

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2012 年 10 月 4 日(04.10.2012)



(10) 国際公開番号
WO 2012/133242 A1

- (51) 国際特許分類:
F02B 71/04 (2006.01) *H02P 9/04* (2006.01)
F01B 11/04 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/057629
- (22) 国際出願日: 2012 年 3 月 23 日(23.03.2012)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2011-070601 2011 年 3 月 28 日(28.03.2011) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 株式会社豊田中央研究所 (KABUSHIKI KAISHA TOYOTA CHUO KENKYUSHO) [JP/JP]; 〒4801192 愛知県長久手市横道 4 1 番地の 1 Aichi (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 堀田 義博 (HOTTA, Yoshihiro) [JP/JP]; 〒4801192 愛知県長久手市横道 4 1 番地の 1 株式会社豊田中央研究所内 Aichi (JP). 小坂 英雅 (KOSAKA, Hidemasa) [JP/JP]; 〒4801192 愛知県長久手市横道 4 1 番地の 1 株式会社豊田中央研究所内 Aichi (JP). 中北 清己 (NAKAKITA, Kiyomi) [JP/JP]; 〒4801192

愛知県長久手市横道 4 1 番地の 1 株式会社豊田中央研究所内 Aichi (JP). 大輝 祐一 (OHTERU, Yuichi) [JP/JP]; 〒4801192 愛知県長久手市横道 4 1 番地の 1 株式会社豊田中央研究所内 Aichi (JP). 相木 宏介 (AIKI, Kosuke) [JP/JP]; 〒4801192 愛知県長久手市横道 4 1 番地の 1 株式会社豊田中央研究所内 Aichi (JP). 秋田 智行 (AKITA, Tomoyuki) [JP/JP]; 〒4801192 愛知県長久手市横道 4 1 番地の 1 株式会社豊田中央研究所内 Aichi (JP).

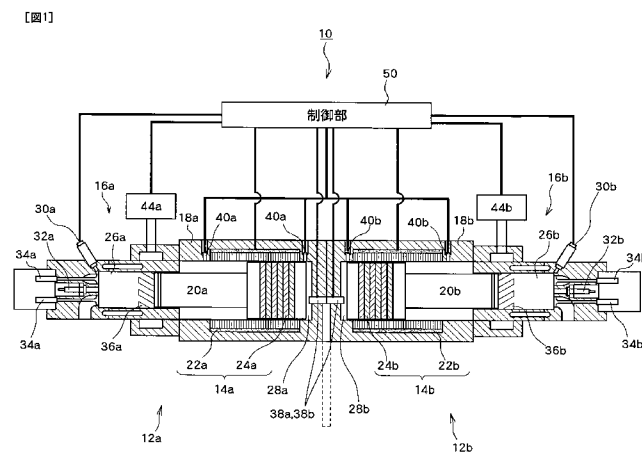
(74) 代理人: 特許業務法人 Y K I 国際特許事務所 (YKI Patent Attorneys); 〒1800004 東京都武蔵野市吉祥寺本町一丁目 3 4 番 1 2 号 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) Title: FREE-PISTON GENERATOR

(54) 発明の名称: フリーピストン式発電機



50 CONTROL UNIT

(57) Abstract: A free-piston generator (10) for generating electricity with the linear reciprocal motion of a piston (20) is provided with a combustion chamber (26) and a spring portion (28) disposed on mutually opposite sides of the piston (20) and comprises: an engine unit (16) in which the piston (20) reciprocally moves by the combustion pressure generated upon combustion of a fuel in the combustion chamber (26) and the restoring force of the spring portion compressed by the piston (20); an electricity generation unit (14) for generating electricity with the reciprocal motion of the piston (20); and a control means (50) for controlling the drives of the engine unit (16) and the electricity generation unit (14). The control means adjusts the balance between a fuel injection amount injected into the combustion chamber and a generation load, the repulsion force of the spring portion (28), an intake air amount into the combustion chamber (26), and so on, thereby adjusting the motion frequency of the piston (20) or the compression ratio during combustion.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2012/133242 A1



(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,

SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

ピストン 20 の直線往復運動に伴い発電するフリーピストン式発電機 10 は、ピストン 20 を挟んで両側に燃焼室 26 およびバネ部 28 が設けられ、前記燃焼室 26 で燃料を燃焼させた際の燃焼圧力および前記ピストン 20 により圧縮されたバネ部の復元力によりピストン 20 が往復移動するエンジンユニット 16 と、前記ピストン 20 の往復運動に伴い発電を行う発電ユニット 14 と、前記エンジンユニット 16 および発電ユニット 14 の駆動を制御する制御手段 50 と、を備える。前記制御手段は、前記燃焼室に噴射する燃料噴射量と発電負荷とのバランス、バネ部 28 の反発力、燃焼室 26 への吸入空気量などを調整して、ピストン 20 の運動周波数または燃焼時の圧縮比を調整する。

明 細 書

発明の名称：フリーピストン式発電機

技術分野

[0001] 本発明は、ピストンの直線往復運動に伴い発電するフリーピストン式発電機に関する。

背景技術

[0002] 従来から、燃焼室で燃料を燃焼させた際に得られる燃焼圧力により、シリンダ内でピストンを往復運動させるフリーピストンエンジンに発電ユニットを組み込み、ピストンの往復運動に伴い発電を行うフリーピストン式発電機が広く知られている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2008-223628号公報

特許文献2：実開昭58-139532号公報

特許文献3：特開2006-170071号公報

非特許文献

[0004] 非特許文献1：「大学講義 内燃機関」、木村逸郎・酒井忠美、P269、丸善株式会社

非特許文献2：「自由ピストン・ガス発生機的设计と思索」、長尾不二男、機械学会論文集、昭和31年4月

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] フリーピストンエンジンは、ピストンが機械的な拘束を受けないため、ピストンの運動周期や、燃焼時の圧縮比を所望の値に調整することが困難という問題があった。その結果、エンジン部の熱効率の低下や、発電効率の低下、運動周波数の変動（ひいては発電量の変動）を生じ、これらによって、複数気筒の運動周期を同期させることができなくなって振動が発生するといっ

た問題が生じることがあった。

[0006] ここで、特許文献1には、圧縮比を所望の値にする技術として、ピストンの速度が所定速度以下になった場合には、発電機での発電を停止する技術が開示されている。かかる技術によれば、圧縮比を、ある程度、所望の値に調整することができる。しかしながら、発電負荷の調整範囲を広く設定できないため、エンジンの熱効率が低下したり、発電効率が低くなる場合があった。

[0007] また、振動低減のために二つのピストンを同軸上に対称配置する技術も提案されている。この方式で振動を低減するためには、二つのピストンの運動が完全に対称であること（運動周期の同期がとれている）が要求される。特許文献2、非特許文献1，2には、二つのピストンの同期をとるために、機械式のリンク機構や歯車を用いる技術が開示されている。かかる技術によれば、二つのピストンの同期をとることができ、結果として振動を低減できる。しかしながら、これらの技術によれば、摩擦や慣性質量の増加という問題を招き、フリーピストン式機関の効率を著しく低下させる。

[0008] また、特許文献3には、ピストンの往復運動に応じて発電するとともに必要に応じてピストンを駆動するリニアモータを設け、当該リニアモータの作動周波数を変更することで二つのピストンの同期を取る技術が開示されている。しかし、この特許文献3では、実際にリニアモータの作動周波数をどのように変更するのか開示されていない。

[0009] つまり、従来、フリーピストンリニア発電機の効率（すなわちエンジン部の熱効率×リニア発電機部の発電効率）をほぼ好適な値に保ったまま、ピストンの運動周期や、燃焼時の圧縮比を調整でき得るフリーピストン式発電機はなかった。そこで、本発明では、フリーピストンリニア発電機の効率を下げることなく、ピストンの運動周期や、燃焼時の圧縮比を調整でき得るフリーピストン式発電機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

[0010] 本発明のフリーピストン式発電機は、ピストンの直線往復運動に伴い発電

するフリーピストン式発電機であって、ピストンを挟んで両側に燃焼室およびバネ部が設けられ、前記燃焼室で燃料を燃焼させた際の燃焼圧力および前記ピストンにより圧縮されたバネ部の復元力によりピストンが往復移動するエンジンユニットと、前記ピストンの往復運動に伴い発電を行う発電ユニットと、前記エンジンユニットおよび発電ユニットの駆動を制御する制御手段と、を備え、前記制御手段は、前記燃焼室に噴射する燃料噴射量と発電負荷とのバランス、バネ部の反発力、燃焼室への吸入空気量、火花点火時期、燃料噴射時期、燃料噴射率の少なくとも一つを調整して、ピストンの運動周波数または燃焼時の圧縮比を調整する。

[0011] 好適な態様では、前記エンジンユニットは、同軸上に対称に並べられており、前記制御手段は、これら二つのエンジンユニットの駆動位相を一致させるべく前記ピストンの運動周波数を調整する。

[0012] 他の好適な態様では、前記燃焼室での燃焼は、燃料と空気を混合した混合気を圧縮して高温にし、自己着火させる予混合圧縮自着火方式で行われており、前記制御手段は、前記燃料の燃焼時期が予め規定された時期となるべく燃焼時の圧縮比を調整する。

[0013] 他の好適な態様では、前記燃焼室での燃焼は、火花を火種として燃料と空気を混合した混合気を点火する火花点火方式で行われており、前記制御手段は、ノッキングが検知された場合には、前記圧縮比を低下させる。

[0014] 他の好適な態様では、前記バネ部は、前記ピストンを挟んで前記燃焼室の反対側に設けられ、前記ピストンの往復運動に伴い体積変化する空気室であって、圧縮された際の室内ガスの反発力によりピストンを燃焼室側に押す空気室から構成されており、前記制御手段は、前記空気室内の空気量を増減することで、前記バネ部の反発力を増減する。

[0015] 他の好適な態様では、前記制御手段は、発電負荷の調整に際して、発電負荷をピストン速度で割った値である発電負荷係数を調整指標として用いる。この場合、前記制御部は、前記発電負荷係数と燃料噴射量の比率をほぼ一定に保ちつつ、前記発電負荷係数および燃料噴射量の値を増減することで、発

電量を増減する、ことが望ましい。また、前記制御部は、前記発電負荷係数に対する燃料噴射量の比率を高めることで、運動周波数および圧縮比の値を高める、ことも望ましい。また、前記制御部は、圧縮行程における発電負荷の積算値が、膨張行程における発電負荷の積算値よりも大きくなるべく、前記発電負荷を調整する、ことも望ましい。

