

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7181007号

(P7181007)

(45)発行日 令和4年11月30日(2022.11.30)

(24)登録日 令和4年11月21日(2022.11.21)

(51)国際特許分類

F 0 2 G

1/043(2006.01)

F I

F 0 2 G

1/043

B

請求項の数 15 外国語出願 (全22頁)

(21)出願番号	特願2018-107377(P2018-107377)	(73)特許権者	500520743 ザ・ボーイング・カンパニー The Boeing Company アメリカ合衆国、60606-1596 イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサ イド・プラザ、100
(22)出願日	平成30年6月5日(2018.6.5)	(74)代理人	110002077 園田・小林弁理士法人
(65)公開番号	特開2019-31965(P2019-31965A)	(72)発明者	ハル、ジョン・アール・ アメリカ合衆国 イリノイ 60606- 1596、シカゴ、ノース リバーサ イド プラザ 100、ザ ボーイング カンパニー
(43)公開日	平成31年2月28日(2019.2.28)	審査官	高吉 統久
審査請求日	令和3年6月1日(2021.6.1)		
(31)優先権主張番号	15/617,335		
(32)優先日	平成29年6月8日(2017.6.8)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 電磁駆動ピストンを有する回転機

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

回転機(10)であって、

周縁(148)を画定する固定子(18)、

第1の磁石パターンで前記固定子(18)の前記周縁(148)の周りに配置された複数の第1の離散磁石(160、162)からなる複数の第1の磁石アレイ(67A、67B、68A、68B)、

回転軸の周りで回転可能であり、本体(36)を画定する回転子(20)であって、前記本体(36)が、第1の通路(32)を画定する、回転子(20)、及び

複数の第1の磁気素子(150、152)を含む第1のピストン(26)であって、前記第1のピストン(26)及び前記回転子(20)の前記第1の通路(32)がピストン-シリンダアッセンブリを画定し、前記複数の第1の離散磁石(160、162)が、前記第1の磁石パターンで配置され、前記第1のピストン(26)の前記第1の磁気素子(150、152)と相互作用するように位置付けされ、前記回転子(20)が前記回転軸の周りを回転する時に第1の磁力を生成し、前記第1の磁力が、前記回転子(20)の前記第1の通路(32)内で前記第1のピストン(26)を駆動させるのに必要な第1の量の力を表す、第1のピストン(26)

を備えている回転機(10)。

【請求項2】

回転機(10)であって、

10

20

周縁（１４８）を画定する固定子（１８）、

第１の磁石パターンで前記固定子（１８）の前記周縁（１４８）の周りに配置された複数の第１の離散磁石（１６０、１６２）からなる複数の第１の磁石アレイ（６７Ａ、６７Ｂ、６８Ａ、６８Ｂ）、

回転軸の周りで回転可能であり、本体（３６）を画定する回転子（２０）であって、前記本体（３６）が、第１の通路（３２）を画定する、回転子（２０）、

複数の第１の磁気素子（１５０、１５２）を含む第１のピストン（２６）であって、前記第１のピストン（２６）が、前記回転子（２０）の前記第１の通路（３２）内で駆動され、前記複数の第１の離散磁石（１６０、１６２）が、前記第１の磁石パターンで配置され、前記第１のピストン（２６）の前記第１の磁気素子（１５０、１５２）と相互作用するように位置付けられ、前記回転子（２０）が前記回転軸の周りを回転する時に第１の磁力を生成し、前記第１の磁力が、前記回転子（２０）の前記第１の通路（３２）内で前記第１のピストン（２６）を駆動させるのに必要な第１の量の力を表す、第１のピストン（２６）、及び

10

複数の第２の磁気素子（１５０、１５２）を含む第２のピストン（３０）であって、前記第２のピストン（３０）が、前記回転子（２０）の前記本体（３６）によって画定された第２の通路（３４）内で駆動され、前記固定子（１８）が、複数の第２の離散磁石（１６４、１６６）からなる複数の第２の磁石アレイ（６５Ａ、６５Ｂ、６６Ａ、６６Ｂ）を含む、第２のピストン（３０）
を備えている回転機（１０）。

20

【請求項３】

前記複数の第２の離散磁石（１６４、１６６）が、前記第２のピストン（３０）の前記第２の磁気素子（１５０、１５２）と相互作用するように位置付けられ、前記回転子が前記回転軸の周りを回転する時に第２の磁力を生成し、前記第２の磁力が、前記回転子（２０）の前記第２の通路（３４）内で前記第２のピストン（３０）を駆動させるのに必要な第２の量の力を表す、請求項２に記載の回転機（１０）。

【請求項４】

前記複数の第１の離散磁石（１６０、１６２）が、前記第１のピストン（２６）の前記第１の磁気素子（１５０、１５２）によって画定された磁化の第２の方向とは反対の磁化の第１の方向を画定する、請求項１から３のいずれか一項に記載の回転機（１０）。

30

【請求項５】

前記複数の第１の離散磁石（１６０、１６２）が、強磁性バー（１６７、１６８）を含み、前記第１のピストン（２６）の前記第１の磁気素子（１５０、１５２）が、永久磁石である、請求項１から４のいずれか一項に記載の回転機（１０）。

【請求項６】

前記複数の第１の離散磁石（１６０、１６２）が、永久磁石であり、前記第１のピストン（２６）の前記第１の磁気素子（１５０、１５２）が、強磁性バー（２５０、２５２）である、請求項１から５のいずれか一項に記載の回転機（１０）。

