

(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2005-61330

(P2005-61330A)

(43) 公開日 平成17年3月10日(2005.3.10)

(51) Int. Cl.⁷

F02G 1/053

F02G 1/043

F I

F02G 1/053

F02G 1/043

テーマコード(参考)

Z

B

審査請求有 請求項の数4 O L (全9頁)

| | | | |
|-----------|------------------------------|----------|----------------------------------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2003-293342 (P2003-293342) | (71) 出願人 | 501137577 独立行政法人航空宇宙技術研究所 東京都調布市深大寺東町7丁目4番地1 |
| (22) 出願日 | 平成15年8月14日(2003.8.14) | (71) 出願人 | 301010892 百瀬機械設計株式会社 愛知県安城市二本木新町1丁目16番地9 |
| | | (74) 代理人 | 100092200 弁理士 大城 重信 |
| | | (74) 代理人 | 100110515 弁理士 山田 益男 |
| | | (74) 代理人 | 100108567 弁理士 加藤 雅夫 |
| | | (74) 代理人 | 100084607 弁理士 佐藤 文男 |

最終頁に続く

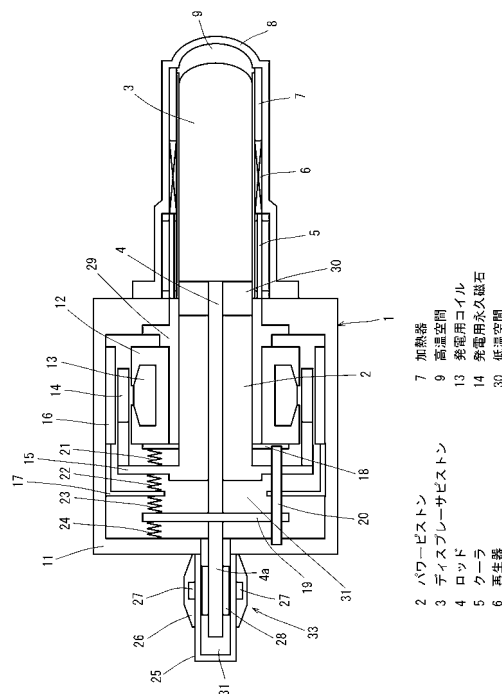
(54) 【発明の名称】 フリーピストン型スターリングエンジン

(57) 【要約】

【課題】 高価なフレクシャースプリングを使用せず安価でより高効率・高出力のフリーピストン型スターリングエンジン発電機を得る。

【解決手段】 パワーピストン2およびロッド4等の軸受け面にDLCコーティングによる表面硬化処理を施し、往復動摺動損失を減少させると共に軸受け精度を上げることで、高価なフレクシャースプリングを使用せず、安価なコイルスプリングを使用することが可能となり、更に、ディスプレイサロッド4a端に小型のモータ及び発電機として機能するディスプレイサコントローラ33を設けたことで、エンジンの始動が容易になるばかりでなく、いかなる運転状態においてもパワーピストン2とディスプレイサピストン3の位相を最適に保つ制御が可能となり、且つ安定運転時には前記小型発電機としてメインの発電出力に加えることが可能となり、エンジンの効率及び出力を高く維持することができる。

【選択図】 図1



7 加熱器
9 高温空間
13 発電用コイル
14 発電用永久磁石
30 低温空間
2 パワーピストン
3 ディスプレーサピストン
4 ロッド
5 クラ
6 再生器

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

高温空間と低温空間の作動ガスを複数個の熱交換器を介して周期的に移動せしめるディスプレイサピストン、該ディスプレイサピストンに固定されて軸方向に伸びたロッド、該ロッドと同心軸上に配置され前記低温空間側の圧力を受けて軸方向に往復動するパワーピストン、該パワーピストンに一体に結合され軸方向に往復動される可動部を有するスターリングエンジンにおいて、少なくとも前記ロッドと前記パワーピストンの摺動部の一方及び又は該パワーピストンとスリーブの摺動部の一方を表面硬化処理し、かつ前記ロッドに一体に結合されたロッド可動部材と前記パワーピストンに一体に結合された可動部材および軸方向中間に位置しケースに固定された中間固定部材のそれぞれの間、複数個のコイルスプリングを円周上に配置してなることを特徴とするフリーピストン型スターリングエンジン。

