差により起電力を生ずる熱電素子を有する第2の熱電変換モジュールとを備える熱電発電装置であって、第1の熱電変換モジュールと第2の熱電変換モジュールに供給する冷媒の比率を変更する比率変更手段を備えていることを特徴とする。

【0006】

熱電変換モジュールの熱電素子が発生する起電力は、高温側温度と低温側温度の両方に依存する。本発明では、第1の熱電変換モジュールと第2の熱電変換モジュールとに供給される冷媒の比率を変更することで、各熱電変換モジュールに供給される冷媒の流量を調整することで、各熱電変換モジュールにおいて適正な電力が得られるよう、低温側の温度を調整する。

10

【0007】

なお、熱電変換モジュールをさらに多段構成とし、各熱電変換モジュールに供給する冷媒の比率を変更する構成についても上記に係る発明に含まれる。また、比率変更には、一方の熱電変換モジュールのみに冷媒を供給し、他方には冷媒を供給しない場合も含まれる。本発明にいう熱媒としては、内燃機関を含む燃焼機器の排ガスのほか高温排水等が挙げられる。また、本発明にいう冷媒としては、冷却水のほか各種の液体や、空気その他のガス、さらには相変化する媒体であってもよい。

【0008】

熱媒の温度・流量および冷媒の温度を判定し、判定結果に基づいて前記比率変更手段の動作を制御するとよい。あるいは、第1および第2の熱電変換モジュールの少なくともいずれかの一方の高温側、低温側温度を判定し、判定結果に基づいて比率変更手段の動作を制御してもよい。また、第1および第2の熱電変換モジュールによる起電力を測定し、測定結果に基づいて比率変更手段の動作を制御してもよい。

20

【0009】

第1、第2の熱電変換モジュールの起電力を直接測定するか、起電力を決定づける状態量である高温側、低温側の温度、または、熱媒の温度・流量、冷媒の温度を判定することにより起電力が適正となるよう比率変更手段の動作を制御する。

【0010】

熱媒流路は、燃焼機器の排気系であって、第1の熱電変換モジュールと第2の熱電変換モジュールとの間に排気浄化触媒を備えており、触媒の温度が所定以下の場合には、少なくとも第1の熱電変換モジュールへの冷媒供給を停止するとよい。

30

【0011】

例えば、触媒の温度が低い冷間始動時には、触媒より上流側に存在する第1の熱電変換モジュールを作動させると、触媒へ流入する排ガス温度が低下して、触媒の昇温に時間を要し、昇温までの間のエミッションが悪化するため、第1の熱電変換モジュールへの冷媒供給を停止し、触媒へ流入する排ガス温度の低下を防ぐ。同様に、排ガス温度が低い場合や、排ガス流入量が少ない（自動車のエンジンの場合は低速低負荷時）場合も第1の熱電変換モジュールへの冷媒供給を停止し、触媒へ流入する排ガス温度の低下を防ぐ。

40

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、冷媒の流量比率を調整することで第1の熱電変換モジュールと第2の熱電変換モジュールのそれぞれが効率よく発電できるようそれぞれの低温側温度を調整する。このように冷却条件を制御することで、実際に回収される電力（発電電力 - 冷媒供給に必要な電力）の向上が図れる。

【0013】

起電力や起電力を決定づける状態量を基にして、この冷却条件を制御することで、精度よく制御を行うことができるとともに、制御性も向上する。

【0014】

50

熱電変換モジュールが排気浄化触媒をはさんで配置されている場合には、触媒温度を参照して冷却条件制御を行うことで、触媒の暖機性を向上させるとともに、触媒温度が低下するのを抑制して、エミッションの悪化を抑制することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

以下、添付図面を参照して本発明の好適な実施の形態について詳細に説明する。説明の理解を容易にするため、各図面において同一の構成要素に対しては可能な限り同一の参照番号を附し、重複する説明は省略する。

【0016】

図1は、本発明に係る熱電発電装置の第1の実施形態を搭載した車両の排気系を示す概略構成図であり、図2は、その熱電発電装置の第1の熱電変換スタック1部分の断面図（図1のII-II線断面図）であり、図3は、その熱電変換モジュール10部分の拡大断面図である。

10

【0017】

この熱電発電装置は、エンジン40に接続された排気管41上に配置されており、上流側から第1の熱電変換スタック1と、第2の熱電変換スタック2が、排気浄化触媒3をはさんで配置されている。ここで、第1の熱電変換スタック1と第2の熱電変換スタック2は、搭載する熱電素子の特性が異なるほかは、同様の構成をとっている。

【0018】

図2に示されるように、第1の熱電変換スタック1は、第1の熱電素子100を有する第1の熱電変換モジュール10と、排気管内に配置される熱回収フィン（集熱フィン）13と、内部に冷却水を循環させる通路を有する冷却ケース15とを4組組み合わせる構成されている。

20

【0019】

集熱フィン13は、平板状の基部に、その一方の表面から排気の流れ方向に所定の間隔で平行に延びる板状の多数のフィンが一体的に成形されているものである。この集熱フィン13は、アルミ、銅、ステンレス等の熱伝導性が良好な金属のほか、AlN、SiC等の高熱伝導性のセラミックスで形成されている。

【0020】

集熱フィン13の各フィンの高さ、つまり、先端部から根本までの距離は、中央に位置するフィンが最も高く、周縁部へ行くほど低くなる構成を採る。各フィンの先端部を結んだ線は垂直二等辺三角形の直角をはさむ2辺の形状に合致するいわゆる楔形の形状をなしている。

30

【0021】

この集熱フィン13のフィン形成面と反対の表面側に、絶縁材11をはさんで、熱電変換モジュール10の高温側端面が配置される。そして、熱電変換モジュール10の反対面の低温側端面には、絶縁材12をはさんで、冷却ケース15が配置される。