発明の効果

[0016] 本発明によれば、燃料噴射量と前記発電負荷とのバランス、バネ部の反発力、燃焼室への吸入空気量、火花点火時期、燃料噴射時期、燃料噴射率の少なくとも一つを調整して、ピストンの運動周波数または燃焼時の圧縮比を調整しているため、リンク機構を設けることで機械的な摩擦損失を増加させるといった背反を伴うことなく、ピストンの運動周期や、燃焼時の圧縮比を調整できる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]本発明の実施形態であるフリーピストン式発電機の構成図である。

[図2]解析モデルを示す図である。

[図3]解析に用いた発電効率マップである。

[図4]解析の前提条件を示す表である。

[図5]フリーピストン式発電機の運動態様を模式的に示したグラフである。

[図6A]シミュレーション結果を示す図である。

[図6B]シミュレーション結果を示す図である。

[図6C]シミュレーション結果を示す図である。

[図6D]シミュレーション結果を示す図である。

[図7A]図6Cの拡大図である。

[図7B]図6Dの拡大図である。

[図8]シミュレーションにより得られた、空気室の初期圧力および燃焼室の初期圧力と運動周波数との関係を示す表である。

[図9]ピストンの移動態様を示す図である。

[図10]ピストンの移動態様を示す図である。

[図11]他のフリーピストン式発電機の構成図である。

[図12]他のフリーピストン式発電機の構成図である。

発明を実施するための形態

[0018] 以下、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。図1は、本発明の実施形態であるフリーピストン式発電機10の概略構成図である。

[0019] このフリーピストン式発電機10は、燃焼圧力によるピストンの動きを電氣的エネルギーに変換して取り出す装置で、対称配置された二つの発電装置12a, 12b（以下、両者を区別しない場合は添字アルファベットを省略し「発電装置12」という。他部材も同じ）と、この二つの発電装置12a, 12bの駆動を制御する制御部50と、を備えている。

[0020] 一つの発電装置12は、燃焼圧力によりピストン20をシリンダ18内で往復運動させるエンジンユニット16と、当該ピストン20の動きを利用して発電を行う発電ユニット14と、に大別される。本実施形態では、かかる発電装置12を、同軸線上に左右対称になるように二つ配置している。

[0021] 発電ユニット14は、固定子として機能するシリンダ18と、可動子として機能するピストン20と、から構成される。ピストン20の外側面には永久磁石24が埋め込まれており、シリンダ18の内壁（永久磁石24の外周囲）には発電コイル22が固定設置されている。エンジンユニット16の駆動によりピストン20がシリンダ18内で往復移動すると、この永久磁石24と発電コイル22との相対位置関係が変化し、これにより、永久磁石24周囲の磁界が変化する。そして、この磁界の変化に応じて発電コイル22に誘導起電力が発生する。この誘導起電力によって発電が行われ、発電により得られた電力は、図示しないバッテリーなどに送電される。

[0022] エンジンユニット16は、ピストン20をシリンダ18内で往復運動させるユニットである。このエンジンユニット16には、発電ユニット14の固定子としても機能するシリンダ18と、発電ユニット14の可動子としても機能するピストン20と、シリンダ18内においてピストン20の両側に設けられた燃焼室26および空気室28と、を備えている。つまり、ピストン

20は、燃焼室26および空気室28に挟まれている。そして、燃焼室26および空気室28は、ピストン20の往復運動に伴い体積が変化するようにになっている。本実施形態では、二つのエンジンユニット16a, 16bを、空気室28が中央、燃焼室26が左右両端に位置するように、同軸線上に対象配置している。

[0023] シリンダ18は、既述したとおり、固定子として機能するもので、その内部には発電コイル22が埋め込まれている。このシリンダ18の一端側には燃焼室26が、他端側には空気室28が形成され、両室26, 28の間にはピストン20が摺動自在に配置される。ここで、本実施形態では、シリンダ18の内部に段差を形成し、燃焼室26が形成される小径部と、小径部よりも内径が大きく空気室28が形成される大径部と、を設けている。既述の発電コイル22は、この大径部の内側面に配置される。このようにシリンダ18の内部に段差を形成し、小径部と大径部とを設ける理由については後に詳説する。

[0024] ピストン20は、可動子として機能するもので、シリンダ18の内部に摺動自在に配置される。このピストン20も、シリンダ18と同様に段差が形成されており、燃焼室26側に位置する小径部と、小径部よりも大径で空気室28側に位置する大径部と、を備えている。そして、このピストン20のうち、大径部の外表面に永久磁石24が配置される。

[0025] 燃焼室26は、燃料と新気（空気）との混合気の燃焼を行うチャンバである。この燃焼室26には、燃料噴射弁30や、点火プラグ32、排気弁34、掃気孔36などが設けられている。燃料噴射弁30は、燃焼室26の端面（シリンダ18の閉端面）に取り付けられた弁体で、燃焼室26内に燃料を供給する。点火プラグ32は、燃料と新気とが混合された混合気に点火し、燃焼（爆発）を生じさせる。排気弁34は、燃焼室26の端面（シリンダ18の閉端面）に取り付けられており、燃焼後に生じる既燃ガスを外部に排出する。掃気孔36は、燃焼室26内に新気を取り込むために燃焼室26の空気室28寄りの位置に設けられた孔である。この掃気孔36は、ピストン2

0の変位に応じて開口量が変化する。すなわち、ピストン20が燃焼室26側の端部付近に位置し、燃焼室26が圧縮された状態では、掃気孔36は、ピストン20により遮蔽された状態となる。この場合、燃焼室26への新気導入は阻害される。一方で、燃焼圧力によりピストン20が空気室28側（図面右側）へと移動すると、掃気孔36が徐々に開口されていき、新気の導入が促されるようになっている。なお、ピストン20により開放・閉鎖される掃気孔36に代えて、電氣的あるいは油圧によって開閉駆動される掃気弁を設けてもよい。

[0026] 空気室28は、燃焼室26とは反対側に設けられ、シリンダ18とピストン20の端面により囲まれたチャンバである。この空気室28の内部に存在する空気室28内ガス（空気など）は、混合気の燃焼により空気室28側に移動してきたピストン20を、燃焼室26側に押し戻すバネ部（空気バネ）として機能する。すなわち、燃焼室26内の燃焼圧力によりピストン20が空気室28側に移動すると、空気室28が圧縮されることになる。圧縮された空気室28は、圧縮された反動で、再度、膨張するべく、ピストン20を燃焼室26側へと押し戻す。

[0027] この空気室28には、空気室28の圧力を調整する調圧弁38が設けられている。この調圧弁38は、空気室28の圧力が過大な場合には、空気室28の内気を外部に流出させ、空気室28の圧力が過小な場合には外気を空気室28に流入させる。この調圧弁38としては、例えば、圧力センサと、当該圧力センサの検出値に応じて開閉する電磁弁と、を組み合わせたものでもよいし、一定圧力で機械的に開閉する機械式バルブ、例えば、ダックビルバルブなどであってもよい。

[0028] ここで、本実施形態では、この空気室28におけるシリンダ18内径を、燃焼室26におけるシリンダ18内径よりも大きくし、空気室28の受圧面積（ピストン20の端面と接触する面積）を、燃焼室26の受圧面積よりも大きくしている。かかる構成とすることで、空気室28の圧縮度合いが低くても、十分な反発力を得ることができる。すなわち、空気室28のピストン

20を押す力は、空気室28の内圧にピストン20の受圧面積を乗じた値となる。したがって、受圧面積が大きいほど、大きい押圧力（反発力）を得ることができる。別の言い方をすると、受圧面積が大きければ、内圧が低くても十分な反発力を得ることができる。そして、その結果、空気室28の圧縮に伴う温度上昇を低減でき、ひいては、熱損失を低減できるとともに、オイルの着火を防止できる。

[0029] また、かかる構成とした場合、燃焼室26のボア径に対するピストン20の外周の表面積を大きくすることができる。永久磁石24の設置場所であるピストン20の外表面の面積が増大することで、設置可能な永久磁石24の面積も増大させることができ、結果として、発電出力を増加させることができる。

[0030] こうしたエンジンユニット16には、ノッキングの発生を検知するノッキング検知手段や、各ピストン20の位置を検出するピストン位置検知手段40などが設けられている。ノッキング検知手段としては、公知のノッキングセンサなどを用いることができる。

[0031] また、ピストン位置検知手段40としては、少なくとも、ピストン20が特定の位置に到達したことを検知でき得るものであれば、その構成などは特に限定されない。したがって、例えば、光学的なりニアエンコーダや、磁気歪式直線変位センサのように、ピストン20の位置をストローク全域に亘って検知するものであってもよい。また、別の形態として、1以上の位置センサ（光学式センサやギャップセンサなど）で、ピストン20のセンサ通過タイミングを検知し、この通過タイミングとセンサ設置位置（既知）に基づいて、ピストン20の運動周波数を計算するようにしてもよい。また、得られた到達タイミングとセンサ設置位置を、予め用意した運動特性のマップと照合したり、運動方程式を解いたり、簡単なモデルに当てはめたりするようにしてもよい。かかる構成とすることで、上死点・下死点への到達タイミングや、上死点・下死点の位置（フリーピストンエンジンでは位置が変化する）、圧縮比、ストローク全域におけるピストン20の位置も得られる。また、

より正確な位置推定を可能にするために、潤滑油温や水温から、摩擦損失も併せて考慮してもよい。

[0032] さらに、別の形態として、燃焼室 26 や空気室 28 の圧力に基づいて上死点・下死点への到達タイミングを検知してもよい。すなわち、燃焼室 26 または空気室 28 に圧力センサを設けておき、燃焼室 26 の圧力が最大となったタイミングを上死点への到達タイミング、空気室 28 の圧力が最大となったタイミングを下死点への到達タイミングとして検知してもよい。燃焼室 26 の圧力に基づいて上死点への到達タイミングを検知する場合、当該検知に用いる圧力センサとして、燃焼状態・燃焼時期の検出や吸排気の状態・時期の検出に用いられる圧力センサをそのまま用いることができ、部品点数の増加を防ぎつつ、上死点への到達タイミングを検知できる。また、空気室 28 の圧力に基づいて下死点への到達タイミングを検知する場合、空気室 28 からの漏れの影響を除けば精度良くピストン位置を算出でき、空気バネ室の圧力調整によって作動周波数を調整するための情報としても利用できる。

[0033] 制御部 50 は、二つのエンジンユニット 16、発電ユニット 14 の駆動を制御するものである。本実施形態の制御部 50 は、運動周波数や、燃焼時の圧縮比を調整するために、発電負荷や燃料噴射量、空気室 28 の空気量、燃焼室 26 への吸入空気量の少なくとも一つを調整する。これらのパラメータを調整する理由については、後に詳説する。