10

【請求項 2】

前記フリーピストン型スターリングエンジンは、前記パワーピストンに一体に結合され軸方向に往復動される可動部に発電用永久磁石を有し、かつ該発電用永久磁石と対向する固定部に配置された発電用コイルを有して該発電用コイルと前記発電用永久磁石によりリニア発電部を構成するスターリングエンジン発電機である請求項 1 に記載のフリーピストン型スターリングエンジン。

【請求項 3】

前記ロッドの延長軸端に一体にコントローラ用永久磁石を結合して設け、該コントローラ用永久磁石をカバーで密閉的に囲い、該カバーの外周部にコントローラ用コイルが配置されたヨークを嵌合して構成されてなるディスプレイサコントローラを有することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のフリーピストン型スターリングエンジン。

20

【請求項 4】

前記ディスプレイサコントローラは、前記パワーピストンが往復動する稼働中は、前記ロッドに一体のコントローラ用永久磁石の往復動により、前記コントローラ用コイルに電流が発生することで、前記リニア発電部に付加して電力を発生させることを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載のフリーピストン型スターリングエンジン。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0001】

本発明は、フリーピストン型スターリングエンジン、特にフリーピストン型スターリングエンジンで一体的に駆動されるリニア型発電機として好適なフリーピストン型スターリングエンジンに関する。

【背景技術】

【0002】

従来フリーピストン型スターリングエンジンは、一般的には図 3 に示すように、高温空間 40 と低温空間 41 の作動ガスを複数個の熱交換器を介して周期的に移動せしめるディスプレイサピストン 42、該ディスプレイサピストンに固定されて軸方向に伸びたロッド 43、該ロッドと同心軸上に配置され、前記低温空間側の圧力を受けて軸方向に往復動するパワーピストン 44、該パワーピストンに一体に結合され軸方向に往復動される可動部 45 からなり、フリーピストン型スターリングエンジン発電機の場合は、可動部に発電用永久磁石 46 を有し、固定部の内ヨーク 47 に発電用コイル 48 を設けてリニア発電部を構成している。このように構成されたフリーピストン型スターリングエンジン（以下、単にスターリングエンジンという）において、従来ロッド 43 とパワーピストン 44 の摺動部の一方、及び該パワーピストン 44 と内ヨーク 47 との摺動部の一方に、例えばテフロン（登録商標）等の無潤滑樹脂製軸受 50 を用いているが、磨耗が大きく半径方向のクリアランスが大きくなりがちで、半径方向の精度が維持できない欠点がある。このため、ディスプレイサピストンおよびパワーピストンのそれぞれのセンターリングを精度高く維持するために、センターリングと軸方向の往復動弾性荷重を与えることの可能な図 3 に示すよ

40

50

うなフレクシャースプリングと言われる複数個の特殊円板状の板バネ 5 1 を各ピストンの片側(図 3)または両側(図 4)に配置しているのが一般的である。

【0003】

しかも、このような無潤滑樹脂製軸受は、摩擦係数が 0.2 と大きく摩擦損失が大きくなり、発電効率と出力の低下を招くという欠点がある。また、前記フレクシャースプリングはさまざまな形状のものが提案されている(例えば特許文献 1、2 参照)が、殆どのものは変位が大きくなると応力が高くなるため、±10mm 以下の低変位のものにしか対応できない、及び形状が複雑で必要精度が高いため製造が困難である等の問題点がある。また、複数のフレクシャースプリングの組みつけ精度も要求されるので、製造組み付けコストがかかるという欠点があった。

10

【0004】

スターリングエンジンでは、エンジンの効率・出力を高く維持するために、ディスプレイサピストンとパワーピストンの軸方向の動きの位相差をある最適値に維持する必要がある。一般のスターリングエンジンでは、ディスプレイサピストンとパワーピストンが、カムやクランクなどによって機械的に接合されており、常に位相差は一定値に維持される。本件のような、ディスプレイサピストンとパワーピストンが機械的に連結されていないフリーピストンスターリングエンジンでは、両ピストンの位相差を一定に保つことは困難であり、位相差を維持するために、ロッド 4 3 とパワーピストン 4 4 間に特別なガススプリングを形成することが、一般に行われている。しかし、あるワンプointの運転条件でのみしか、最適な位相差を維持できず、運転条件が少しでも変わると効率・出力を悪化させる方向に位相差が変化するのはやむを得ないことである。