【0022】

集熱フィン13のフィン先端側を覆うように、断面が略L字形のガイド板14が配置されている。ガイド板14～冷却ケース15までを組み合わせた状態で、固定部材16によって排気管41に固定することで、第1の熱電変換スタック1が得られる。組み立てられた状態では、4個のガイド板14の排気流れ方向に直交する断面形状は、図2に示されるようにX字状になる。

40

【0023】

第2の熱電変換スタック2も、上述したように同様の構成を有しており、本段落の以下の説明においては、図2における各参照番号1xを2xと読み替えるものとする。つまり、第2の熱電変換スタック2は、第2の熱電素子200を有する第2の熱電変換モジュール20と、排気管内に配置される集熱フィン23と、内部に冷却水を循環させる通路を有する冷却ケース25と、絶縁材21、22と、ガイド板24とを組み合わせる組立体4組を固定部材26によって排気管41に固定したものである。なお、各部材の素材、形状は

50

第1の熱電変換スタック1と同じ構成でもよいが、内部を通過する排ガス温度が第1の熱電変換スタック1の場合より低く、第1の熱電変換スタック1ほどの耐熱性は要求されないことから、異なる素材や形状としてもよい。

【0024】

なお、第1、第2の熱電変換スタック1、2内では、さらに、こうして形成されるスタックを排気の流れ方向に複数個配置することで、熱電変換モジュール10または20を排気の流れ方向に多段に配置してもよい。

【0025】

第1、第2の熱電変換スタック1、2内の各冷却ケース15、25の冷却水通路は直列に接続しても、並列に接続してもどちらでもよく、排ガスの流れ方向に直交する同一断面内の冷却ケース15、25間では並列に、流れ方向で異なる位置に位置する冷却ケース15、25間では直列に接続することも可能である。接続の形式は、熱回収の効率のほか、各冷却ケース15、25間を接続する冷却水配管の接続の容易性等を考慮して適宜設定される。

10

【0026】

図3は、第1の熱電変換モジュール10の構成を示す図である。なお、第2の熱電変換モジュール20の構成も同様である。以下、括弧内の参照番号は、第2の熱電変換モジュール20の場合を示すが、図中の表記は省略する。熱電変換モジュール10(20)は、p型とn型の2種類の半導体101(201)と102(202)とを複数個用意し、これらを電極103(203)、104(204)によって電気的には交互に直列に、熱的には並列に配置したものである。一对の半導体101、201が熱電素子100(200)を構成する。

20

【0027】

第1の熱電変換モジュール10に用いられる第1の熱電素子100の熱電材料(半導体101、102)としては、高温領域(800K~)での発電特性が良好なFe-Si系やSi-Ge系の半導体を用いることが好ましい。一方、第2の熱電変換モジュール20に用いられる第2の熱電素子200の熱電材料(半導体201、202)としては、これより低温の領域(~800K)での発電特性が良好なPbTe系、スクッテルダイト系、層状コバルト酸化物系、シリサイド系(p型としてMnSi系、n型としてMgSi系)、ZnSb系(p型)TAGS(Te-Ag-Ge-Sb)(p型)を用いることが好ましい。

30

【0028】

図4、図5は、本実施形態における第1の熱電素子100と、第2の熱電素子200それぞれの温度-発電特性を示す線図である。高温領域で使用される第1の熱電素子100は、高温端側の温度(T_h)が高いほど、また、低温端側の温度(T_c)が低いほど発電量が増加する。そして、 T_h が同一の場合の T_c の温度変化による発電量の差は T_h が高温であるほど大きくなる傾向がある。低温領域で使用される第2の熱電素子200においては、 T_h が同一の場合には、 T_c が低いほど発電量が増加する点は第1の熱電素子100と共通するが、 T_c が同一の場合には発電量が最大となる T_h が存在し、このピークを超えると、 T_h 増大とともに発電量は急激に低下する。そして、このピークとなる T_h は、 T_c が低いほど高温側に移行する。この場合も、 T_h が同一の場合の T_c の温度変化による発電量の差は、 T_h が高温であるほど大きくなる傾向がある。

40

【0029】

第1の熱電素子100と第2の熱電素子200の特性を配置位置の排ガスの温度特性に応じて適切なものとするすることで、全体の発電特性を向上させることができる。なお、それぞれの熱電変換スタック1、2内部で異なる熱電材料を組み合わせてもよい。

【0030】

各熱電変換スタック1、2は電圧変換を行うDC-DCコンバータ50に電気的に接続されており、DC-DCコンバータ50は電力を蓄えるバッテリー51に電気的に接続されている。また、熱電変換スタック1、2には、冷却水を循環させる冷却系が接続されてい

50

る。本実施形態においては、ラジエーター４５から伸びるラインＬ１上に電動ポンプ７０が配置されており、分岐式の流量制御弁７２に接続されている。流量制御弁７２からは、ラジエーター４５へと戻るラインＬ２と、第２の熱電変換スタック２へと伸びるラインＬ３とが分岐されており、流量制御弁７２によって各方向への流量比が調整される。そして、第２の熱電変換スタック２からの戻りラインＬ４はラインＬ２へ合流する。ラインＬ２の下流には、さらに、分岐式の流量制御弁７１が配置されており、第１の熱電変換スタック１へと伸びるラインＬ５が分岐されている。そして、第１の熱電変換スタック１からの戻りラインＬ６はラインＬ２へ合流する。この冷却系は、図示していないエンジン４０の冷却系と直列に接続されていてもよいし、並列に設けられていてもよい。

【００３１】

排気管４１の第１の熱電変換スタック１の上流側には、排ガスの温度、流量をそれぞれ測定する温度計６１と、流量計６２が配置されている。また、ラインＬ１上には、冷却水温度を測定する温度計６３が配置されている。温度計６１、６３と流量計６２の出力は制御ＥＣＵ６０に入力されており、制御ＥＣＵ６０は、電動ポンプ７０と、各流量制御弁７１、７２およびＤＣ－ＤＣコンバータ５０の作動を制御する。制御ＥＣＵ６０は、ＣＰＵ、ＲＡＭ、ＲＯＭ等によって構成されており、単独で構成されていてもよいし、図示していない他の車両の制御系の一部として構成されていてもよい。