[0034] 次に、このフリーピストン式発電機 10 の動作について説明する。二つのエンジンユニット 16 は、同じ行程を同じタイミングで行う。各エンジンユニット 16 の動作の流れは次のとおりである。まず、燃焼室 26 の内部に燃料-空気の混合気がある状態で、ピストン 20 が燃焼室 26 側に移動し、燃焼室 26 が十分に圧縮されると、点火プラグ 32 により混合気への点火がなされる。この点火により混合気が燃焼（爆発）し、その燃焼圧力（ガス膨張力）により、ピストン 20 が空気室 28 側へと移動し、燃焼室 26 の膨張、空気室 28 の圧縮が行われる。このとき、燃焼室 26 では、排気弁 34 が開放され、燃焼室 26 内における既燃ガスの排気が行われる。また、ピストン

20が、空気室28側へと移動することで、ピストン20により閉鎖されていた掃気孔36が徐々に開放されていき、燃焼室26への新気の取り込みが行われる。

[0035] 一方、空気室28は、燃焼圧力により移動するピストン20により圧縮されていく。そして、ピストン20が、空気室28を十分に圧縮すると、今度は、当該空気室28の圧縮空気の膨張する力（反発力）により、ピストン20が燃焼室26側へと押し戻される。これにより、空気室28の膨張・燃焼室26の圧縮が開始される。なお、本実施形態では、空気室28の受圧面積を、燃焼室26の受圧面積に比して大きくしている。そのため、空気室28の内圧が比較的小さくても、ピストン20全体が受ける反発力（内圧×受圧面積）を大きくすることができる。そして、その結果、圧縮に伴う空気室28の温度上昇を低減でき、熱損失が低減され、ひいては、フリーピストン式発電機10のシステム効率が向上される。また、空気室28に混入したオイルの着火を防止できる。

[0036] ピストン20が燃焼室26側へと移動することで掃気孔36が閉鎖される。また、排気弁34の閉鎖も行われ、燃焼室26が密閉された状態となる。その状態で燃料の噴射が行われ、燃焼室26内に新気と燃料の混合気が充填される。ピストン20が燃焼室26を十分に圧縮すると、点火プラグ32により混合気に点火がなされる。そして、再び、ピストン20が空気室28側へと移動し、空気室28の圧縮が行われる。以降は、同様のサイクル、すなわち、燃焼室26の圧縮・空気室28の膨張（圧縮行程）、混合気燃焼、燃焼室26の膨張・空気室28の圧縮（膨張行程）のサイクルを繰り返す。そして、このサイクルの過程で、ピストン20に埋め込まれた永久磁石24周囲の磁界が変化し、当該磁界の変化に応じて発電コイル22に、誘導起電力が発生することで、発電が行われる。

[0037] なお、本実施形態では、火花点火について例示したが、圧縮着火燃焼（ディーゼル燃焼）を用いてもよいし、予混合圧縮自着火燃焼を用いてもよい。また、上述の説明では、永久磁石24を用いた発電ユニット14を示したが

、永久磁石 24 を用いないリラクタンス同期モータを応用して、発電ユニット 14 を永久磁石 24 を使わない構成としてもよい。

[0038] ここで、本実施形態では、これまで述べてきたとおり、二つのエンジンユニット 16 を、空気室 28 が中央に位置するべく、同一直線上、かつ、左右対称に配置している。駆動に際しては、二つのピストン 20 が、左右対称に動くように運動を同期して駆動させられる。すなわち、図面右側のピストン 20 が右方向に移動して燃焼室 26 を圧縮開始するタイミングで、図面左側のピストン 20 も左方向に移動して燃焼室 26 の圧縮を開始し、図面右側の燃焼室 26 で混合気に点火するタイミングで、図面左側の燃焼室 26 でも混合気に点火する。

[0039] このように、二つのエンジンユニット 16 で、同一行程を同一タイミングで実行することで、二つのピストン 20 が左右対称に動くことになる。そして、これにより、一方のエンジンユニット 16 で生じた起振力を、他方のエンジンユニット 16 で生じる起振力で相殺することができ、発電ユニット全体の振動をキャンセルできる。

[0040] ここで、この振動相殺の効果を十分に発揮するためには、二つのピストン 20 が正確に同期していることが求められる。また、効率的な発電を行うためには、圧縮比を状況や燃料種類に応じて好適な値にすることが要求される。

[0041] 本実施形態では、この課題に鑑み、フリーピストン式発電機 10 の駆動の駆動状況を監視し、この駆動状況に応じて、燃料噴射量と発電負荷のバランス、空気室 28 の空気量、燃焼室 26 への吸入空気量、点火時期、燃料噴射時期、燃料噴射率の少なくとも一つを調整し、ピストン 20 の運動周波数や燃焼時の圧縮比を調整している。

[0042] より具体的に説明すると、本実施形態では、ピストン 20 の運動周期、および、燃焼時の圧縮比を調整する。ピストン 20 の運動周期は、主に、二つのエンジンユニット 16 を正確に同期させるために調整される。すなわち、制御部 50 は、ピストン位置検知手段 40 により検知されたピストン位置な

どに基づいて、二つのピストン 20 の位相が一致しているか否かを監視する。二つのピストン 20 の位相がずれている場合には、いずれか一方のピストン 20 の運動周期を変更し、他方のピストン 20 と同じ位相になるように調整する。

[0043] また、制御部 50 は、ピストン位置検知手段 40 で検知されたピストン位置などに基づいて圧縮比を取得し、得られた圧縮比と目標圧縮比範囲とを比較する。そして、圧縮比が目標圧縮比範囲に収まるように、圧縮比を増減する。また、このように目標圧縮比範囲との比較に応じて増減するだけでなく、駆動状況に応じて圧縮比を増減するようにしてもよい。例えば、火花点火方式の場合においてノッキングを検知した場合には、制御部 50 は、当該ノッキングを解消するように、圧縮比を低下させてもよい。また、予混合圧縮自着火方式の場合においては、使用する燃料種類などに応じて、燃焼騒音や熱効率が望ましい範囲に収まる燃焼時期が異なってくる。そこで、使用する燃料種類に応じて、好適な燃焼時期が得られるように、圧縮比を調整してもよい。

[0044] このように本実施形態では、必要に応じて、ピストン 20 の運動周期や燃焼時の圧縮比を可変調整している。これらの可変調整は、燃料噴射量と発電負荷のバランス、空気室 28 の空気量、燃焼室 26 への吸入空気量、着火時期の少なくとも一つを調整することで実現されている。以下では、これらパラメータを調整することで、運動周期や圧縮比が調整できる理由について説明する。

[0045] はじめに、燃料噴射量と発電負荷のバランスと、運動周期および圧縮比と、の関係について説明する。本願出願人は、フリーピストン式発電機 10 の運動を数値シミュレーションにより解析した結果、燃料噴射量と発電負荷のバランスに応じて、運動周期および圧縮比が可変することを得た。以下、この数値シミュレーションの結果について詳説する。

[0046] 図 2 は、この数値シミュレーションで用いた解析モデルを示す図である。また、図 3 は、当該解析に用いたリニア発電機の発電効率を示す図であり、

図4は計算条件を示す表である。

[0047] 図2に示すように、本実施形態では、発電装置12を一つだけ有したフリーピストン式発電機10を解析モデルとして用いている。この解析モデルにおいて、空気室28の受圧面積は A_{air} 、燃焼室26の受圧面積は A_{comb} ($A_{air} > A_{comb}$) となっている。

[0048] また、着火・燃焼過程をモデル化するために、着火過程ではマルチステップ $Shell$ モデルを用いた。また、本シミュレーションでは、低 NO_x 特性を実現できる予混合圧縮自着火を前提としている。燃焼室26や空気室から壁への放熱は $Woschni$ の式を用いてモデル化している。リニア発電ユニット14の発電効率については、図3のマップを用いている。

[0049] また、この解析モデルでは、発電負荷がピストン速度に比例するように制御している。すなわち、ピストン20の変位を x 、時間を t 、発電負荷（発電によるブレーキ力）を F とした場合、式1を満たすような制御を行っている。なお、本実施形態では、この式1における係数 c を、「発電負荷係数」と呼び、発電負荷の調整における指標として用いている。

[数1]

$$F = c \cdot \frac{dx}{dt} \quad \text{式1}$$

[0050] 次に、ピストン20の運動について考える。ピストン20の運動は、式2の運動方程式を解くことで求めることができる。なお、式2において、 m はピストン20の質量、 P_{comb} は燃焼室26の圧力、 P_{air} は空気室28の圧力、 f_{ric} は摩擦力である。

[数2]

$$m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = (P_{comb} \cdot A_{comb} - P_{air} \cdot A_{air}) - F - f_{ric} \quad \text{式2}$$

[0051] 図5は、上記のようにして解いたフリーピストン式発電機10の運動態様を模式的に示したグラフである。横軸は燃料噴射量であって、フリーピストン式発電機10に投入される燃料エネルギーの大きさを示す。また、縦軸は

前述の発電負荷係数 c であって、フリーピストン式発電機10から取り出すエネルギーの大きさを決める指標である。

[0052] 図5の境界線Aよりも上側の領域は、投入エネルギーによって駆動されるピストンの運動エネルギーよりも発電負荷が大きいことを意味しており、ピストン20の運動が継続できない「運動停止」の領域となる。図5の境界線Bよりも右上側の領域は、ピストンの運動エネルギーが、フリーピストン式発電機10が吸収できるエネルギーを超えており、フリーピストン式発電機10の発電量の制限によって運転できない領域となる。したがって、実際にフリーピストン式発電機10が作動可能な「作動可能領域」は、境界線Aと境界線B両方の下側の領域（図5においてハッチングを施した領域）となる。

[0053] この作動可能領域内における各種特性値を燃焼サイクルのシミュレーションと運動シミュレーションを合わせて計算した結果を図6、図7に示す。図6Aは図示熱効率、図6Bは発電量、図6Cは運動周波数、図6Dは作動時の圧縮比の等高線マップである。また、図7A、Bは、それぞれ図6C、Dの拡大図である。

[0054] 本実施形態では、基本的には、燃料噴射量および発電負荷係数を、図7A、Bにおける基準ラインLに沿って調整し、フリーピストン式発電機10を駆動する。なお、基準ラインLとは、作動可能範囲と、運動停止範囲との境界線にほぼ一致するラインである。このとき、発電量を上げたい場合には、基準ラインLに沿って燃料噴射量および発電負荷係数を上げ、発電量を下げたい場合には、基準ラインLに沿って燃料噴射量および発電負荷係数を下げる。換言すれば、発電量のみを変更したい場合には、発電負荷係数と燃料噴射量の比率をほぼ一定に保ちつつ、発電負荷係数および燃料噴射量の両方の値を変更する。