20

【特許文献 1】特開平 11-2470 号公報

【特許文献 2】特開平 11-2469 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本発明は、上記のようなフリーピストン型スターリングエンジンにおいて、パワーピストンとスリーブ間およびパワーピストンとロッド間の摺動に伴う機械損失を軽減し、フレクシャースプリングという複雑で精度の高い高価なスプリングを使用しないで、低コストでディスプレイサピストン及びパワーピストンのセンターリング精度を高く維持でき、かつどのような運転条件下でもディスプレイサピストンとパワーピストンの軸方向動きの位相差を最適に保ち、エンジンの効率及び出力を高く維持することができるフリーピストン型スターリングエンジン及びフリーピストン型スターリングエンジン発電機を提供することを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記課題を本発明のフリーピストン型スターリングエンジンは、高温空間と低温空間の作動ガスを複数個の熱交換器を介して周期的に移動せしめるディスプレイサピストン、該ディスプレイサピストンに固定されて軸方向に伸びたロッド、該ロッドと同心軸上に配置され前記低温空間側の圧力を受けて軸方向に往復動するパワーピストン、該パワーピストンに一体に結合され軸方向に往復動される可動部を有するスターリングエンジンにおいて、少なくとも前記ロッドと前記パワーピストンの摺動部の一方及び又は該パワーピストンとスリーブの摺動部の一方を DLC(ダイヤモンドライクカーボン)コーティング等の表面硬化処理し、かつ前記ロッドに一体に結合されたロッド可動部材と前記パワーピストンに一体に結合された可動部材および軸方向中間に位置しケースに固定された中間固定部材のそれぞれの間、複数個のコイルスプリングを円周上に配置してなることを特徴とするものである。

40

【0007】

前記スターリングエンジンは、前記パワーピストンに一体に結合され軸方向に往復動される可動部に発電用永久磁石を有し、かつ該発電用永久磁石と対向する固定部に配置され

50

た発電用コイルを有して該発電用コイルと前記発電用永久磁石によりリニア発電部を構成することによってスターリングエンジン発電機となる。そして、前記ロッドの延長軸端に一体にコントローラ用永久磁石を結合して設け、該コントローラ用永久磁石をカバーで密閉的に囲い、該カバーの外周部にコントローラ用コイルが配置されたヨークを嵌合して構成されてなるディスプレイサコントローラを有することによって、ディスプレイサを任意にコントロールでき、負荷によって変化する位相差、ストローク、出力をコントロールすることが可能となる。また、前記ディスプレイサコントローラは、前記パワーピストンが往復動する稼働中は、前記ロッドに一体のコントローラ用永久磁石の往復動により、前記コントローラ用コイルに電流が発生することで、前記リニア発電部に付加して電力を発生させることができ、より効率良く発電できる。

10

【発明の効果】**【0008】**

パワーピストンおよびロッド等の軸受け面にDLCコーティング等の表面硬化処理を施すことによって、往復動摺動損失が減少して効率向上につながると共に軸受け精度、耐摩耗性を上げることができ、高価なフレクシャースプリングを使用せず、安価なコイルスプリングを使用することが可能となる。更に、ディスプレイサロッド端に小型のモータ兼発電機となるディスプレイサコントローラを設けることで、エンジンの始動が容易になるばかりでなく、いかなる運転状態においてもパワーピストンとディスプレイサピストンの位相を最適に保つ制御が可能となり、且つ、安定運転時には小型発電機としてメインの発電出力に加えることが可能となる。これにより、安価で高効率・高出力フリーピストン型スターリングエンジン発電機を提供することが可能となった。

20

【発明を実施するための最良の形態】**【0009】**

ディスプレイサピストンに固定されたロッドおよびパワーピストンの摺動部の一方ならびに該パワーピストンとスリーブの摺動部の一方をDLCコーティングのような表面硬化処理をすることで、精度が高く、摩擦損失の少ないセンターリングを確保することができる。これにより、フレクシャースプリングのようなセンターリング機能を有する高価なスプリングを使用せず、ロッドに一体に結合されたロッド可動部材とパワーピストンに一体に結合された可動部材および軸方向中間に位置し、ケースに固定された中間固定部材のそれぞれの間複数個の単純なコイルスプリングを円周上に配置し、それぞれに可動部材が軸方向には往復動するが、円周方向に回転するのを防ぐスライドピンを配置するだけでエアギャップの少ない高精度で、且つ、機械損失の少ないフリーピストンスターリング発電機を得ることができる。