【００３２】

次に、本発明に係る熱電発電装置の動作を冷却系の制御動作と合わせて説明する。図６は冷却系の制御動作を示すフローチャートである。この制御は制御ＥＣＵ６０によってエンジン４０が始動してから停止するまでの間、所定のタイミングで繰り返し実行される。

【００３３】

まず、ステップＳ１では、流量計６２と温度計６１、６３の出力から、排気ガスの流量 V 、温度 T_1 と、冷却水温度 T_2 を読み込む。

【００３４】

ここで、電動ポンプ７０の消費電力を P_p 、各熱電変換スタック１、３の発電量を P_{s1} 、 P_{s2} 、回収電力量を P_r とすると、 $P_r = P_{s1} + P_{s2} - P_p$ である。ここで、電動ポンプの消費電力は、冷却水量 V_w の関数として表すことができる。一方、各熱電変換スタック１、３の発電量は、高温端側の温度 T_h と、低温端側の温度 T_c に依存する。 T_h 、 T_c は、各熱電変換スタック１、３へ導入される排ガスの温度、流量と冷却水の温度、流量および当該スタック内の熱抵抗値から求めることができる。したがって、排気ガスの流量 V 、温度 T_1 と、冷却水温度 T_2 が既知であれば、 P_r を最大とする冷却水流量を求めることができる。本実施形態では、実際に熱計算を行うことは計算負荷を増大させることになるため、予め最上流部における排ガス温度、流量と冷却水温に対応する各流量制御弁７１、７２のバルブ開度を求めておいて、これをマップ形式で制御ＥＣＵ６０内に格納しておき、読み出された V 、 T_1 、 T_2 に応じて、このマップを参照して適切なバルブ開度を設定する（ステップＳ３）。

【００３５】

ステップＳ５では、設定したバルブ開度が実現されるよう、流量制御弁７１、７２に指示する。これにより、各熱電変換スタック１、３の冷却水流量を調整する。このとき、電動ポンプ７０によってラジエーター４５を循環させる流量そのものも調整すると好ましい。

【００３６】

ここで、各熱電変換スタック１、３内部では、排気ガスが、ガイド板１４（２４）によって、集熱フィン１３（２３）のフィンの間へと導かれ、フィンに熱を伝える。この熱は、各フィンからその基部、絶縁材１１（２１）を通じて熱電変換モジュール１０（２０）の高温側端面へと伝えられる。これにより、高温側端面の温度は高くなる。

【００３７】

一方、熱電変換モジュール１０（２０）の低温側端面からは、絶縁材１２（２２）、冷却ケース１５（２５）を通じて冷却ケース１５（２５）の通路内を流れる冷却水へと熱が

10

20

30

40

50

奪われている。このため、低温側端面の温度は低くなる。こうして、高温側端面と低温側端面との間に温度差が発生し、この温度差に応じてゼーベック効果により熱電変換モジュール10(20)内の熱電素子100(200)に電力が発生し、これをDC-DCコンバータ50により所定の電圧へ変換してバッテリー51へと蓄える。

【0038】

このとき、回収される電力が最大となるよう供給される冷却水の比率を変更しているため、過剰に冷却水を供給することがなく、効率よく排ガスからエネルギーを回収することができる。ここでは、排ガス、冷却水の状態量からマップ形式でバルブ開度を設定する例を説明したが、マップ形式のほかに、関数形式としてもよく、制御ECU60の計算能力に余裕がある場合には、計算により求めてもよい。

10

【0039】

また、ここでは、流量計62によって排気ガスの流量を測定したが、流速計を配置して、流量を推定してもよい。あるいは、エンジン40の運転条件(機関回転数、燃料噴射量等)を基にして流量を推定することもできる。

【0040】

図7は、本発明に係る熱電発電装置の第2の実施形態を示す概略構成図である。この実施形態の熱電発電装置は第1の実施形態の熱電発電装置(図1参照)と異なり、流量制御弁73をラインL1上に1つだけ設けて、この流量制御弁73により、第1の熱電変換スタック1へ供給される冷却水の流量と第2の熱電変換スタック2へ供給される冷却水の流量の比率を調整可能としている。

20

【0041】

この実施形態では、流量比率を調整するために用いるバルブが流量制御弁73のみに限られる点を除いては、第1の実施形態とその動作は同一である。したがって、動作・制御の説明は省略する。

【0042】

図8は、本発明に係る熱電発電装置の第3の実施形態を示す概略構成図である。この実施形態の熱電発電装置の冷却系は、第2の実施形態と基本的に同一である。ただし、本実施形態では、第1、第2の実施形態と異なり、各熱電変換スタック1、2の高温端側温度と低温端側温度を直接、温度計64a、64b、65a、65bにより測定している点が相違する。各温度計64a~65bの出力は制御ECU60に入力されている。

30

【0043】

この実施形態では、温度計64a、64b、65a、65bにより測定した各熱電変換スタック1、2の高温端側温度と低温端側温度から、その特性に基づいて得られる電力を直接求めることができる。この電力量を基にして冷却水流量を適切に制御することで、回収電力が最大となるよう制御を行う。この場合には、電動ポンプ70と流量制御弁73により冷却水量を変更した場合の回収電力量を予測して回収電力量が多くなるように電動ポンプ70と流量制御弁73を制御するフィードフォワード制御を行ってもよいし、電動ポンプ70と流量制御弁73をフィードバック調整してもよい。

【0044】

図9は、本発明に係る熱電発電装置の第4の実施形態を示す概略構成図である。この実施形態の熱電発電装置の冷却系は、第2の実施形態と基本的に同一である。ただし、本実施形態では、第1~第3の実施形態と異なり、各熱電変換スタック1、2から取り出される電流値と起電圧とをそれぞれ電流計66a、66bと、電圧計67a、67bによって測定している点が相違する。各電流計66a、66bと、電圧計67a、67bの出力は制御ECU60に入力されている。