[0055] 一方、運動周波数または圧縮比を上げたいときには、燃料噴射量の増加および発電負荷係数の低減を行い、基準ラインLから離れた噴射量および発電負荷係数とする。換言すれば、運動周波数および圧縮比は、発電負荷係数に

対する燃料噴射量の比率を高めることで高められる。かかる制御にする理由について説明する。

[0056] フリーピストン式発電機 10 では、当然ながら、システム全体の発電出力（エンジン部の出力×発電機部の発電効率）を必要に応じて変更できることが求められる。

[0057] こうした観点に基づき、図 6 A の図示熱効率の等高線マップを参照すると、高い効率を得るためには、燃料噴射量および発電負荷係数は、図 6 A における領域 E 1, E 2 内に納めることが望ましいことが分かる。このため、燃料噴射量および発電負荷係数は、図 7 A, B に示す基準ライン L に沿って調整されることが望ましいことが分かる。そして、図 6 B の発電量の等高線マップを参照すると、燃料噴射量および発電負荷係数を、このライン L に沿って調整することで、発電量を適宜、増減できることが分かる。

[0058] また、図 6 C, D（図 7 A, B）における運動周波数および圧縮比の等高線マップを参照する限り、基準ライン L に沿って燃料噴射量および発電負荷係数を調整しても、運動周波数および圧縮比は殆ど変動しないことが分かる。つまり、基準ライン L に沿って燃料噴射量および発電負荷係数を調整する限り、運動周波数および圧縮比を変化させることなく、発電量を調整できる。

[0059] 一方で、二つのピストン 20 の位相ズレや、失火などにより、運動周波数や圧縮比を変更する必要性が生じた場合には、燃料噴射量を上げる、または、発電負荷係数を下げる、あるいは、この両方を実行することで、運動周波数が増加し、また、圧縮比が増加することが分かる。

[0060] したがって、本実施形態では、予め規定された基準ライン L に沿って燃料噴射量および発電負荷係数を調整する一方で、運動周波数や圧縮比を変更する必要性が生じた場合には、燃料噴射量および発電負荷係数の少なくとも一方の増減を実行する。

[0061] なお、本実施形態では、効率や筒内圧を考慮して、基準ラインを、作動可能範囲と運動停止範囲との境界線としているが、より作動可能範囲側のライ

ンを基準ラインとすることで、運動周波数および圧縮比を下げる方向への調整も可能となる。いずれにしても、こうしたシミュレーション結果から、発電負荷係数および燃料噴射量を調整することで、運動周波数および圧縮比を調整できることが分かる。なお、火花点火機関においては点火時期、圧縮自着火機関においては燃料噴射時期、燃料噴射率を変更することでエンジン出力が変化する。したがって、これらを変更することは燃料噴射量の変更と同様の効果がある。すなわち、点火時期を最も効率の高い時期に近づけること（一般には早めること）は、燃料噴射量を増した場合と同様の効果がある。同様に、燃料噴射率を熱効率が高くなるように変更すること（一般には噴射率を高めること）は燃料噴射量を増すことに相当する。燃料噴射率は平均的に増減するだけでなく、その形状を変更する（例えば前半だけ低くする）といった調整の方法もある。

[0062] 次に、空気室 28 の空気量および燃焼室 26 の吸入空気量と、運動周波数および圧縮比と、の関係について説明する。図 8 は、フリーピストン式発電機 10 の運動を数値シミュレーションにより解析した結果得られた、空気室 28 の初期圧力および燃焼室 26 の初期圧力と運動周波数との関係を示す表である。

[0063] この数値シミュレーションの前提条件は、上述したシミュレーションと同様で、図 2 に示す解析モデルと、図 3 に示す発電効率と、図 4 に示す計算条件と、を用いて行っている。また、発電負荷係数は、一定値としている。

[0064] ここで、空気室 28 の初期圧力とは、ピストン 20 の上死点において空気室 28 の体積が最大となり、空気室 28 の圧力が最小になったときの圧力である。また、燃焼室 26 の初期圧力とはピストン 20 の下死点において、燃焼室 26 の体積が最大となり、燃焼室 26 の圧力が最小になったときの圧力である。この燃焼室 26 の初期圧力は、4 サイクル機関の場合には吸気管内圧力から吸入時の吸気バルブでの流動抵抗による圧力低下部を減じた圧力にほぼ相当し、2 サイクル期間の場合には掃気圧力から掃気孔 36 での吸入抵抗による圧力低下分を減じた圧力にほぼ相当する。そして、空気室 28 の初

期圧力および燃焼室 26 の初期圧力を変化させることは、それらの室内に閉じ込められるガス量を変化させることに相当する。

[0065] 図 8 の表から明らかなとおり、空気室 28 の初期圧力を高めた場合（表の B 列）、基準状態（表の A 列）に比して、運動周波数が増加することが分かる。これは、バネ部として機能する空気室 28 のバネ定数が高まったことにより生じると考えられる。本実施形態では、この特性を生かし、空気室 28 の初期圧力を増減させることで、運動周波数を増減させる。また、運動周波数を増減させることで、圧縮比を所望の値に調整する。なお、空気室 28 の初期圧力は、空気室 28 に設けた圧力調整弁により調整することができる。

[0066] 次に、燃焼室 26 の初期圧力と運動周波数との関係について検討する。図 8 の表から明らかなとおり、燃焼室 26 の初期圧力を高めた場合（表の C 列）、基準状態（表の A 列）に比して、運動周波数が変化することがわかる。ただし、空気室 28 の初期圧力と異なり、燃焼室 26 の初期圧力を高めた場合には、運動周波数も高まるとは限らない。これは、次の理由による。

[0067] 燃焼室 26 でも、初期圧力が高まれば空気バネの反発力が高まり、運動周波数を高めようとする作用が生じる。その一方で、本シミュレーションのように予混合圧縮自着火方式の場合、当量比が変わることで、燃焼時期や熱発生率パターンが変化することも運動周波数に影響する。このように、燃焼室 26 の初期圧力を変化させた場合、燃焼状況の変化も併せて生じるため、燃焼室初期圧力の増加は必ずしも、運動周波数の増加とはならない。

[0068] したがって、燃焼室初期圧力（燃焼室 26 の吸入空気量）の場合、単純に当該圧力を増減するだけで、運動周波数を増減することはできない。しかしながら、図 8 に示すよう燃焼室初期圧力を変化させることで運動周波数も変化することは明らかである。したがって、燃焼室初期圧力で運動周波数を調整する場合には、燃焼室初期圧力と運動周波数との相関関係を示したデータを事前 to 取得しておいたり、モデルベース制御を行ったりすることが望ましい。そして、必要に応じて、運動周波数を増減させることで、圧縮比も所望の値に調整する。なお、燃焼室の初期圧力は、吸気管（4 サイクル機関の

場合)や掃気室(2サイクル機関の場合)の圧力を、過給機や掃気ポンプ、吸気絞り弁で調整することで、調整される。

[0069] 以上の説明から明らかなとおり、本実施形態では、燃料噴射量と発電負荷(発電負荷係数)とのバランス、空気室28の空気量(初期圧力)、燃焼室26の吸入空気量(初期圧力)の少なくとも一つを調整して、運動周波数または圧縮比を調整している。これにより、機械的拘束のないフリーピストン式発電機10においても、所望の運動周波数や圧縮比を得ることができ、結果として、効率の向上や振動の低下が図れる。また、予混合圧縮自着火方式においては、用いる燃料種類によって最適な燃焼時期が異なってくるが、本実施形態では、燃料噴射量と発電負荷のバランスを変更することで圧縮比、ひいては、燃焼時期を調整できるため、フリーピストン式発電機10の構成を変えることなく、様々な燃料種類に対応することができる。

[0070] なお、これまでの説明で明らかなとおり、本実施形態では、発電負荷をピストン速度で除した値である発電負荷係数を、発電負荷の調整指標として用いている。したがって、フリーピストン式発電機10の制御を行なう場合には、この発電負荷係数が所望の値となるように、発電負荷をピストン速度に応じて変更する必要がある。このピストン速度に応じた発電負荷の変更は、例えば、インバータを用いたPWM制御により行なうことができる。また、別の形態として、ダイオードブリッジで整流した後、DC/DCコンバータで昇圧量を調整したり、負荷抵抗の値を変更したりすることでも発電負荷を変更できる。

[0071] また、発電負荷係数は、運動周波数や圧縮比の変更以外の目的でも変更されてもよい。例えば、上死点近傍でのピストン20の移動速度を低減し、上死点近傍におけるピストン20の滞留時間を長くするために、圧縮行程における発電負荷の積算値を、膨張行程における発電負荷の積算値よりも大きくなるように発電負荷を調整してもよい。具体的には、例えば、膨張行程時の発電負荷係数よりも、圧縮行程における発電負荷係数を大きくするようにしてもよい。図9は、このときのピストン20の移動態様を示す図である。図

9において太実線は膨張行程のピストン20の動きを、太破線は圧縮行程のピストン20の動きをそれぞれ示している。この場合、ピストン20は、上死点（速度ゼロ点）から空気室28側に移動し、最終的に下死点（速度ゼロ点）に到達する膨張行程においては点O（速度ゼロ点）—点A1—点Oを通る。続いて、下死点（速度ゼロ点）から燃焼室26側に移動し、最終的に上死点（速度ゼロ点）に到達する圧縮行程において、ピストン20は、点O—点A2—点Oを順次通ることになる。このとき、圧縮行程では、膨張行程に比して、発電負荷係数が高くなっており、ピストン20に作用するブレーキ力が大きくなっている。その結果、上死点に近づく速度が遅くなり、結果として、上死点近傍でのピストン20滞留時間を長く保つことができる。

[0072] また、別の形態として、図10に示すように圧縮行程において発電負荷を一定（発電負荷係数を速度に反比例）させてもよい。かかる構成とすることで、上死点付近のピストン20の運動が抑制され、等容度を高めることができる。そして、これにより、熱効率の向上や、フリーピストン式発電機10の体格の小型化が可能となる。また、かかる構成においても、圧縮行程において、ピストン20に作用するブレーキ力を大きくすることができ、結果として、上死点近傍でのピストン20滞留時間を長く保つことができる。なお、このように行程などに応じて発電負荷係数を変更する場合において、運動周波数や圧縮比の変更を避けたい場合には、燃料噴射量および発電負荷係数の関係が、図7の基準ラインLのようになるように、発電負荷係数の変更に伴い、燃料噴射量も変更すればよい。

[0073] また、ピストン速度が低い領域では、発電負荷をゼロとし、発電を停止するようにしてもよい。すなわち、図3の発電効率線マップなどから明らかとなおり、ピストン速度が低い場合には、発電効率が低い。そこで、ピストン速度が、特定閾値以下の場合には、発電を停止することも望ましい。これにより、効率を向上させることができる。

