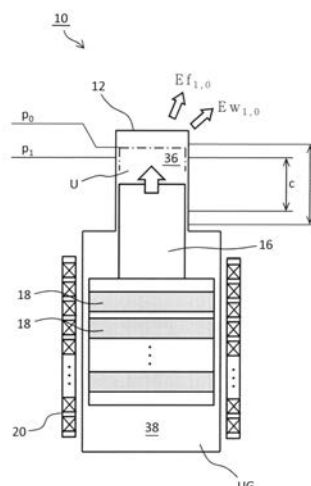




【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

コイルを備え、シリンダを画定するエンジンプロックと、
磁石を備え、シリンダに沿って往復運動するピストンと、
ピストンがピストンの可動範囲の一部に設定された電力制御区間にあるときに、コイルに流れる電流を制御する制御部と、
を有し、

制御部は、電力制御区間の上死点側端点を圧縮行程中のピストンが通過するときの速度が、その後ピストンが上死点に達したときの燃焼室温度が燃焼可能温度となる可燃速度となるように、コイルに流れる電流を制御する、
フリーピストンエンジン発電機。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載されたフリーピストンエンジン発電機であって、制御部は、ピストンの速度をフィードバック制御する、フリーピストンエンジン発電機。

【請求項 3】

請求項 2 に記載されたフリーピストンエンジン発電機であって、制御部は、圧縮行程中のピストンの速度が電力制御区間内において可燃速度となるように、コイルに流れる電流を制御する、フリーピストンエンジン発電機。

【請求項 4】

請求項 1 に記載されたフリーピストンエンジン発電機であって、制御部は、膨張行程中のピストンが上死点側端点を通過する速度と可燃速度とに基づき、電力制御区間を往復する間に発電すべき電力を算出し、算出された電力に基づきコイルに流れる電流を制御する、フリーピストンエンジン発電機。

20

【請求項 5】

請求項 1 に記載されたフリーピストンエンジン発電機であって、制御部は、膨張行程中と圧縮行程中のピストンが上死点側端点を通過する速度に基づき、電力制御区間を往復する間のピストンに対する制動力を算出し、算出された制動力に基づきコイルに流れる電流を制御する、フリーピストンエンジン発電機。

【請求項 6】

請求項 1 ～ 5 に記載されたフリーピストンエンジン発電機であって、制御部は、ピストンが上死点に達したときに、燃焼室内の気体が燃焼可能温度となる内部エネルギーを有することになる、圧縮行程中の上死点側端点を通過するときのピストンの運動エネルギーを求め、この運動エネルギーをピストンが有するように可燃速度を定める、フリーピストンエンジン発電機。

30

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、フリーピストンエンジン発電機に関し、特にピストン動作の制御に関する。

【背景技術】**【0002】**

フリーピストンエンジンにより駆動されるリニア発電機（以下、フリーピストンエンジン発電機と記す。）が知られている。エンジンのピストンに磁石、エンジンプロックにコイルを設けピストンの往復運動によりコイルに電流を発生させて発電が行われる。また、コイルに電力を供給することによりピストンの動作を制御することもできる。

40

【0003】

下記特許文献 1 に記載されたフリーピストンエンジン発電機では、ピストンの可動範囲の中央寄りの一部区間で発電およびピストン駆動が行われる。この区間では、発電電力が制御され、またピストンを駆動するためにコイルに供給される電力が制御される。この区間を「電力制御区間」と記す。電力制御区間の外側、つまりピストン可動範囲の端寄りの区間では、ピストンは磁石とコイルの間に生じる電磁力の影響を受けずに運動する。この

50

区間を「自由運動区間」と記す。自由運動区間のピストンは、ピストン自身の慣性とシリンダ内の気体の反発力によって運動する。ピストンは、可動範囲の端に向けて移動中、シリンダ内の気体を圧縮しつつ減速する。速度が0となった時点で折り返す。燃焼室側の速度が0となった位置を「上死点」、反対側の速度が0となった位置を「下死点」と記す。