40

【0045】

図10は、この場合の冷却制御動作の制御例を示すフローチャートである。ここでは、説明を簡単にするため、電動ポンプ70による循環水量が一定の場合を例に説明する。実際の制御においては、電動ポンプ70の循環水量を含めて制御してもよい。

【0046】

50

まず、電流計 66 a、66 b と、電圧計 67 a、67 b の出力である各電流値、電圧値を読み込む (ステップ S 11)。次に、読み込んだ電流、電圧値と電動ポンプ 70 の作動電力から回収電力量 P_r を計算する (ステップ S 12)。

【0047】

次に、算出した回収電力量 P_r と前回のタイムステップにおける回収電力量 P_{rold} との差の絶対値がしきい値 P_{th} 未満であるか否かを判定する (ステップ S 13)。差の絶対値がしきい値 P_{th} 以上の場合には、ステップ S 14 へと移行して、 P_r と P_{rold} とを比較する。

【0048】

P_r が P_{rold} より大きい場合には、流量制御弁の開度 A を $i \times D$ だけ変更する (ステップ S 17)。ここで、 D は開度変更の変更ステップ量であり、 i は 1 または -1 の値をとり、前回の変更方向と同一に設定されている。つまり、前回のタイムステップで流量制御弁 73 の開度を増した結果、回収電力量が増大したと判定された場合には、流量制御弁 73 の開度をさらに増し、前回のタイムステップで流量制御弁 73 の開度を減らした結果、回収電力量が増大したと判定された場合には、流量制御弁 73 の開度をさらに減らす制御を行う。調整が終了したらステップ S 17 へと移行して、変数 P_{rold} に現在の回収電力量 P_r の値を格納して処理を終了する。

10

【0049】

ステップ S 14 で、 P_r が P_{rold} より小さい場合には、 i の符号を逆に変更し、流量制御弁の開度 A を $i \times D$ だけ変更する (ステップ S 16)。つまり、前回のタイムステップで流量制御弁 73 の開度を増した結果、回収電力量が減少したと判定された場合には、流量制御弁 73 の開度を減らし、前回のタイムステップで流量制御弁 73 の開度を減らした結果、回収電力量が減少したと判定された場合には、流量制御弁 73 の開度を増やす制御を行う。なお、このフローでは、処理が収束しない場合がありうるため、ステップ S 16 では、開度 A を $i \times D / 2$ だけ変更してもよい。調整が終了したらステップ S 17 へと移行して、変数 P_{rold} に現在の回収電力量 P_r の値を格納して処理を終了する。

20

【0050】

ステップ S 13 で差の絶対値がしきい値 P_{th} 未満の場合には、直接ステップ S 17 へと移行して、変数 P_{rold} に現在の回収電力量 P_r の値を格納して処理を終了する。

【0051】

このように、回収電力量が最大となるように流量制御弁 73 の作動を制御することで、排気ガスの有する熱エネルギーを効率よく電力として回収することができる。

30

【0052】

図 11 は、本発明に係る熱電発電装置の第 5 の実施形態を示す概略構成図である。この実施形態では、冷却水配管上に流量制御弁は設けられていない。その代わりとして、第 2 の熱電変換スタック 2 の冷却ケース 25 の通水抵抗を利用している。

【0053】

図 12 は、本実施形態の第 2 の熱電変換スタック 2 の断面構成を示す図 (図 11 における XII-XII 線断面図) であり、図 13、図 14 は、ポンプ吐出圧の変化に伴う冷却ケース 25 内の通路 255 の断面形状変化を表す図である。

40

【0054】

冷却ケース 25 は、ともに断面が櫛歯状の上ケース 251 と下ケース 250 とをそれぞれの櫛歯が所定の隙間を有して噛み合わさるように組み合わせて構成されており、両者は抵抗調整バネ 252 によって結合されている。この隙間が冷却水が流れる通路 255 となる。なお、バネ 252 に代えて、ゴム、樹脂等の弾性体や空気バネ、液体バネ等を用いてもよい。

【0055】

電動ポンプ 70 の吐出圧が低い状態では、抵抗調整バネ 252 が上ケース 251 と下ケース 250 を接近させようと作用する力が、通路 255 内を流れる冷却水が通路 255 の断面積を拡げようとする力に勝るため、通路 255 の断面は図 13 に示されるように狭い

50

状態に維持される。この結果、第2の熱電変換スタック2へと供給される冷却水の比率は低くなる。

【0056】

電動ポンプ70の吐出圧を高くすると、通路255内を流れる冷却水が通路255の断面積を拡げようとする力が抵抗調整バネ252が上ケース251と下ケース250を接近させようとする作用する力を上回り、両者が釣り合うまで通路255の断面積は拡大される(図14参照)。この結果、第2の熱電変換スタック2へと供給される冷却水の比率は高くなる。

【0057】

つまり、電動ポンプ70の吐出圧を変更することで、第1、第2の熱電変換スタック1、2へと供給される冷却水の比率を変更することができる。この実施形態では、流量制御弁が不要となるため、冷却水配管の構造を簡素化することができる。

【0058】

抵抗調整バネ252のバネ定数を高くすると、電動ポンプ70の吐出圧を上げてても通路255の断面積が変化しにくくなる。第1の熱電変換スタック1と第2の熱電変換スタック2へ供給する冷却水の流量配分に応じてバネ定数を適宜設定するとよい。また、バネ定数が非線形的に変化する弾性体を用いることも可能である。

【0059】

また、第1の熱電変換スタック1にも同様の冷却ケースを採用してもよい。例えば、熱電変換スタック2側の抵抗調整バネ252のバネ定数を熱電変換スタック1側の抵抗調整バネのバネ定数より小さくしておく、ポンプ吐出圧に応じた各熱電変換スタック1、2への供給冷却水量を図15に示されるように調整することができる。これは、熱電変換スタック2側は、熱電変換スタック1より低い吐出圧で冷却水の通路255が全開状態となり、その後は吐出圧を増大させても通路255の断面積が増大しなくなるためである。