[0074] また、本実施形態では、図1に示すような、二つの発電装置12を、空気室28が中央に位置するように同軸上に対称配置したフリーピストン式発電

機 10 を例示したが、フリーピストン式発電機であれば、適宜、その構成は変更されてもよい。

[0075] 例えば、図 11 に示すように、空気室 28 ではなく、燃焼室 26 を中央に位置するように、二つの発電装置 12 を対称配置したフリーピストン式発電機 10 を対象としてもよい。かかる構成とすることで、ガス交換のためのバルブ機構の一部を二つの発電装置 12 で共用できるメリットがある。また、別の形態として、単一の発電装置 12 からなるフリーピストン式発電機 10 を対象としてもよい。すなわち、図 12 に示すように、二つの発電装置 12 を対称配置するのではなく、単一の発電装置 12 だけを使用する場合にも本願発明を応用してもよい。なお、この場合、ピストン 20 が一つしか存在しないことになるので、当然ながら、二つのピストン 20 の位相を一致させる必要はない。しかし、この場合であっても、圧縮比や圧縮時期を調整する必要はあるため、本願発明は十分に有効となる。また、上述の実施形態では、空気室 28 の受圧面積が燃焼室 26 の受圧面積より大きい形態を例示していたが、図 12 に示すように、両室の受圧面積を等しいフリーピストン式発電機 10 も当然に対象としてよい。さらに、本実施形態では、空気室 28 で構成される空気バネを、ピストン 20 を押し返すバネ部として用いているが、空気室 28（空気バネ）に代えて機械式ばねを用いたフリーピストン式発電機 10 を対象としてもよい。なお、この場合には、発電負荷と燃焼噴射量のバランス、および、燃焼室 26 の吸入空気量の少なくとも一方を調整して、運動周波数や圧縮比を調整すればよい。

符号の説明

[0076] 10 フリーピストン式発電機、12 発電装置、14 発電ユニット、16 エンジンユニット、18 シリンダ、20 ピストン、22 発電コイル、24 永久磁石、26 燃焼室、28 空気室、30 燃料噴射弁、32 点火プラグ、34 排気弁、36 掃気孔、38 調圧弁、40 ピストン位置検知手段、50 制御部。

請求の範囲

- [請求項1] ピストンの直線往復運動に伴い発電するフリーピストン式発電機であって、
- ピストンを挟んで両側に燃焼室およびバネ部が設けられ、前記燃焼室で燃料を燃焼させた際の燃焼圧力および前記ピストンにより圧縮されたバネ部の復元力によりピストンが往復移動するエンジンユニットと、
- 前記ピストンの往復運動に伴い発電を行う発電ユニットと、
- 前記エンジンユニットおよび発電ユニットの駆動を制御する制御手段と、
- を備え、
- 前記制御手段は、前記燃焼室に噴射する燃料噴射量と発電負荷とのバランス、バネ部の反発力、燃焼室への吸入空気量、火花点火時期、燃料噴射時期、燃料噴射率の少なくとも一つを調整して、ピストンの運動周波数または燃焼時の圧縮比を調整する、
- ことを特徴とするフリーピストン式発電機。
- [請求項2] 請求項1に記載のフリーピストン式発電機であって、
- 前記エンジンユニットは、同軸上に対称に並べられており、
- 前記制御手段は、二つのエンジンユニットの駆動位相を一致させるべく前記ピストンの運動周波数を調整する、ことを特徴とするフリーピストン式発電機。
- [請求項3] 請求項1に記載のフリーピストン式発電機であって、
- 前記燃焼室での燃焼は、燃料と空気を混合した混合気を圧縮して高温にし、自己着火させる予混合圧縮自着火方式で行われており、
- 前記制御手段は、前記燃料の燃焼時期が予め規定された時期となるべく燃焼時の圧縮比を調整する、ことを特徴とするフリーピストン式発電機。
- [請求項4] 請求項1に記載のフリーピストン式発電機であって、

前記燃焼室での燃焼は、燃料と空気の混合気に火花点火する方式で行われており、

前記制御手段は、ノッキングが検知された場合には、前記圧縮比を低下させる、ことを特徴とするフリーピストン式発電機。

[請求項5]

請求項1に記載のフリーピストン式発電機であって、

前記バネ部は、前記ピストンを挟んで前記燃焼室の反対側に設けられ、前記ピストンの往復運動に伴い体積変化する空気室であって、圧縮された際の室内ガスの反発力によりピストンを燃焼室側に押す空気室から構成されており、

前記制御手段は、前記空気室内の空気量を増減することで、前記バネ部の反発力を増減する、ことを特徴とするフリーピストン式発電機。

[請求項6]

請求項1に記載のフリーピストン式発電機であって、

前記制御手段は、発電負荷の調整に際して、発電負荷をピストン速度で割った値である発電負荷係数を調整指標として用いる、ことを特徴とするフリーピストン式発電機。

[請求項7]

請求項6に記載のフリーピストン式発電機であって、

前記制御部は、前記発電負荷係数と燃料噴射量の比率をほぼ一定に保ちつつ、前記発電負荷係数および燃料噴射量の値を増減することで、発電量を増減する、ことを特徴とするフリーピストン式発電機。

[請求項8]

請求項6に記載のフリーピストン式発電機であって、

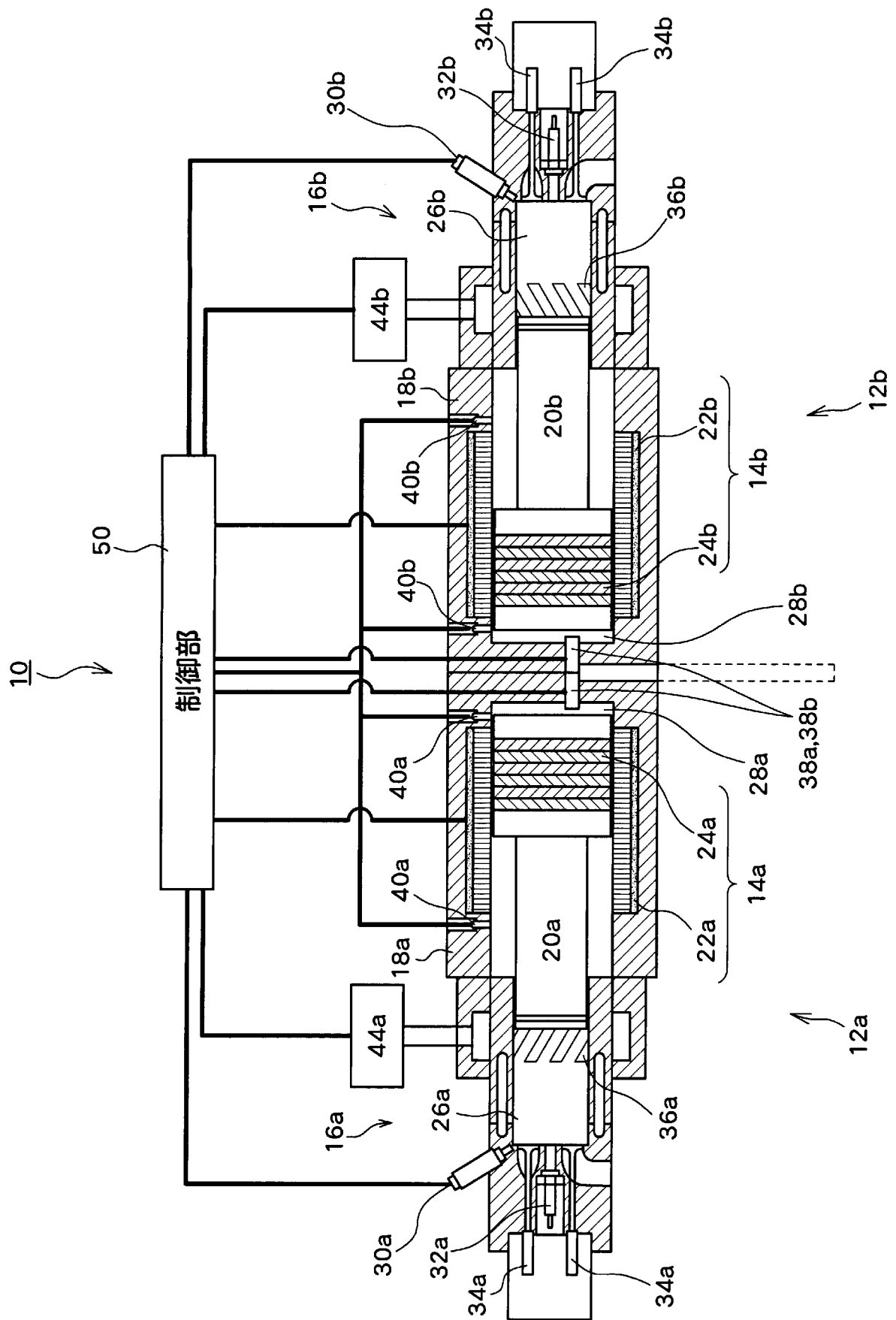
前記制御部は、前記発電負荷係数に対する燃料噴射量の比率を高めることで、運動周波数および圧縮比の値を高める、ことを特徴とするフリーピストン式発電機。

[請求項9]