【0004】

下記特許文献1では、上死点の位置が予め定められた目標位置となるように、電力制御区間内のピストンの速度を制御している。具体的には、上死点の位置を検出し、この位置と目標位置の偏差から次のサイクルにおけるピストンの速度を定めるフィードバック制御が行われる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2016-109123号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上死点の位置に基づきフリーピストンエンジン発電機の制御を行う場合、その運転の安定性を高めるためには、ピストンの位置、特に上死点位置の検出精度を高める必要がある。また、ピストンの速度制御の結果、到達する上死点に達する前に着火すると、燃焼ガスによりピストンが押し戻されてしまい、本来の上死点位置が不明となる。このため、上死点位置に基づくフィードバック制御が精度よく行われれないという問題があった。

【0007】

本発明は、取得された上死点の位置に基づく制御によらずに、フリーピストンエンジン発電機の運転の安定性を高めることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明のフリーピストンエンジン発電機は、シリンダを確定するエンジンブロックと、シリンダに沿って往復運動するピストンとを有し、エンジンブロックにコイルが備えられ、ピストンに磁石が備えられている。さらに、ピストンがピストンの可動範囲の一部に設定された電力制御区間にあるときに、コイルに流れる電流を制御する制御部とを有する。制御部は、電力制御区間の上死点側端点を圧縮行程中のピストンが通過するときの速度が、その後ピストンが上死点に達したときの燃焼室温度が燃焼可能温度となる可燃速度となるように、コイルに流れる電流を制御する。

【0009】

ピストンがシリンダ内の気体を圧縮し、燃焼室の温度が、最終的に燃料が燃焼可能な温度となれば、そのときのピストンの位置がどこであっても、フリーピストンエンジン発電機の運転を継続することができる。ピストンがある時点で持っている運動エネルギーと、その後のある時点における燃焼室温度（例えば上死点到達時）の関係が分かれば、ピストンの運動エネルギーを制御することで燃焼室の温度を制御することができる。例えば、ピストンの運動エネルギーと内部エネルギーの関係に基づき、燃焼室の温度を制御することができる。ピストンがある時点で持っている運動エネルギーと、その後のエネルギー収支が分かれば、その後のある時点（例えば上死点到達時）におけるシリンダ内の気体の内部エネルギーを算出することができる。さらに、気体の組成が分かれば内部エネルギーからシリンダ内の温度も算出することができる。電力制御区間内ではピストンの速度が制御可能であり、この区間の上死点側端点における速度を制御することにより、その後ピストンが上死点に達したときの燃焼室温度を制御することができる。したがって、燃焼室温度が、燃料が燃焼可能な温度となるように、電力制御区間の上死点側端点におけるピストンの速度を制御することで、フリーピストンエンジン発電機の運転を継続することができる。

【0010】

制御部は、ピストンの速度をフィードバック制御するものとできる。さらに、制御部は

10

20

30

40

50

、圧縮行程中のピストンの速度が電力制御区間内において可燃速度となるように、コイルに流れる電流を制御するものとできる。

【 0 0 1 1 】

また、制御部は、膨張行程中のピストンが上死点側端点を通過する速度と可燃速度とに基づき、電力制御区間を往復する間に発電すべき電力を算出し、算出された電力に基づきコイルに流れる電流を制御するものとできる。

【 0 0 1 2 】

また、制御部は、ピストンが上死点に達したときに、燃焼室内の気体が燃焼可能温度となる内部エネルギーを有することになる、圧縮行程中の上死点側端点を通過するときのピストンの運動エネルギーを求め、この運動エネルギーをピストンが有するように可燃速度を定めるものとすることができる。

10

【 発 明 の 効 果 】

【 0 0 1 3 】

本発明によれば、電力制御区間の上死点側端点における圧縮行程中のピストンの速度を制御することで、上死点位置を取得せずともフリーピストンエンジン発電機を安定的に運転することができる。