【0060】

図16は、本発明に係る熱電発電装置の第6の実施形態を示す概略構成図である。この実施形態は、第2の熱電変換スタック2からラジエーター45へ戻る冷却水配管のラインL2上に、切替弁74を配置して、第1の熱電変換スタック1へと冷却水を導入するラインL5を設け、第1の熱電変換スタック1からの冷却水返送ラインL6をラインL2と合流させている。また、排気浄化触媒3の触媒温度を検出する温度計68を設け、各熱電変換スタック1、2の熱電変換モジュール10、20の温度を測定する温度計64a、65aの出力とともに制御ECU60へと入力している。

【0061】

図17は、本実施形態の冷却制御を示すフローチャートである。この制御も制御ECU60によって、エンジン40が始動してから停止するまでの間、所定のタイミングで繰り返し実行される。

【0062】

まず、温度計64a、65a、68の出力を読み込むことで、各熱電変換スタック1、2のモジュール温度 T_1 、 T_3 と、排気浄化触媒3の触媒温度 T_2 を読み込む(ステップS20)。

【0063】

次に、第2の熱電変換スタック2のモジュール温度 T_3 が、単独運転時に電動ポンプ70の作動電力を上回る発電量を確保しうるしきい値温度 $T_{e,2}$ を超えているか否かを判定する(ステップS21)。 T_3 が $T_{e,2}$ 以下の場合には、第2の熱電変換スタック2への冷却水供給を行っても、第2の熱電変換スタック2で得られる電力が電動ポンプ70の作動電力を下回り、実際には電力を回収できない可能性があるとして、ステップS27へと移行し、電動ポンプ70の作動を停止させて処理を終了する。

【0064】

ステップS21で、 T_3 が $T_{e,2}$ を上回っている場合には、ステップS22へと移行して電動ポンプ70を作動させ、第1の熱電変換スタック1のモジュール温度 T_1 が、第

10

20

30

40

50

1の熱電変換スタック1および第2の熱電変換スタック2双方の運転時に電動ポンプ70の作動電力を上回る発電量を確保しうるしきい値温度 T_{e-1} を超えているか否かを判定する(ステップS23)。 T_1 が T_{e-1} を超えている場合には、さらに、触媒温度 T_2 が活性温度 T_{CAT} を超えているか否かを判定する(ステップS24)。

【0065】

T_2 が T_{CAT} を超えている場合には、排気浄化触媒3が活性化されており、第1の熱電変換スタック1を作動させても、排気浄化触媒3は良好に作動すると判定して、ステップS25へと移行し、切替弁74を第1の熱電変換スタック1側へと切り替えて、第1の熱電変換スタック1へと冷却水を供給する。

【0066】

一方、ステップS23で、 T_1 が T_{e-1} 以下と判定された場合には、排ガス温度が低く、第1の熱電変換スタック1を作動させると、下流側へと流れる排ガス温度が低下して、第2の熱電変換スタック2で発生する電力量も低下して、第2の熱電変換スタック2のみを作動させた場合に比較して、発生電力量が減り、電動ポンプ70の作動電力を確保できないと判定して、ステップS26へと移行して、切替弁74をラジエーター45側へと切り替えて、第1の熱電変換スタック1の作動を停止する。

また、ステップS24で、 T_2 が T_{CAT} 以下と判定された場合には、第1の熱電変換スタック1を作動させると、排気浄化触媒3へと流れ込む排ガス温度が低下するため、その暖機に時間を要し、その間エミッションが悪化するおそれがあると判定し、同じくステップS26へと移行して、切替弁74をラジエーター45側へと切り替えて、第1の熱電変換スタック1の作動を停止する。

【0067】

例えば、冷間始動時の初期の時点では、第1の熱電変換スタック1を作動させると、排気浄化触媒3へ流入する排気ガス温度が低下してしまい、排気浄化触媒3の暖機を妨げる結果になる。また、第2の熱電変換スタック2を作動させても、得られる電力が電動ポンプ70の作動電力を下回ってしまい、実際の回収電力がマイナスになってしまう。本実施形態では、このように、第2の熱電変換スタック2のモジュール温度が低い条件下では、電動ポンプ70を停止させて排気ガスからの熱回収を行わない。このため、排気浄化触媒3を速やかに昇温させて暖機を行うことができる。

【0068】

始動後時間が経過して、第2の熱電変換スタック2が昇温されると、その作動によって得られる電力が電動ポンプ70の作動電力を上回るため、電動ポンプ70の作動を開始する。一方、排気浄化触媒3の暖機が完了しておらず、触媒温度が低い場合には、第1の熱電変換スタック1を作動させることは排気浄化触媒3の暖機を妨げる結果になるため、切替弁74をラジエーター45側へと切り替えることで、第1の熱電変換スタック1は作動させず、排気浄化触媒3の昇温を優先する。

【0069】

排気浄化触媒3の暖機後、低速または低負荷領域では、エンジン40からの排ガス流量が少なく、第1の熱電変換スタック1の温度は低くなる。この状態で、第1の熱電変換スタック1を作動させても、発電効率が低く、通水抵抗が増大して電動ポンプ70の負荷が増大し、システム全体としての発電効率が低下してしまう。また、排気浄化触媒3へ流入する排ガス温度が低下することで、排気浄化触媒3が冷却され、その浄化性能が低下するおそれがある。そこで、このような場合は、切替弁74をラジエーター45側へと切り替えることで、第1の熱電変換スタック1を作動させず、第2の熱電変換スタック2のみによる発電を行う。

【0070】

中高速または中高負荷領域では、エンジン40からの排ガス流量も増大し、第1の熱電変換スタック1の温度は高く、十分な発電効率が得られるとともに、排気浄化触媒3へ流入する排ガス温度も浄化性能を発揮できる温度に維持できる。そこで、切替弁74を第1の熱電変換スタック1側へと切り替えることで、第1、第2の熱電変換スタック1、2双