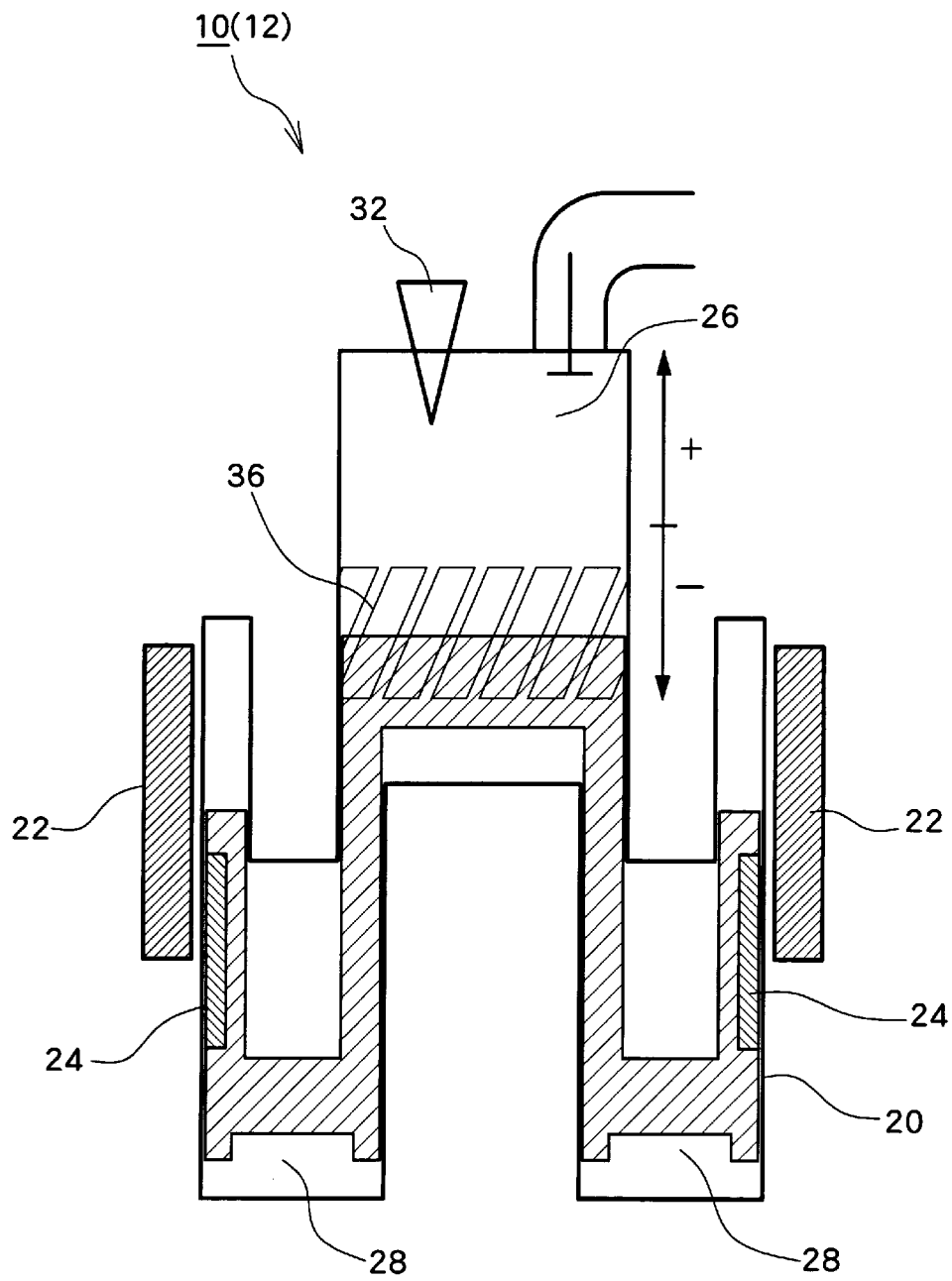
請求項1に記載のフリーピストン式発電機であって、

前記制御部は、圧縮行程における発電負荷の積算値が、膨張行程における発電負荷の積算値よりも大きくなるべく、前記発電負荷を調整するフリーピストン式発電機。

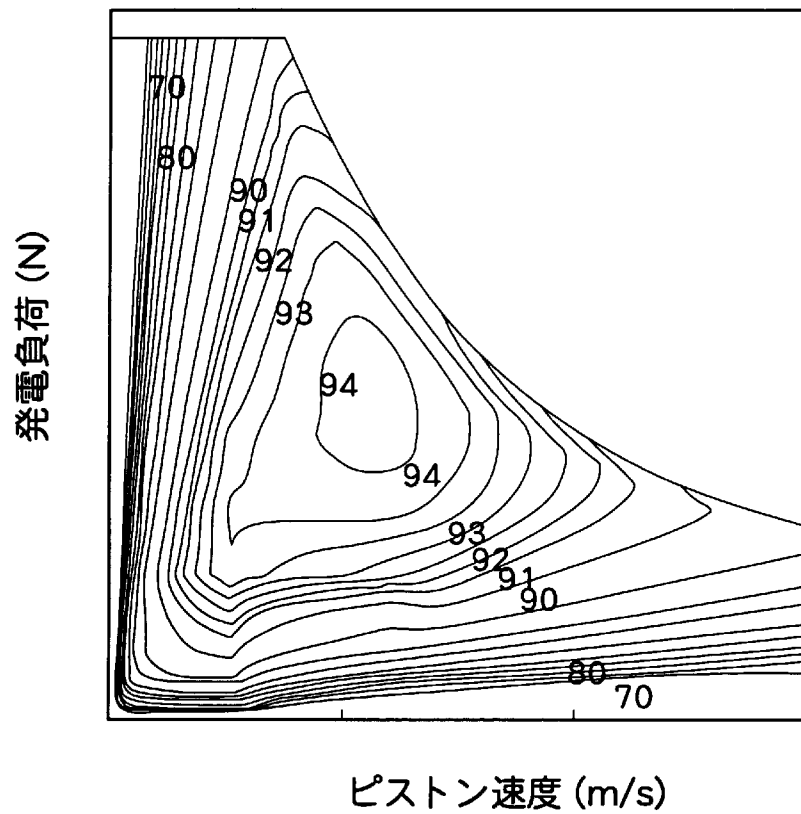
[図1]



[図2]



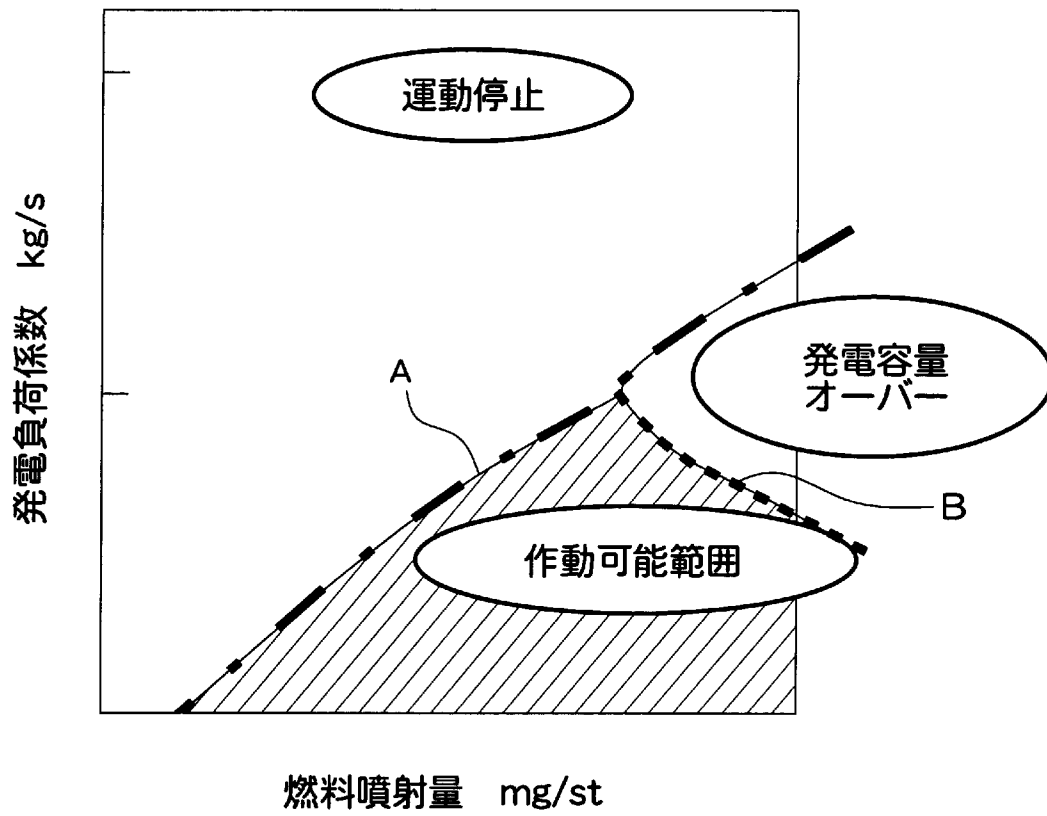
[図3]



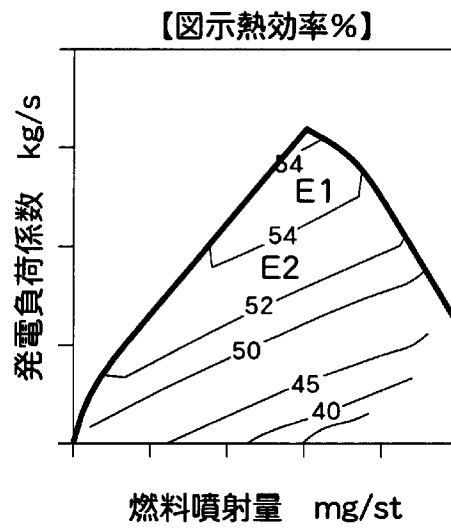
[図4]

計算モデル	圧縮着火過程：Multi-Step Shell モデル 燃焼室や空気室から壁への放熱：Woschni モデル
フリーピストン 機関寸法	ボア径：80mm 初期ストローク：100mm 掃気孔高さ：ストロークの約1/3(33mm) 空気室：外径=120mm, 内径=45mm 初期圧縮比：燃焼室=15.8、空気室3.96 ピストン重量：4kg 空気室最小圧力：0.1MPa

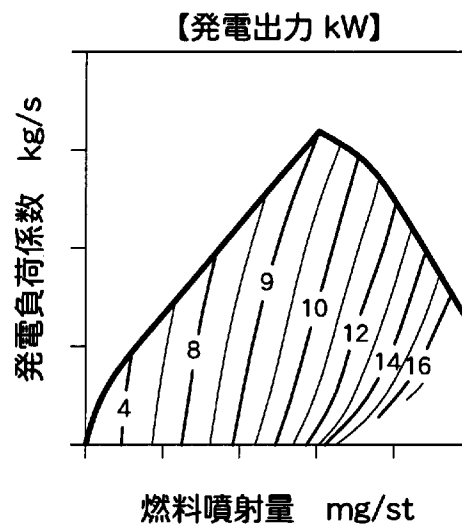
[図5]



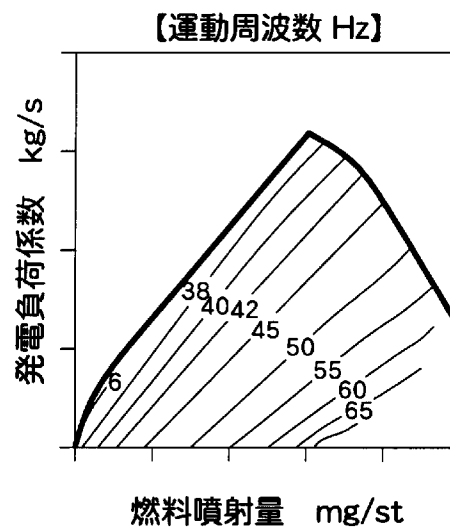
[図6A]