【 図 面 の 簡 単 な 説 明 】

【 0 0 1 4 】

【 図 1 】 本実施形態のフリーピストンエンジン発電機の概略構成を示す模式図である。

【 図 2 】 本実施形態のフリーピストンエンジン発電機のエネルギー収支の説明図である。

20

【 図 3 】 他の実施形態のフリーピストンエンジン発電機の概略構成を示す模式図である。

【 発 明 を 実 施 す る た め の 形 態 】

【 0 0 1 5 】

以下、本発明の実施形態を図面に従って説明する。図 1 は、本実施形態のフリーピストンエンジン発電機 10 の概略構成を示す模式図である。フリーピストンエンジン発電機 10 は、フリーピストンエンジンと発電機が組み合わされて、または一体化されている。この実施形態においてはフリーピストンエンジンは単一掃気流ディーゼルエンジンである。フリーピストンエンジンは、シリンダ 12 を画定するエンジンブロック 14 と、シリンダ 12 内をシリンダ 12 の軸線に沿って往復運動するピストン 16 を含む。ピストン 16 の外周部には、磁石 18 が配置されている。また、エンジンブロック 14 には、シリンダ 12 を囲むように、コイル 20 が配置されている。磁石 18 とコイル 20 によりリニア発電機が構成される。さらに、フリーピストンエンジン発電機 10 は、コイル 20 に流れる電流を三相インバータ 22 を介して制御する制御部 24 を備える。また、発電された電力を蓄えるバッテリー 26 を備える。

30

【 0 0 1 6 】

ピストン 16 は、直径の小さいピストン小径部 28 と、直径の大きいピストン大径部 30 を有する。シリンダ 12 もピストン 16 に合わせてシリンダ小径部 32 とシリンダ大径部 34 を有する。ピストン小径部 28 とシリンダ小径部 32 が燃焼室 36 を画定し、ピストン大径部 30 とシリンダ大径部 34 が空気ばね室 38 を画定する。

【 0 0 1 7 】

40

燃焼室 36 には、その頂部において吸気管 42 が連通している。さらに、吸気管 42 の燃焼室 36 に対する開口である吸気口を開閉するように吸気弁 44 が設けられている。また、シリンダ小径部 32 の側壁には、掃気口 46 が設けられ、掃気口 46 には排気管 48 が接続されている。掃気口 46 は、ピストン 16、特にピストン小径部 28 の側面によって開閉される。吸気管 42 と排気管 48 には、EGR（排気再循環）管 52 が接続されている。EGR 管 52 には、EGR 弁 54 が設けられ、必要に応じて開閉して、EGR 量が調節される。空気ばね室 38 は密閉されており、ピストン 16 の往復運動に伴い、空気ばね室 38 内の空気が圧縮され、また膨張する。

【 0 0 1 8 】

磁石 18 は、ピストン大径部 30 の外周部に配置され、シリンダの軸線方向に沿って、

50

極性が交互になるように配置される。エンジンブロック 14 には、シリンダ大径部 34 を囲むように、また磁石 18 に対向するようにコイル 20 が配置されている。コイル 20 は、V 相、U 相、W 相のコイルが順に繰り返してシリンダの軸線方向に沿って配列されている。コイル 20 に流れる電流は、三相インバータ 22 を介して制御部 24 により制御される。ピストン 16 が往復運動することによりコイル 20 に誘起された三相交流電力は、三相インバータ 22 にて直流電力に変換されバッテリー 26 に充電される。また、発電された電力は、他の負荷に供給されてもよい。

【0019】

エンジンブロック 14 には、ピストン 16 の位置を検出するための位置センサ 56 が設けられている。ピストン 16 には、位置センサ 56 に対向するようスケール 57 が設けられている。スケール 57 との相対位置に基づき位置センサ 56 は、ピストン 16 の位置に応じた信号を出力する。

【0020】

制御部 24 は、ピストン 16 が上死点に達したときの燃焼室 36 内の温度が、着火温度となるようにピストン 16 の速度を制御する。制御部 24 の動作については、後に詳述するが、ここでは簡単に説明する。着火温度は、燃料の性状によって定まる値である。圧縮仕事算出部 58 は、ピストン 16 が上死点に達したときの燃焼室温度がこの着火温度となるために、燃焼室内の気体に対しピストン 16 がなすべき仕事 W を算出する。可燃速度算出部 60 は、この仕事 W に見合う運動エネルギーをピストン 16 が有するためのピストンの速度を算出する。この速度であれば、ピストン 16 が上死点に達したとき燃料を燃焼させることができる。この速度を「可燃速度」と記し、その符号を v_b とする。速度指令算出部 62 は、可燃速度 v_b に基づき速度指令 v^* を算出する。一方、速度算出部 64 は、位置センサ 56 の出力信号に基づき、実際のピストン速度 v を算出する。推力指令算出部 66 は、ピストンの速度指令 v^* と実際の速度 v の差分から推力指令 τ^* を算出する。さらに、電圧指令算出部 68 が推力指令 τ^* と、位置センサ 56 により検出されたピストン 16 の位置とに基づき三相の電圧指令 V^* を算出する。この電圧指令 V^* に基づき、三相インバータ 22 によって三相のコイル 20 の電流が制御され、この結果ピストン速度が制御される。このように、このフリーピストンエンジン発電機 10 は、ピストンの速度をフィードバック制御している。