10

20

30

40

50

方を作動させて、熱回収を行う。

【0071】

このような制御を行うことで、排気浄化触媒の暖機および確実な作動と効率のよい熱回収とを両立させ、エミッションの悪化を抑制し、環境負荷を軽減することができる。

【0072】

以上説明した各実施形態は、組み合わせて使用することが可能である。例えば、第1～第5の実施形態において、触媒温度を参照して、第1の熱電変換スタック1への冷却水量を調整してもよい。この場合を含めて、冷却水流量または比率の調整には、一方のスタックへの冷却水の供給を完全に停止することも含まれている。また、第6の実施形態では、モジュール温度を参照して各モジュールの動作状態に応じた制御を行ったが、第1の実施形態のように排気ガスの状態量を参照して制御を行ったり、第3の実施形態に示されるように各スタックの発電量を参照して制御を行ってもよい。

10

【0073】

以上の説明では、第1および第2の熱電変換スタック1、2間の冷却水供給比率を調整する実施形態について説明したが、3つ以上の熱電変換スタック間で冷却水供給比率を調整する場合も本発明の範囲に含まれる。例えば、第3の熱電変換スタックを有する場合、この熱電変換スタックは、第1、第2の熱電変換スタックの中間に配置されてもいいし、第1または第2の熱電変換スタックと並列に配置されていてもよい。

【0074】

また、以上の説明では、車両のエンジン40の排気系に搭載される形態を説明してきたが、本発明はこれに限られるものではなく、エンジン、ボイラー等の各種燃焼機器の排気系に接続される熱電発電装置のほか、温排水等から熱回収を行う熱電発電装置にも好適に適用できる。

20

【0075】

さらに、以上の説明では、冷媒として、冷却水を用いる場合を例示したが、空冷式、油冷式の場合や、フロンガス等の相変化媒体を用いてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0076】

【図1】本発明に係る熱電発電装置の第1の実施形態を搭載した車両の排気系を示す概略構成図である。

30

【図2】図1の熱電発電装置の第1の熱電変換スタック1部分の断面図（図1のII-II線断面図）である。

【図3】図2の熱電変換モジュール10部分の拡大断面図である。

【図4】第1の実施形態における第1の熱電素子100の温度-発電特性を示す線図である。

【図5】第1の実施形態における第2の熱電素子200の温度-発電特性を示す線図である。

【図6】第1の実施形態の冷却系の制御動作を示すフローチャートである。

【図7】本発明に係る熱電発電装置の第2の実施形態を示す概略構成図である。

【図8】本発明に係る熱電発電装置の第3の実施形態を示す概略構成図である。

40

【図9】本発明に係る熱電発電装置の第4の実施形態を示す概略構成図である。

【図10】第4の実施形態の冷却系の制御動作を示すフローチャートである。

【図11】本発明に係る熱電発電装置の第5の実施形態を示す概略構成図である。

【図12】第5の実施形態の第2の熱電変換スタック2の断面構成を示す図（図11におけるXII-XII線断面図）である。

【図13】ポンプ吐出圧の変化に伴う第5の実施形態の冷却ケース25内の通路255の断面形状変化を表す図である。

【図14】ポンプ吐出圧の変化に伴う第5の実施形態の冷却ケース25内の通路255の断面形状変化を表す別の図である。

【図15】第5の実施形態によるポンプ吐出圧に対する各熱電変換スタック1、2への供

50

給冷却水量変化を表すグラフである。

【図16】本発明に係る熱電発電装置の第6の実施形態を示す概略構成図である。

【図17】第6の実施形態の冷却系の制御動作を示すフローチャートである。

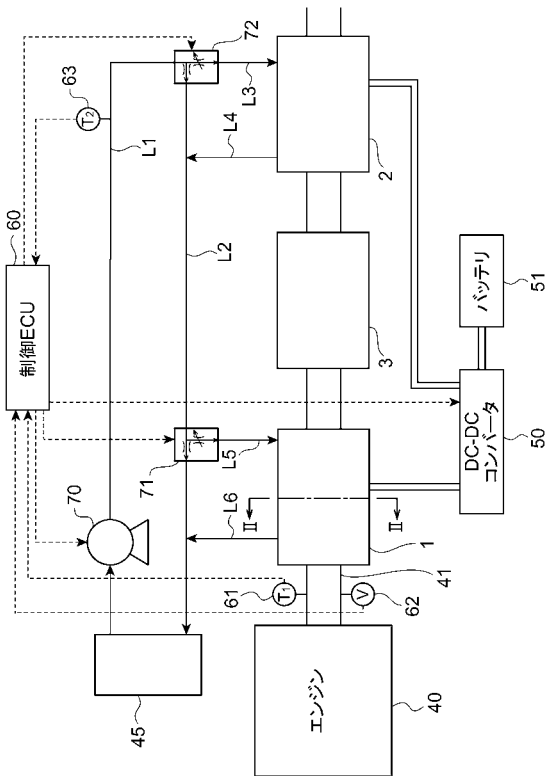
【符号の説明】

【0077】

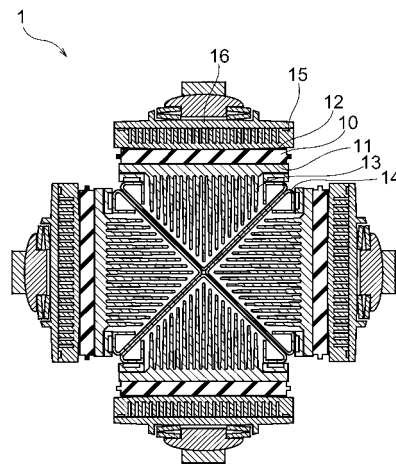
1 ... 第1の熱電変換スタック、2 ... 第2の熱電変換スタック、3 ... 排気浄化触媒、10 ... 第1の熱電変換モジュール、11、12、21、22 ... 絶縁材、13、23 ... 集熱フィン、14、24 ... ガイド板、15、25 ... 冷却ケース、16、26 ... 固定部材、20 ... 第2の熱電変換モジュール、40 ... エンジン、41 ... 排気管、45 ... ラジエーター、50 ... DC-DCコンバータ、51 ... バッテリー、60 ... 制御ECU、61、63、64a、64b、65a、65b、68 ... 温度計、62 ... 流量計、66a、66b ... 電流計、67a、67b ... 電圧計、70 ... 電動ポンプ、71~73 ... 流量制御弁、74 ... 切替弁、100、200 ... 熱電素子、101、102、201、202 ... 半導体、103、104、203、204 ... 電極、250 ... 下ケース、251 ... 上ケース、252 ... 抵抗調整バネ、255 ... 通路。