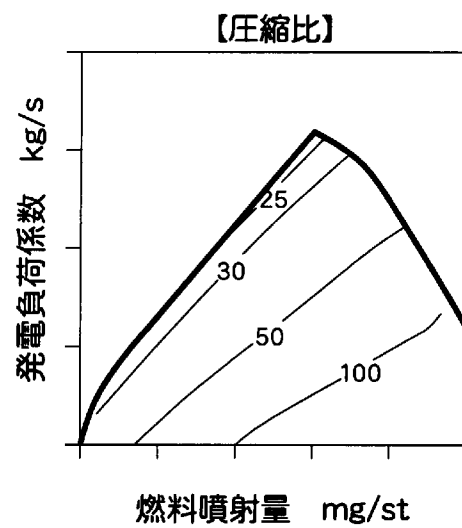
[図6B]



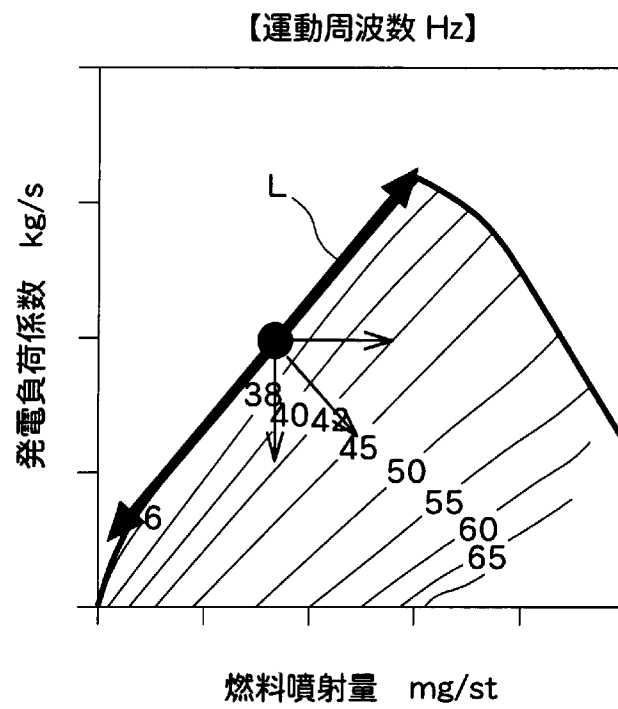
[図6C]



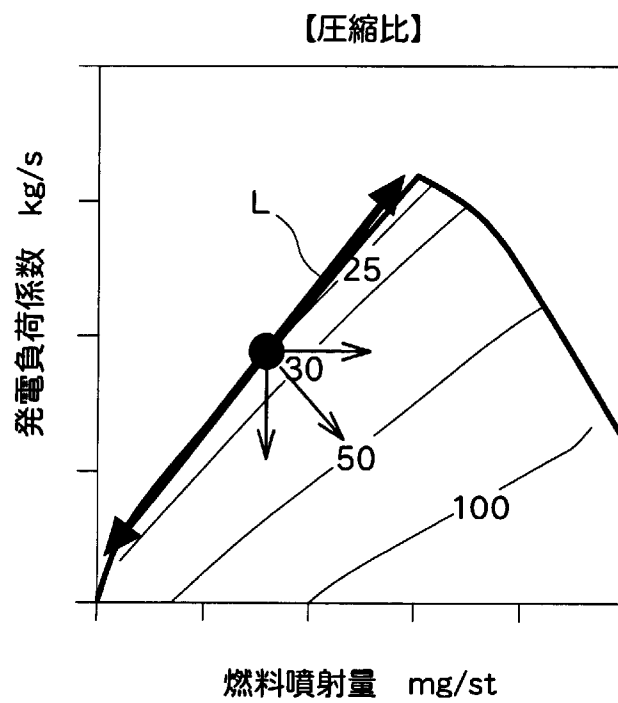
[図6D]



[図7A]



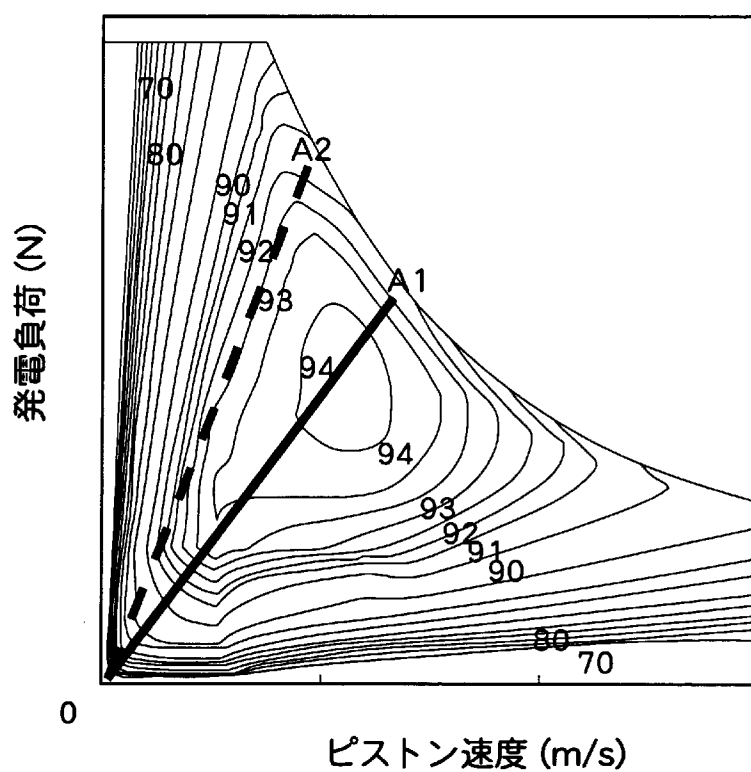
[図7B]



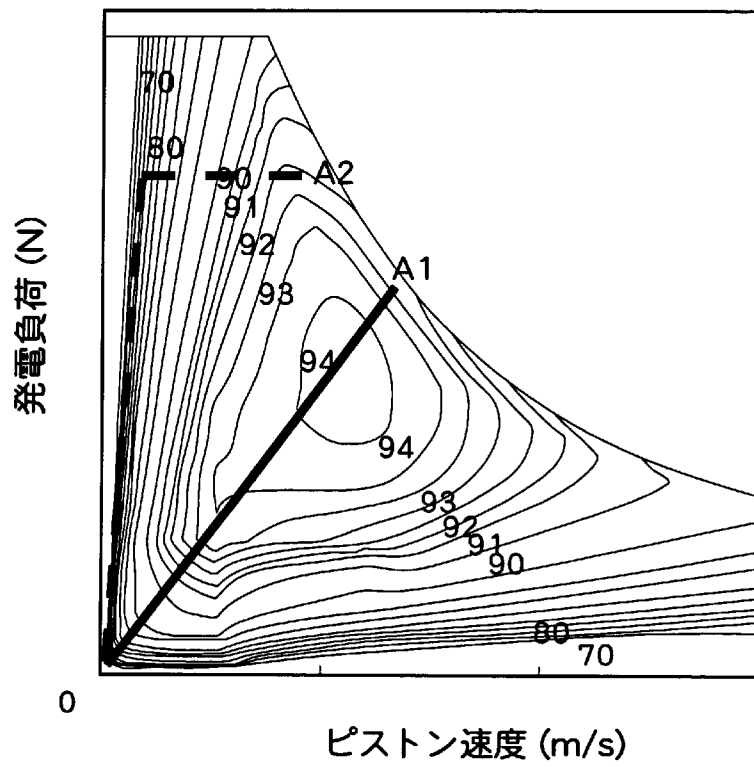
[図8]

	A 基準条件	B 空気バネ室 初期圧力 増加	C 燃焼室初期 圧力増加
燃焼室初期圧力 MPa	0.1	0.1	0.15
空気バネ室初期圧力 MPa	0.1	0.15	0.1
運動周波数 Hz	44.2	57.4	42.8

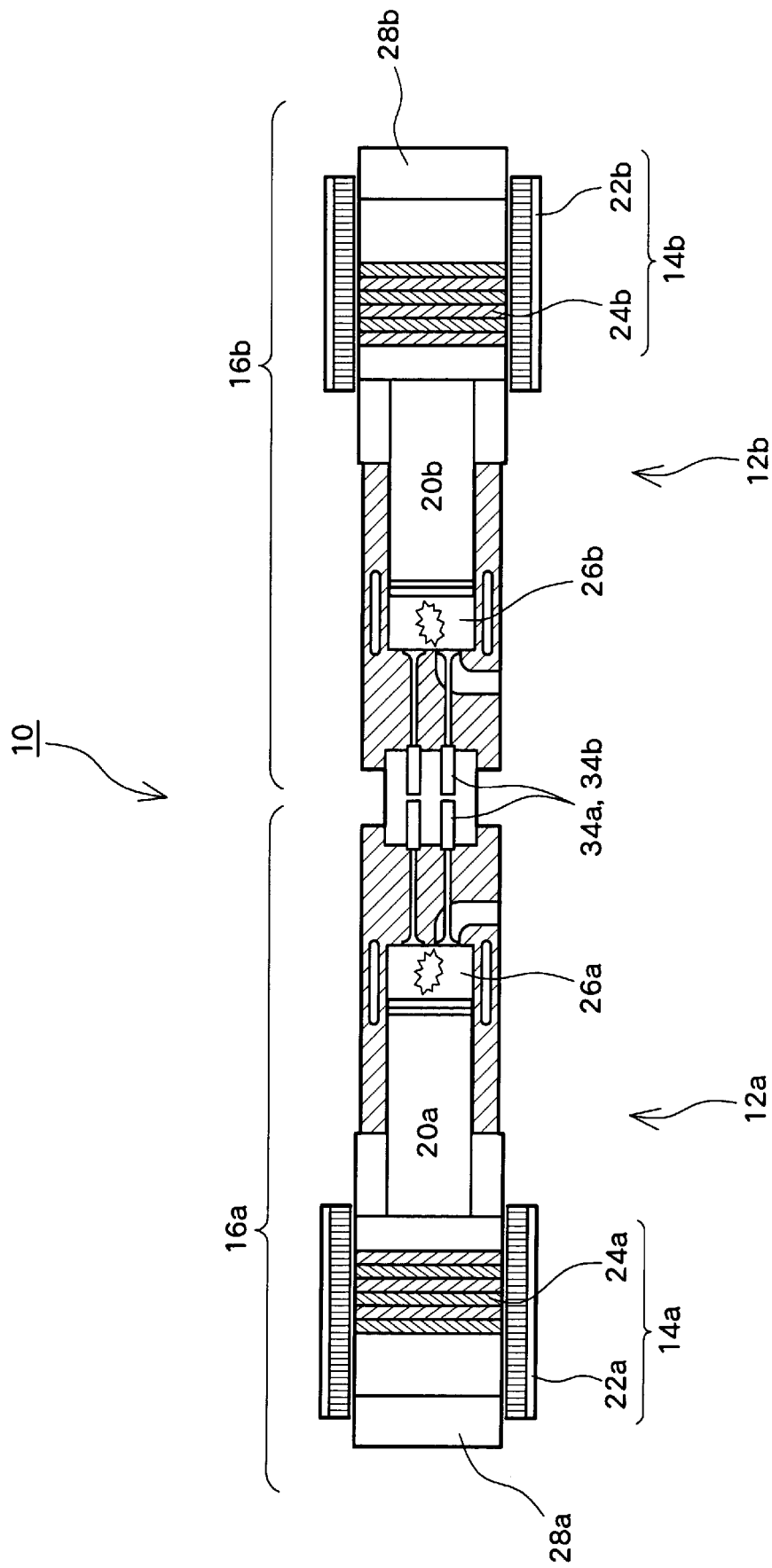
[図9]