【0021】

フリーピストンエンジン発電機 10 の動作、特にエンジンの動作について説明する。ピストン 16 が上死点にあるとき燃料が燃焼し、燃焼ガスがピストン 16 を押し、ピストン 16 が移動する。このピストン 16 の移動により空気ばね室 38 内の気体が圧縮される。ピストン 16 が下死点近傍に達すると、掃気口 46 が開放され、また吸気弁 44 が開く。掃気口 46 が開放されることにより、燃焼ガスが排気として排出される。吸気弁 44 が開くことにより、予圧された新気がシリンダ小径部 32 内に供給される。ピストン 16 が下死点に達すると、空気ばね室 38 内の圧縮された気体の圧力でピストン 16 は折り返し、上死点に向かい、シリンダ小径部 32 内の気体を圧縮する。一方、ピストン 16 が下死点近傍にあるとき吸気弁 44 が閉じられる。ピストン 16 が上死点近傍に達すると、燃焼室 36 内に燃料を噴射し、燃料が燃焼する。このサイクルを繰り返して運転が継続する。

【0022】

図 2 は、燃焼室 36 内の気体のエネルギー収支に関する説明図である。ピストン 16 は、可動範囲 s 内で往復運動する。フリーピストンエンジンにおいては、各サイクルにおけるピストン 16 の折り返し位置（上死点、下死点）は必ずしも一致しないが、可動範囲 s は最大の範囲を想定している。磁石 18 とコイル 20 により構成される発電機で発電される電力および発電機に供給される電力は、ピストン 16 が電力制御区間 c 内に位置する時のみに制御される。図 2 において、可動範囲 s および電力制御区間 c は、ピストン 16 の燃焼室 36 に面した端面の位置を用いて示されている。あるサイクルにおいて、上死点にあるピストン 16 が一点鎖線で示されている。このピストンの位置、つまり上死点を符号 p_0 で表す。可動範囲 s の端付近では、ピストン 16 の速度が遅くなるため、コイル 20 に

10

20

30

40

50

流れる電流によるピストンの動きの制御は効率が悪く、発電効率も悪い。このため、可動範囲 s の全区間での制御は行わない。電力制御区間 c は、可動範囲 s の両端部を除いて、中央寄りに設けられ、この発電制御区間 c 内にピストン 16 が位置するときに、電力制御が行われる。電力制御区間 c の上死点側の端点を、以降「上死点側端点」と記し、符号 p_1 を付す。

【0023】

圧縮行程中のピストン 16 は、電力制御区間 c 内では速度が制御され、上死点側端点 p_1 を通過した後は、制御を受けずに運動する。電力制御区間 c の外側に設けられた自由運動区間では、ピストン 16 は、コイル 20 と磁石 18 の間の相互作用を受けないという意味において自由に運動する。上死点側端点 p_1 を通過した後、ピストン 16 の運動エネルギー K は、燃焼室 36 内の気体の内部エネルギー U 等に変換され、全運動エネルギーが消費されたときピストン 16 は停止（上死点）する。このとき燃焼室 36 内の気体の内部エネルギー U が最大となり、気体の温度も最高となる。

10

【0024】

ピストン 16 が上死点 p_0 となったときの内部エネルギー U_0 は、式 (1) で表される。

$$U_0 = U_1 + \Delta U_{1,0} \\ = U_1 + K_1 + (U G_1 - U G_0) - E f_{1,0} - E w_{1,0} \cdots (1)$$