30

【0010】

また、前記ロッドの延長軸端に一体にコントローラ用永久磁石を結合して設け、該コントローラ用永久磁石をカバーで密閉的に囲い、該カバーの外周部にコントローラ用コイルが配置されたヨークを嵌合することによって、ディスプレイサコントローラを構成し、該コイルに電流を投入した時には前記ロッドおよび該ロッドに一体のディスプレイサピストンを軸方向に強制的に可動せしめ、該ディスプレイサピストンに対する前記パワーピストンの変位に最適な位相を与えスターリングエンジンの出力・効率を高めることができる。また、前記パワーピストンが往復動して安定して仕事をしている時には、前記ロッドおよび該ロッドに一体のディスプレイサピストンが、逆に、軸方向に駆動される。結果、前記ロッドに一体の永久磁石の往復動により、カバー外周のヨーク内のコイルに電流が発生することで、主のリニア発電にプラスで電力を発生させることができる高出力なスターリングエンジン発電機を得ることができる。

40

【実施例】**【0011】**

以下、図面に基づいて本発明の実施例を詳細に説明する。図1は本発明のフリーピストン型スターリングエンジンをフリーピストン型スターリングエンジン発電機に適用した実施例を示す断面図である。

50

フリーピストン型スターリングエンジン発電機本体 1 はスターリングエンジン部とリニア型発電機部が一体に構成されたものである。スターリングエンジン部は、高温空間 9 と低温空間 30 に存在する作動ガス(一般的にはヘリウムガス等の熱伝導性が高く、流動損失が少ないガスが使用される)を、クーラ 5 と再生器 6 および加熱器 7 等の熱交換器を介して周期的に移動せしめるディスプレイサピストン 3、該ディスプレイサピストン 3 に固定され軸方向に伸びたロッド 4、該ロッド 4 と同心軸上に配置され、前記低温空間 30 側の圧力を受けて軸方向に往復動するパワーピストン 2 から構成されている。一方、リニア型発電機部は、パワーピストン 2 に一体に結合され軸方向に往復動する発電用永久磁石 14 を有する可動部 15、発電用永久磁石 14 の外周位置に配置された外ヨーク 16、発電用永久磁石 14 の内周側に配置され発電用コイル 13 を有する内ヨーク 12 とから構成され、パワーピストン 2 の往復動に伴う発電用永久磁石 14 の往復動で発電用コイル 13 に電流が流れて発電する。

10

【0012】

パワーピストン 2 は、その外周に位置するスリーブ 29 に軸方向摺動可能に嵌合しており、どちらか一方の摺動面に例えば DLC コーティングによって表面硬化処理がなされている。また、パワーピストン 2 の軸心部にはロッド 4 が軸方向摺動可能に嵌合しており、どちらか一方の摺動面に同様に DLC コーティングにより表面硬化処理がなされている。それぞれの嵌合のクリアランスは径で数ミクロン～数十ミクロン単位で精密に嵌合している。表面硬化処理は、表面硬度、耐磨耗性、低摩擦係数に優れているものであれば、DLC コーティングに限定されるものでなく任意の表面硬化処理方法が採用可能であるが、DLC コーティングを採用することによって、容易に表面硬度を 2000 Hv 以上と高く維持し、耐磨耗性を向上させるだけでなく摺動摩擦係数を 0.05 まで極端に減少させる効果がある。従って、パワーピストン 2 およびロッド 4 に連結するディスプレイサピストン 3 を正確にセンターリングしながら摩擦損失の少ない状態で往復摺動させることができる。

20

【0013】

このように本実施例によれば、パワーピストン 2 とロッド 3 のセンターリングが高精度でなされるため、前述のようにセンターリングの機能を有する高価なフレクシャースプリングを用いる必要がない。このため、本発明では、ロッド 4 に一体に結合された可動部材 19、パワーピストン 2 に一体に結合された可動部材 15、および軸方向中間に位置しケースに固定された中間固定部材 17 のそれぞれの間複数個の単純なコイルスプリング 21, 22, 23, 24 を円周上に複数個配置し、それぞれに可動部材 15、19 が軸方向には往復動するが、円周方向に回転するのを防ぐスライドピン 20 を配置するだけでエアギャップの少ない高精度なリニア発電機が構成できる。