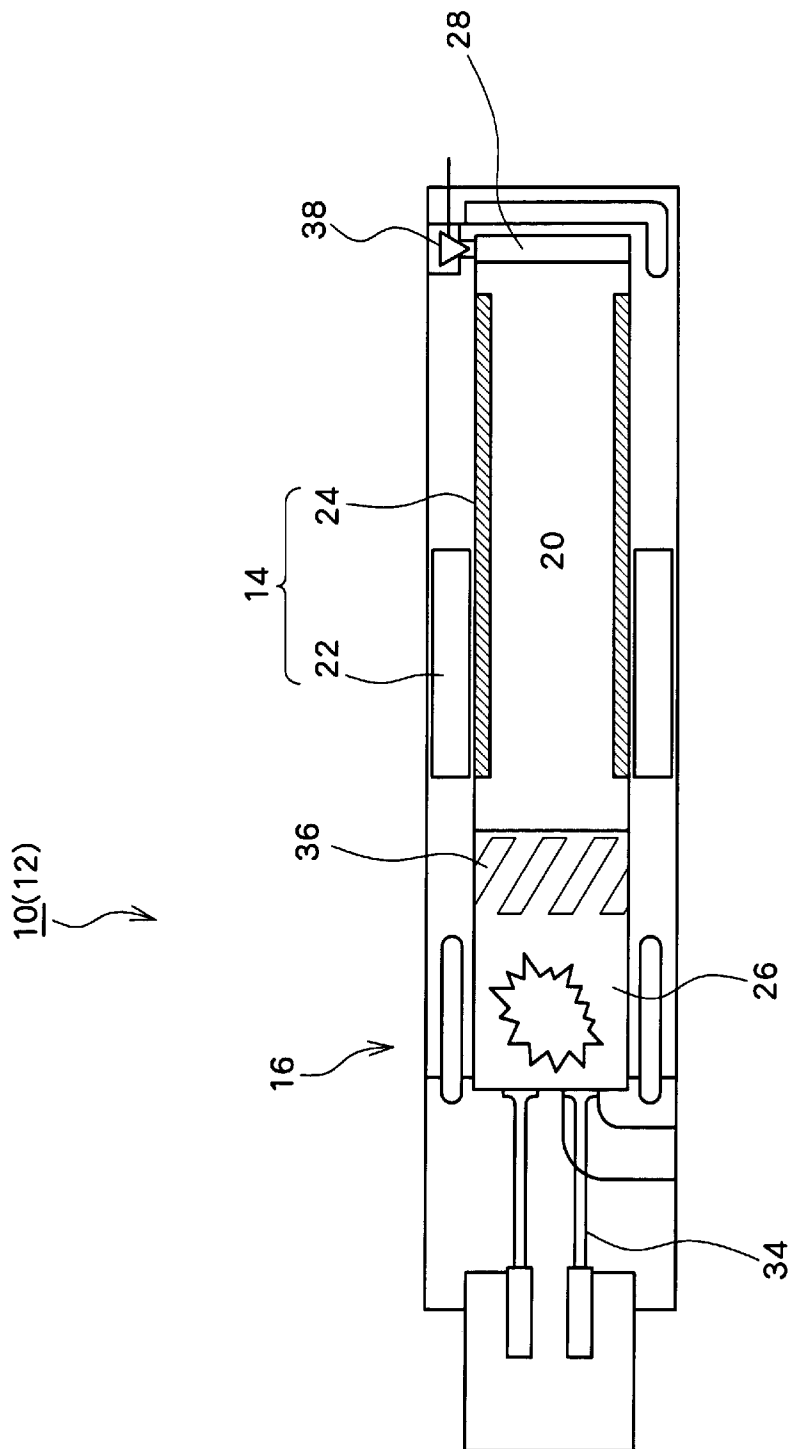
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/057629

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F02B71/04 (2006.01) i, F01B11/04 (2006.01) i, H02P9/04 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F02B71/04, F01B11/04, H02P9/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 10-501039 A (RIGAZZI, Pier, Andrea), 27 January 1998 (27.01.1998), page 18, line 7 to page 19, line 11; fig. 2 & US 5893343 A & EP 766781 A & WO 1995/033921 A1 & DE 69503637 C	1, 2 4, 6-8 3, 5, 9
X Y A	JP 2005-524016 A (Deutsches Zentrum fur Luft-und Raumfahrt e.v.), 11 August 2005 (11.08.2005), paragraph [0152]; fig. 1 to 6 & US 2005/0081804 A1 & EP 1497542 A & WO 2003/091556 A1 & DE 10219549 A	1, 2, 5 4, 6-8 3, 9

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
06 June, 2012 (06.06.12)

Date of mailing of the international search report
19 June, 2012 (19.06.12)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/057629

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2010-173630 A (General Electric Co.), 12 August 2010 (12.08.2010), paragraph [0024]; fig. 1, 2 & US 2010/0187031 A1 & EP 2213502 A2 & CN 101817342 A	1 6-8 2-5, 9
X Y A	JP 2009-216100 A (Volvo Technology Corp.), 24 September 2009 (24.09.2009), paragraphs [0037], [0038]; fig. 1 & US 2008/0036312 A1 & EP 1540155 A & WO 2004/025098 A1 & DE 60337015 D	1, 3, 5 6-8 2, 4, 9
X Y A	JP 2006-170071 A (Denso Corp.), 29 June 2006 (29.06.2006), fig. 1 to 4 & US 2006/0124083 A1	1-3 6-8 4, 5, 9
A	JP 2010-523883 A (Raytheon Sarcos, L.L.C.), 15 July 2010 (15.07.2010), paragraph [0055]; fig. 1 & EP 2145089 A & WO 2008/156897 A2 & CN 101680362 A	1-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/057629

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:
See extra sheet.

1. ☒ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☒ No protest accompanied the payment of additional search fees.

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet (2)

(Invention 1) Claims 1, 2: A free-piston electric generator, wherein the engine units are symmetrically disposed on the same axis, and the control means adjusts the motion frequency of a piston such that the drive phases of the two engine units match.

(Invention 2) Claim 3: A free-piston electric generator, wherein combustion is performed by a premixed compression ignition method, and the control means adjusts the compression ratio.

(Invention 3) Claim 4: A free-piston electric generator, wherein combustion is performed by a spark ignition method, and the control means reduces the compression ratio when knocking is detected.

(Invention 4) Claim 5: A free-piston electric generator, wherein the spring part is an air chamber, and the control means increases/decreases the amount of air in the air chamber.

(Invention 5) Claims 6-8: A free-piston electric generator, wherein an electric generation load factor that is a value obtained by dividing an electric generation load by a piston speed is used as an adjustment index.

(Invention 6) Claim 9: A free-piston electric generator, wherein an electric generation load is adjusted such that the integrated value of the electric generation load in a compression stroke is larger than that in an expansion stroke.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. F02B71/04(2006.01)i, F01B11/04(2006.01)i, H02P9/04(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. F02B71/04, F01B11/04, H02P9/04

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 2 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 2 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 2 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	JP 10-501039 A (リガッツィ、ピエール、アンドレア) 1998.01.27, 第 1 8 頁第 7 行~第 1 9 頁第 1 1 行及び図 2 & US 5893343 A & EP 766781 A & WO 1995/033921 A1 & DE 69503637 C	1、2 4、6~8 3、5、9
X Y A	JP 2005-524016 A (ドイチェス ツェントルム フュール ルフト ーウント ラウムファールト エー ファウ) 2005.08.11, 段落 1 5 2 及び図 1~6 & US 2005/0081804 A1 & EP 1497542 A & WO 2003/091556 A1 & DE 10219549 A	1、2、5 4、6~8 3、9

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 6 . 0 6 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

1 9 . 0 6 . 2 0 1 2

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官 (権限のある職員)

石黒 雄一

3 T

4 0 1 9

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 9 5

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	JP 2010-173630 A (ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ) 2010.08.12, 段落 2 4 及び図 1、2 & US 2010/0187031 A1 & EP 2213502 A2 & CN 101817342 A	1 6 ~ 8 2 ~ 5、9
X Y A	JP 2009-216100 A (ボルボ テクノロジー コーポレイション) 2009.09.24, 段落 3 7、3 8 及び図 1 & US 2008/0036312 A1 & EP 1540155 A & WO 2004/025098 A1 & DE 60337015 D	1、3、5 6 ~ 8 2、4、9
X Y A	JP 2006-170071 A (株式会社デンソー) 2006.06.29, 図 1 ~ 4 & US 2006/0124083 A1	1 ~ 3 6 ~ 8 4、5、9
A	JP 2010-523883 A (レイセオン・サルコス・エルエルシー) 2010.07.15, 段落 5 5 及び図 1 & EP 2145089 A & WO 2008/156897 A2 & CN 101680362 A	1 ~ 9

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（P C T 17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☐ 請求項 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってP C T 規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。
特別ページ参照。

1. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☒ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。

(発明1) 請求項1、2: エンジンユニットが同軸上に対称に並べられ、制御手段は二つのエンジンユニットの駆動位相を一致させるべくピストンの運動周波数を調整するフリーピストン式発電機。

(発明2) 請求項3: 予混合圧縮時着火方式であり、制御手段は圧縮比を調整するフリーピストン式発電機。

(発明3) 請求項4: 火花点火方式であり、制御手段はノッキングが検知された場合圧縮比を低下させるフリーピストン式発電機。

(発明4) 請求項5: バネ部が空気室であり、制御手段は空気室内の空気量を増減するフリーピストン式発電機。

(発明5) 請求項6～8: 発電負荷をピストン速度で割った値である発電負荷係数を調整指標として用いるフリーピストン式発電機。

(発明6) 請求項9: 圧縮行程における発電負荷の積算値が膨張行程のときよりも大きくなるべく発電負荷を調整するフリーピストン式発電機。