ここで、 $U G$ は、空気ばね室 38 内の気体の内部エネルギー、 $\Delta U_{1,0}$ は、上死点側端点 p_1 から上死点 p_0 までの間の内部エネルギー U の増分、 $E f_{1,0}$ は、上死点側端点 p_1 から上死点 p_0 までの摩擦による損失エネルギー、 $E w_{1,0}$ は、上死点側端点 p_1 から上死点 p_0 までの冷却による損失エネルギーである。また、上死点 p_0 における各パラメータに添え字「 $_0$ 」、上死点側端点 p_1 における各パラメータに添え字「 $_1$ 」を付す。

20

【0025】

式 (1) において、ピストン 16 の運動エネルギー $K_1 (= (1/2) m v_1^2)$ は、予めピストン 16 の質量 m を求めておけば、ピストンの速度 v_1 から算出することができる。ピストンの速度 v_1 は、例えば、位置センサ 56 により測定されたピストン 16 の位置を微分することによって求めることができる。

【0026】

空気ばね室 38 内の気体の内部エネルギー $U G$ は、温度を $T g$ 、モル数を $n g$ 、気体定数を $R g$ とすれば、式 (2) で表せる。

$$U G = (3/2) \cdot n g \cdot R g \cdot T g \cdots (2)$$

空気ばね室 38 内の気体が空気であれば、組成が分かっているので、成分ごとのモル数、気体定数が分かり、温度 $T g$ を検出すれば内部エネルギー $U G_1, U G_0$ を算出することができる。

30

【0027】

また、気体の状態方程式 ($P V = n R T$) を式 (2) に適用すれば、式 (3) が得られる。

$$U G = (3/2) \cdot P g \cdot V g \cdots (3)$$

ここで、 $P g$ は空気ばね室 38 内の圧力、 $V g$ は空気ばね室 38 の体積である。空気ばね室 38 内の圧力 $P g$ は、圧力センサを設けることにより取得することができる。また、空気ばね室 38 の体積 $V g$ は、位置センサ 56 により測定されたピストン 16 の位置から算出することができる。したがって、空気ばね室 38 内の圧力 $P g$ と空気ばね室 38 の体積 $V g$ から内部エネルギー $U G_1, U G_0$ を算出することができる。

40

【0028】

摩擦による損失エネルギー $E f_{1,0}$ は、およそ潤滑油温および冷却水温の関数となり、実験的に求めておく。潤滑油温と冷却水温を変数とした関数として表し、この関数を記憶しておき、取得した潤滑油温および冷却水温を関数に代入して損失エネルギー $E f_{1,0}$ を算出することができる。また、潤滑油温と冷却水温の組を損失エネルギー $E f_{1,0}$ と対応付け、対応表として記憶し、取得した潤滑油温および冷却水温を対応表に適用して損失エネルギー $E f_{1,0}$ を算出することができる。摩擦による損失エネルギー $E f_{1,0}$ が、燃焼室 36 内の圧力にも影

50

響される場合は、潤滑油温、冷却水温に加え燃焼室内圧力も変数として関数または対応表を作成し、これに基づき損失エネルギー $E_{f_{1,0}}$ を算出するようにできる。

【 0 0 2 9 】

冷却による損失エネルギー $E_{w_{1,0}}$ も、およそ潤滑油温および冷却水温の関数であり、実験的に求めておく。潤滑油温と冷却水温を変数とした関数として表し、これを記憶しておき、取得した潤滑油温および冷却水温を関数に代入して損失エネルギー $E_{w_{1,0}}$ を算出することができる。また、潤滑油温と冷却水温の組を損失エネルギー $E_{w_{1,0}}$ と対応付け、対応表として記憶し、取得した潤滑油温および冷却水温を対応表に適用して損失エネルギー $E_{w_{1,0}}$ を算出することができる。

【 0 0 3 0 】

上死点側端点 p_1 における燃焼室 3 6 内の気体の内部エネルギー U_1 は、燃焼室 3 6 内のガス量、組成、温度 T_1 から算出できる。ガス量および組成は、式 (4) から算出することができる。

$$(\text{ガス量}) = (\text{新気量}) + (\text{外部 EGR 量}) + (\text{内部 EGR 量}) \cdots (4)$$