30

【0014】

また、本発明では、負荷によって変化するディスプレイサピストンの位相差、ストローク、出力をコントロールする手段として、小型発電機、また電力を加えればリニアアクチュエータ(モータ)として働くディスプレイサコントローラ 33 を設けてある。該ディスプレイサコントローラ 33 は、ディスプレイサピストン 3 と一体に連結されたロッド 4 の延長軸端 4a に一体にコントローラ用永久磁石 28 を結合して設け、該コントローラ用永久磁石 28 をガススプリング 31 を形成する磁性材料であるカバー 25 で密閉的に囲い、該カバー 25 の外周に内径側に配置されたコントローラ用コイル 27 が配置されたヨーク 26 を嵌合して構成されている。したがって、コントローラ用コイル 27 に電流を投入した時には、ロッド 4 および該ロッド 4 に一体のディスプレイサピストン 3 を軸方向に強制的に可動せしめるリニアアクチュエータとして作用し、該ディスプレイサピストン 3 に対する前記パワーピストン 2 の変位に最適な位相を与えるように作用する。また、安定作動時には、ロッド 4 の往復動により発電機として機能し、出力を取出すことができる。

40

【0015】

また、ディスプレイサコントローラ 33 は、もともと発電機なので、外部から電流を加えなくても、コイルに電流が流れる。そのため、例えば図 2 に示すように、内部等価回路

50

34 に対して外部回路 35 として可変抵抗 R_L 、コイル L_L などを取り付けてこれらの値を調整することにより、外部から入力を必要とせずにコントロールできる。その場合の運動方程式は、数 1 の通りとなる。

【数 1】

$$m_d \ddot{x}_d + c_d \dot{x}_d + k_d x_d + k_G i = A_r \frac{dP}{2} \cos(\omega t)$$

$$L \frac{di}{dt} + Ri = k_G \dot{x}_d \quad R = R_0 + R_L \quad L = L_0 + L_L$$

10

但し、

- m_d : ディスプレーサ質量
- c_d : ディスプレーサ減衰係数
- k_d : ディスプレーサバネ定数
- k_G : ディスプレーサコントローラ推力定数
- i : ディスプレーサコントローラの電流
- L_0 : ディスプレーサコントローラ内部インダクタンス
- R_0 : ディスプレーサコントローラ内部抵抗
- dP : 動作空間圧力変化 $P_{max} - P_{min}$
- A_r : ディスプレーサロッドの断面積
- L_L : 外部インダクタンス
- R_L : 外部抵抗

20

ここで、回転数が一定の場合を考えると、 C_e と k_e は数 2 の通りにおくことができる。

【数 2】

$$c_e = \frac{Rk_G^2}{R^2 + (\omega L)^2} \quad k_e = \frac{\omega^2 Lk_G^2}{R^2 + (\omega L)^2}$$

30

よって、数 1 の運動方程式は、数 3 のとおりとなる。

【数 3】

$$m_d \ddot{x}_d + (c_d + c_e) \dot{x}_d + (k_d + k_e) x_d = \frac{dP}{2} A_r \cos(\omega t)$$

【0016】

したがって、上記運動方程式より、外部抵抗 R_L や外部インダクタンス L_L の値を変えると、運動方程式中のバネ定数や減衰定数が変化し、ディスプレーサの共振周波数、外力からの位相遅れ、変位量などを変化させることができる。よって、外部から電流を入れることなく、ディスプレーサピストンの運転を制御できる。例えば、単純な例として、パワーピストンのリニア発電機が断線した場合、負荷が 0 となるため暴走する。そのとき、ディスプレーサコントローラを $R_L = 0$ 、 $L_L = 0$ 、即ちショートさせると、ディスプレーサピストンの見かけ上のバネ定数が増加し、停止する。その結果エンジンが停止する。

40

【産業上の利用可能性】

【0017】

本発明のフリーピストン型スターリングエンジンは、その出力形態により大型・小型を問わず種々の分野で利用可能であり、リニア型の発電機に限らず、圧縮機、その他の回転

50

機関や直動機関として利用できる。また、宇宙での大要エネルギーを利用した場合、太陽電池よりも高効率の発電機として利用可能である。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】本発明の実施例の一つでフリーピストン型スターリングエンジン発電機の断面である。フリーピストン型スターリングエンジン発電機の例を示す。