10

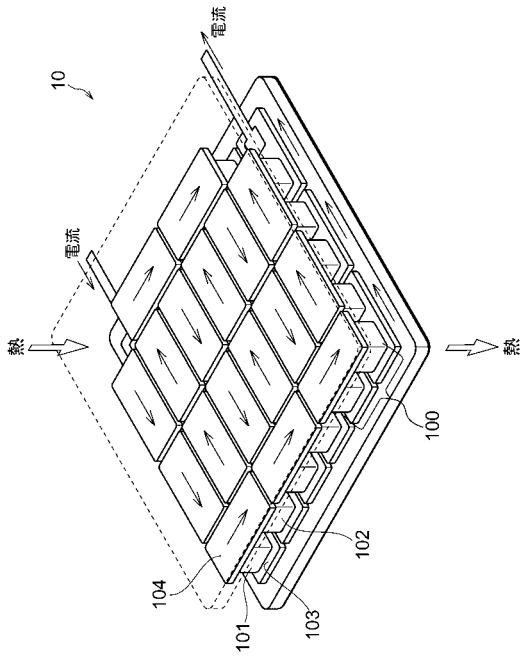
【図1】



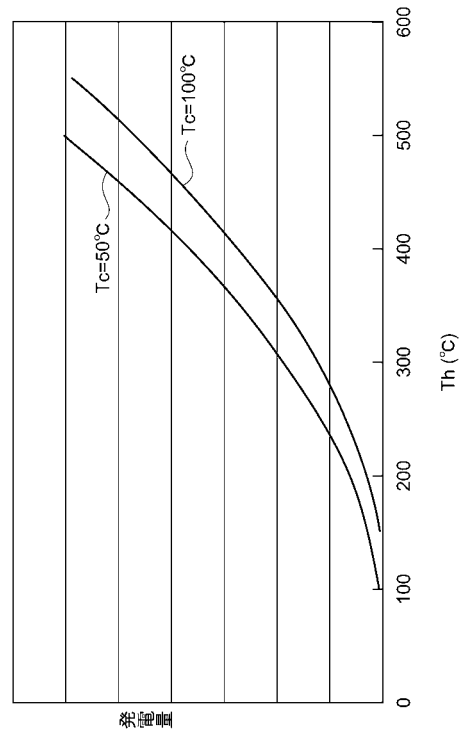
【図2】



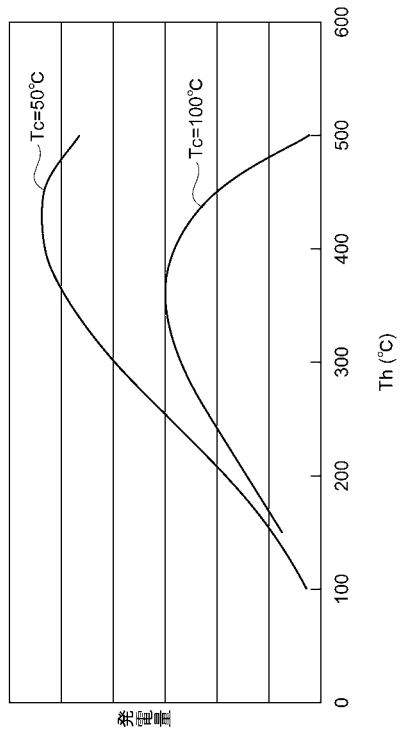
【図3】



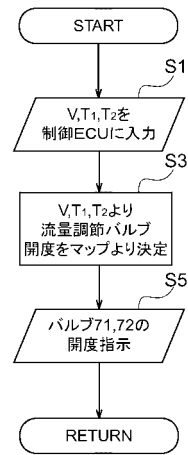
【図4】



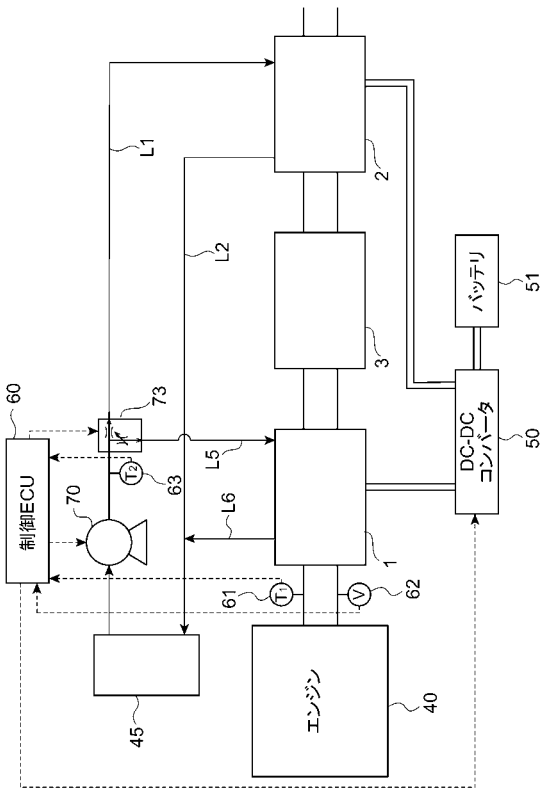
【図5】



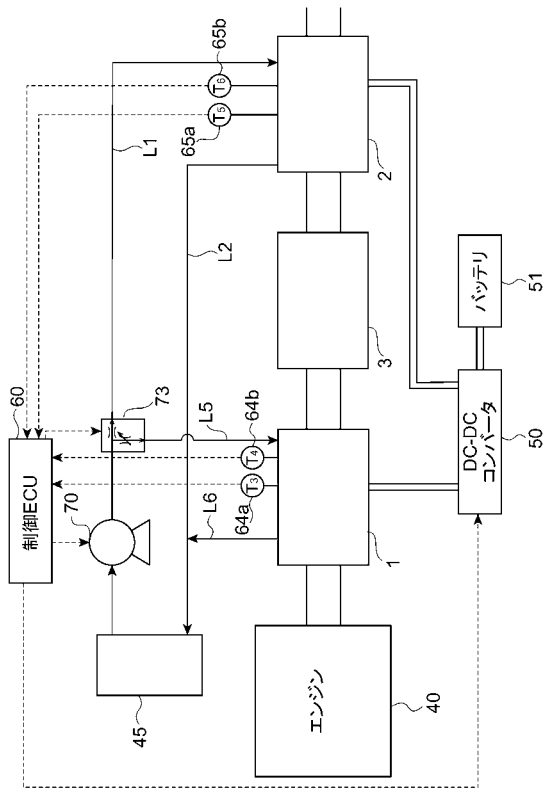