【 0 0 3 1 】

新気量は、EGR 管 5 2 との合流点より上流の吸気管 4 2 にエアフロメータを設け、新気の質量流量を測定して、1 回の吸気行程において吸入された新気の質量を求めることができる。空気の組成は既知であるので、成分 (窒素、酸素) ごとの質量およびモル数を求めることができる。また、吸気管 4 2 内の流速、温度、圧力から新気の質量を求めることもでき、同様に成分ごとの質量およびモル数を求めることができる。

【 0 0 3 2 】

外部 EGR 量は、EGR 管 5 2 との合流点より下流の吸気管 4 2 の質量流量から、新気の質量流量を減算することにより求めることができる。EGR 管 5 2 との合流点より下流の質量流量は、この部分に圧力センサを設け、検出された圧力と、ピストン 1 6 の移動量から求めた体積流量から求めることができる。また、排気の組成は、燃料の種類および供給量から求めることができる。これらにより、外部 EGR された気体の成分ごとの質量およびモル数を求めることができる。

【 0 0 3 3 】

内部 EGR は、掃気行程において、排気されずに残留した燃焼済みガスによる EGR である。内部 EGR 量は、排気管 4 8 と吸気管 4 2 の圧力差と、ピストン 1 6 が膨張側の折り返し位置 (下死点) にあるときのシリンダ小径部 3 2 内の体積に基づき算出できる。排気の組成は、燃料の種類および供給量から求めることができる。これらにより、内部 EGR された気体の成分ごとの質量およびモル数を求めることができる。

【 0 0 3 4 】

以上のように、新気量、外部 EGR 量、および内部 EGR 量を求めることができ、燃焼室 3 6 内のガス量、組成を求めることができる。

【 0 0 3 5 】

温度 T_1 は、燃焼室 3 6 内に温度センサを設け、取得することができる。温度 T_1 は、また、例えば燃焼室 3 6 に圧力センサを設け、測定された圧力を気体の状態方程式 ($PV = nRT$) に適用して求めることができる。圧力 P は測定され、体積 V はピストン 1 6 が上死点側端点 p_1 であるときの燃焼室 3 6 の体積であるから既知の値である。前述のようにガスの量、組成が分かっているので、成分ごとのモル数 n 、気体定数 R が分かり、温度 T_1 を算出することができる。

【 0 0 3 6 】

上死点側端点 p_1 における燃焼室 3 6 内の気体の内部エネルギー U_1 は式 (5) で求めることができる。

$$U_1 = (3/2) n_a R_a T_1 + (3/2) n_b R_b T_1 + (3/2) n_c R_c T_1 + \cdots \\ \cdots (5)$$

ここで、 n_a 、 n_b 、 $n_c \cdots$ は各成分のモル数、 R_a 、 R_b 、 $R_c \cdots$ は各成分の気体定数である。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 7 】

以上から、式 (1) の右辺の各項を求めることができ、よって、左辺である上死点 p_0 における燃焼室 3 6 内の気体の内部エネルギー U_0 を求めることができる。そのときの温度 T_0 は、式 (6) より求めることができる。

$$T_0 = (2/3) [1/(n_a R_a + n_b R_b + n_c R_c + \dots)] U_0 \quad \dots (6)$$

【 0 0 3 8 】

このように、上死点側端点 p_1 におけるピストン 1 6 の運動エネルギー K_1 から上死点 p_0 における燃焼室 3 6 内の温度 T_0 を求めることができる。以上の算出と逆の過程により、ピストン 1 6 が上死点 p_0 に来たときの燃焼室 3 6 内の温度 T_0 がある温度となるような上死点側端点 p_1 におけるピストンの速度 v_1 を算出することができる。

10

【 0 0 3 9 】

制御部 2 4 の動作について再度説明する。制御部 2 4 の圧縮仕事算出部 5 8 は、使用している燃料の性状に基づき予め記憶されている着火温度 T_b を取得する。さらに、ピストン 1 6 が上死点 p_0 に達したとき燃焼室 3 6 内が温度 T_0 が着火温度 T_b となるための上死点側端点 p_1 から上死点 p_0 までにピストン 1 6 がなすべき仕事 $W_{1,0}$ を算出する。ピストン 1 6 は上死点 p_0 において速度 $v = 0$ であるから、上記の仕事 $W_{1,0}$ をなすためには、ピストン 1 6 は上死点側端点 p_1 において、仕事 $W_{1,0}$ に等しい運動エネルギー K_b (以下、可燃運動エネルギーと記す。) を有していればよい。式 (1) を変形して式 (1) ' を得る。

$$W_{1,0} = K_b = U_0 - \{ U_1 + (U_{G1} - U_{G0}) - E_{f1,0} - E_{w1,0} \} \quad \dots (1)'$$