【図2】ディスプレイサコントローラの回路図の一例である。

【図3】従来のフリーピストン型スターリングエンジン発電機の断面図である。

【図4】従来のフリーピストン型スターリングエンジン発電機におけるフレクシャースプリングの形態を示す概略図である。

10

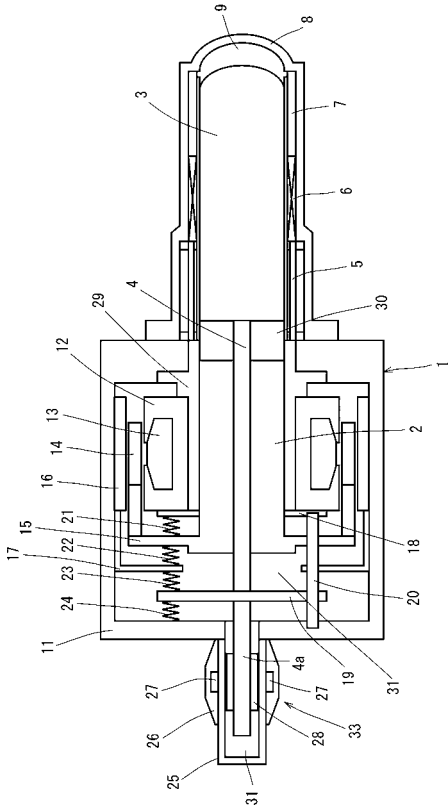
【符号の説明】

【0019】

- | | | | |
|-----|-------------------------|-----------------|-------------|
| 1 | フリーピストン型スターリングエンジン発電機本体 | 3 | ディスプレイサピストン |
| 2 | パワーピストン | 4 a | ロッド延長軸 |
| 4 | ロッド | 6 | 再生器 |
| 5 | クーラ | 9 | 高温空間 |
| 7 | 加熱器 | 1 3 | 発電用コイル |
| 1 2 | 内ヨーク | 1 5 | 可動部 |
| 1 4 | 発電用永久磁石 | 1 9 | 可動部材 |
| 1 7 | 中間固定部材 | 2 1、2 2、2 3、2 4 | コイルスプリング |
| 2 0 | スライドピン | 2 7 | コントローラ用コイル |
| 2 5 | カバー | 2 9 | スリーブ |
| 2 8 | コントローラ用永久磁石 | 3 1 | ガススプリング |
| 3 0 | 低温空間 | 3 4 | 内部等価回路 |
| 3 3 | ディスプレイサコントローラ | | |
| 3 5 | 外部回路 | | |

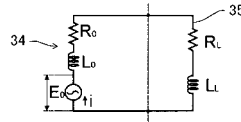
20

【 図 1 】

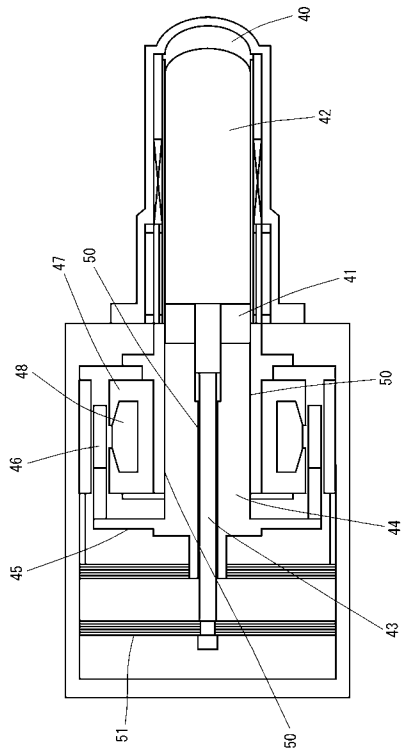


- 7 加熱器
- 9 高温空間
- 13 発電用コイル
- 14 発電用永久磁石
- 30 低温空間
- 2 パワーピストン
- 3 ディスプレサピストン
- 4 ロッド
- 5 クーラ
- 6 再生器

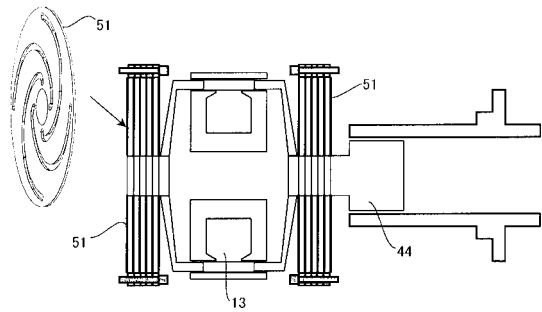
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



フロントページの続き

- (72)発明者 星野 健
東京都調布市深大寺東町7 - 4 4 - 1 独立行政法人 航空宇宙技術研究所内
- (72)発明者 百瀬 豊
愛知県安城市二本木新町1丁目16番地9 百瀬機械設計株式会社内