【図6】



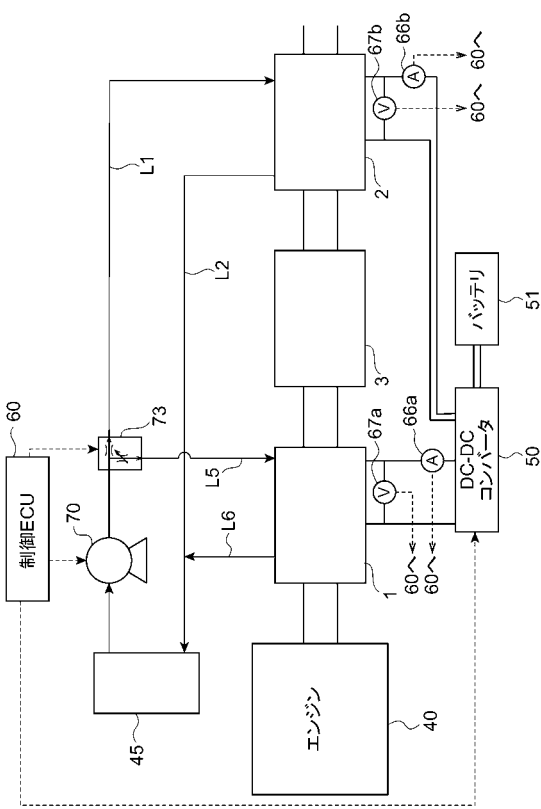
【 図 7 】



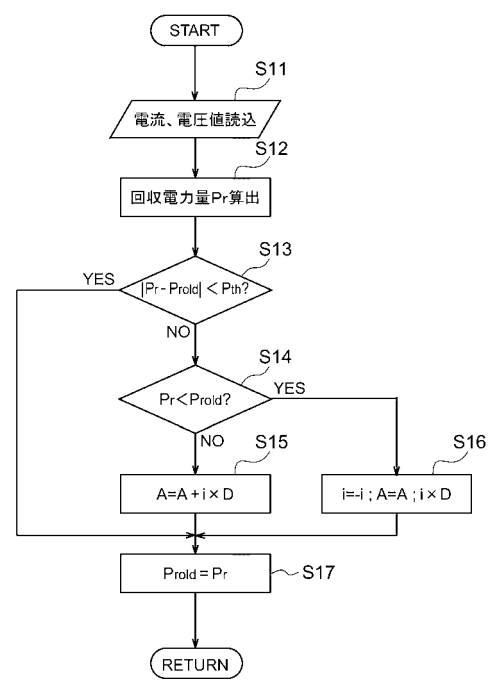
【 図 8 】



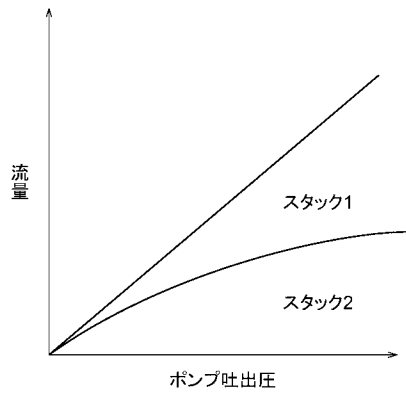
【 図 9 】



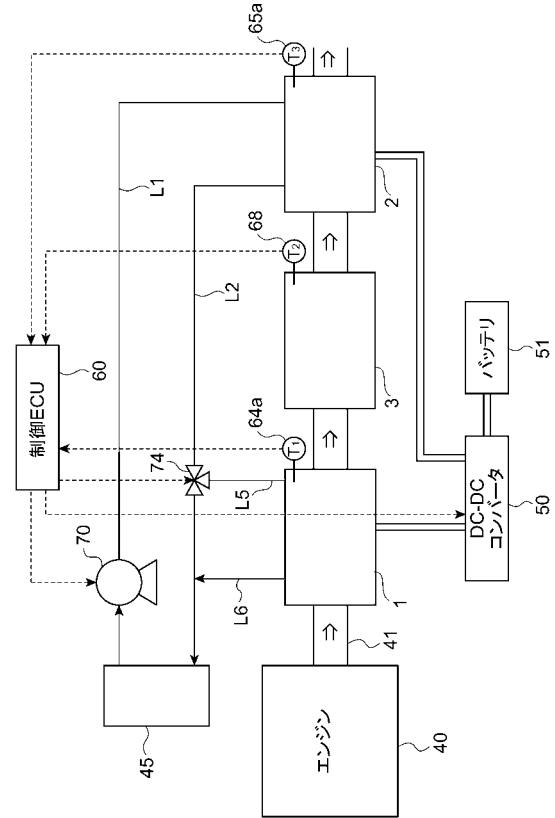
【 図 10 】



【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



【 図 1 7 】