【 0 0 4 0 】

20

可燃速度算出部 6 0 は、上死点側端点 p_1 においてピストン 1 6 が可燃運動エネルギー K_b を有するようそのときの速度 $v_b (= \sqrt{2 K_b / m})$ を算出する。速度指令算出部 6 2 は、上死点側端点 p_1 において速度 v_b となる速度指令 v^* を出力する。例えば、圧縮行程中の電力制御区間 c の全域で速度 v_b になるように制御することができる。速度指令 v^* から速度算出部 6 4 で算出された現実の速度 v が減算され、これに基づき推力指令算出部 6 6 で推力指令 τ^* が算出される。さらに、電圧指令算出部 6 8 は、推力指令 τ^* とピストン 1 6 の位置に基づき電圧指令 V^* を算出し、電圧指令 V^* に基づき三相インバータ 2 2 が動作し、三相交流電力がコイル 2 0 に供給される。

【 0 0 4 1 】

30

以上のように、ピストン 1 6 の速度をフィードバック制御して電圧制御区間 c の上死点側端点 p_1 におけるピストンの速度 v_1 を可燃速度 v_b とする。これにより、その後ピストン 1 6 が上死点 p_0 に達したとき、燃焼室 3 6 内の温度が着火温度 T_b となり、燃料の燃焼が開始される。上死点 p_0 の位置を測定せずともフリーピストンエンジン発電機 1 0 の運転を継続することができる。

【 0 0 4 2 】

図 3 は、本発明に係る他の実施形態のフリーピストンエンジン発電機 7 0 の概略構成を示す模式図である。フリーピストンエンジン発電機 1 0 と同一の構成要素については、同一の符号を付し、その説明を省略する。フリーピストンエンジン発電機 1 0 との相違は、制御部 7 2 の構成である。

【 0 0 4 3 】

40

フリーピストンエンジン発電機 7 0 においては、膨張行程および圧縮行程でピストン 1 6 が電力制御区間 c を通過する際の発電量を制御して、圧縮行程において上死点側端点 p_1 をピストン 1 6 が通過する速度 v_1 を可燃速度 v_b としている。圧縮仕事算出部 5 8 で算出された仕事 $W_{1,0}$ は、圧縮行程中のピストン 1 6 が上死点側端点 p_1 を通過するときに持っているべき運動エネルギー K_b である。膨張行程中のピストンが上死点側端点 p_1 を通過するときに持っている運動エネルギー K_2 を、ピストン 1 6 が下死点から戻ってきたときに運動エネルギー K_b まで減少させることで、次のサイクルにおいても燃料が燃焼する。このフリーピストンエンジン発電機 7 0 においては、発電量を制御することにより、圧縮行程中の上死点側端点 p_1 におけるピストン 1 6 の運動エネルギーを可燃運動エネルギー K_b としている。

50

【 0 0 4 4 】

発電量算出部 7 4 は、ピストン 1 6 が上死点側端点 p_1 と下死点の間で往復する間の発電すべき発電量 GE を式 (7) に基づき算出する。

$$GE = K_2 - Kb - Ef_{2,1} - Ew_{2,1} \cdots (7)$$

$Ef_{2,1}$ はピストンが上死点側端点 p_1 と下死点の間で往復する間の摩擦による損失エネルギー、 $Ew_{2,1}$ はピストンが上死点側端点 p_1 と下死点の間で往復する間の冷却による損失エネルギーである。 $Ef_{2,1}$ および $Ew_{2,1}$ は、前述の $Ef_{1,0}$ 、 $Ew_{1,0}$ と同様、潤滑油温および冷却水温の関数として予め求めておき、この関数を用いて算出することができる。また、前述の $Ef_{1,0}$ 、 $Ew_{1,0}$ と同様に対応表を用いて求めるようにすることもできる。

【 0 0 4 5 】

推力指令算出部 6 6 は、この発電量 GE に基づき推力指令 τ^* を算出する。推力 τ は、例えば、電力制御区間 c 内で一定値となるようにすることができる。この場合、電力制御区間 c の長さを Lc とすれば、推力 τ は、式 (8) で算出される。

$$\tau = GE / (2 Lc) \cdots (8)$$

さらに電圧指令算出部 6 8 が推力指令 τ^* とピストンの位置に基づき電圧指令 V^* を算出し、三相インバータ 2 2 が電圧指令 V^* に従い、三相交流電力をコイル 2 0 に供給する。

【 0 0 4 6 】

フリーピストンエンジンは、ディーゼル機関（圧縮着火機関）に限らず、他の熱機関とすることができ、例えばオットー機関（火花点火機関）とすることができる。オットー機関の場合、自己着火はしないので、点火した際に燃料が燃焼可能な温度となるようにピストンの速度が制御される。

【 符号の説明 】

【 0 0 4 7 】

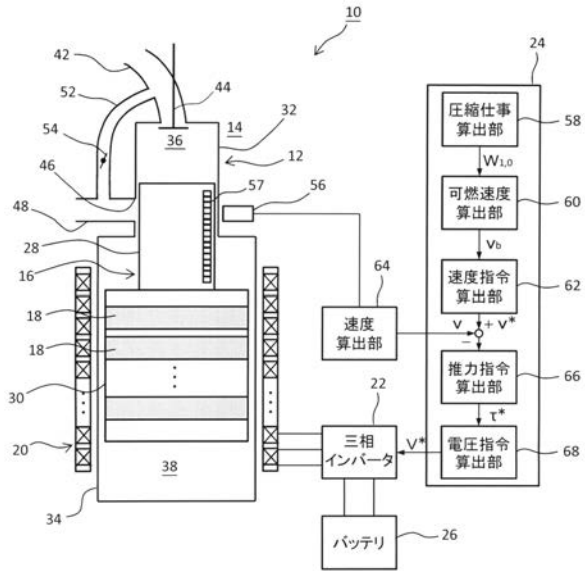
1 0 フリーピストンエンジン発電機、1 2 シリンダ、1 4 エンジンブロック、1 6 ピストン、1 8 磁石、2 0 コイル、2 2 三相インバータ、2 4 制御部、2 6 バッテリ、2 8 ピストン小径部、3 0 ピストン大径部、3 2 シリンダ小径部、3 4 シリンダ大径部、3 6 燃焼室、3 8 空気ばね室、4 2 吸気管、4 4 吸気弁、4 6 掃気口、4 8 排気管、5 2 EGR 管、5 4 EGR 弁、5 6 位置センサ、5 7 スケール、5 8 圧縮仕事算出部、6 0 可燃速度算出部、6 2 速度指令算出部、6 4 速度算出部、6 6 推力指令算出部、6 8 電圧指令算出部、7 0 フリーピストンエンジン発電機、7 2 制御部、7 4 発電量算出部、 s 可動範囲、 c 電力制御区間、 p_0 上死点、 p_1 上死点側端点、 v ピストンの速度、 vb 可燃速度、 m ピストンの質量、 U 燃焼室内の気体の内部エネルギー、 UG 空気ばね室内の気体の内部エネルギー、 K ピストンの運動エネルギー、 Ef 摩擦による損失エネルギー、 Ew 冷却による損失エネルギー、 T 燃焼室内温度、 Tb 着火温度。

10

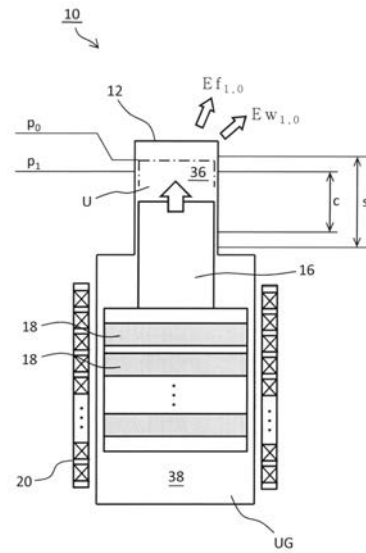
20

30

【図 1】



【図 2】



【図 3】