【請求項７】

前記回転機（１０）が、動作の４段階を含むスターリングエンジンである、請求項１から６のいずれか一項に記載の回転機（１０）。

40

【請求項８】

前記第１の磁力が、前記第１のピストン（２６）を前記スターリングエンジンの動作の４段階のうちの１つに駆動するように構成されている、請求項７に記載の回転機（１０）。

【請求項９】

前記回転機が、スターリングサイクルを利用する低温クーラーであり、前記低温クーラーが、負荷（５０）に冷却をもたらす、請求項１から８のいずれか一項に記載の回転機（１０）。

【請求項１０】

前記第１のピストン（２６）が、軸受（７０）によって前記回転子（２０）に連結され

50

、前記軸受（７０）が、たわみ軸受、気体軸受、滑り軸受、及びリニアボール軸受からなる群から選択される、請求項１から９のいずれか一項に記載の回転機（１０）。

【請求項１１】

回転機（１０）であって、

周縁（１４８）を画定する固定子（１８）、

第１の磁石パターンで前記固定子（１８）の前記周縁（１４８）の周りに配置された複数の第１の離散磁石（１６０、１６２）からなる複数の第１の磁石アレイ（６７Ａ、６７Ｂ、６８Ａ、６８Ｂ）、

回転軸の周りで回転可能であり、本体（３６）を画定する回転子（２０）であって、前記本体（３６）が、第１の通路（３２）を画定する、回転子（２０）、及び

複数の第１の磁気素子（１５０、１５２）を含む第１のピストン（２６）であって、前記第１のピストン（２６）が、前記回転子（２０）の前記第１の通路（３２）内で駆動され、前記複数の第１の離散磁石（１６０、１６２）が、前記第１の磁石パターンで配置され、前記第１のピストン（２６）の前記第１の磁気素子（１５０、１５２）と相互作用するように位置付けされ、前記回転子（２０）が前記回転軸の周りを回転する時に第１の磁力を生成し、前記第１の磁力が、前記回転子（２０）の前記第１の通路（３２）内で前記第１のピストン（２６）を駆動させるのに必要な第１の量の力を表し、前記第１のピストン（２６）が、前記回転子（２０）の前記回転軸に対して実質的に垂直な方向に、前記第１の通路（３２）内で配向される、第１のピストン（２６）

を備えている回転機（１０）。

【請求項１２】

回転機（１０）であって、

周縁（１４８）を画定する固定子（１８）、

第１の磁石パターンで前記固定子（１８）の前記周縁（１４８）の周りに配置された複数の第１の離散磁石（１６０、１６２）からなる複数の第１の磁石アレイ（６７Ａ、６７Ｂ、６８Ａ、６８Ｂ）、

回転軸の周りで回転可能であり、本体（３６）を画定する回転子（２０）であって、前記本体（３６）が、第１の通路（３２）を画定する、回転子（２０）、

複数の第１の磁気素子（１５０、１５２）を含む第１のピストン（２６）であって、前記第１のピストン（２６）が、前記回転子（２０）の前記第１の通路（３２）内で駆動され、前記複数の第１の離散磁石（１６０、１６２）が、前記第１の磁石パターンで配置され、前記第１のピストン（２６）の前記第１の磁気素子（１５０、１５２）と相互作用するように位置付けされ、前記回転子（２０）が前記回転軸の周りを回転する時に第１の磁力を生成し、前記第１の磁力が、前記回転子（２０）の前記第１の通路（３２）内で前記第１のピストン（２６）を駆動させるのに必要な第１の量の力を表す、第１のピストン（２６）、ならびに

第１の再生器（２４Ａ）及び第２の再生器（２４Ｂ）であって、前記第１の再生器（２４Ａ）が、前記回転子（２０）の第１の側部（３０２）に位置付けされ、前記第２の再生器（２４Ｂ）が、前記第１の側部（３０２）の反対側の、前記回転子（２０）の第２の側部（３０２）に位置付けされている、第１の再生器（２４Ａ）及び第２の再生器（２４Ｂ）

を備えている回転機（１０）。

【請求項１３】

回転機（１０）の一部である回転子（２０）の第１の通路（３２）内で第１のピストン（２６）を駆動させる方法であって、

回転軸の周りで前記回転子（２０）を回転させることであって、前記回転子（２０）が、周縁（１４８）を画定する固定子（１８）によって囲まれ、複数の第１の磁石アレイ（６７Ａ、６７Ｂ、６８Ａ、６８Ｂ）が、第１の磁石パターンで前記固定子（１８）の前記周縁（１４８）の周りに配置された複数の第１の離散磁石（１６０、１６２）からなる、前記回転子（２０）を回転させることと、

前記回転子（２０）が前記回転軸の周りで回転する時に第１の磁力を生成することであ

って、前記第 1 の磁力が、前記固定子 (1 8) の前記周縁 (1 4 8) の周りに配置された前記複数の第 1 の離散磁石 (1 6 0 、 1 6 2) と前記第 1 のピストン (2 6) の複数の第 1 の磁気素子 (1 5 0 、 1 5 2) との間の相互作用によって生成される、第 1 の磁力を生成することと、

前記第 1 の磁力によって、前記回転子 (2 0) の前記第 1 の通路 (3 2) 内で前記第 1 のピストン (2 6) を駆動させることであって、前記第 1 のピストン (2 6) 及び前記回転子 (2 0) の前記第 1 の通路 (3 2) がピストン - シリンダアセンブリを画定する、前記第 1 のピストン (2 6) を駆動させること
を含む方法。

【請求項 1 4】

回転機 (1 0) の一部である回転子 (2 0) の第 1 の通路 (3 2) 内で第 1 のピストン (2 6) を駆動させる方法であって、

回転軸の周りで前記回転子 (2 0) を回転させることであって、前記回転子 (2 0) が、周縁 (1 4 8) を画定する固定子 (1 8) によって囲まれ、複数の第 1 の磁石アレイ (6 7 A 、 6 7 B 、 6 8 A 、 6 8 B) が、第 1 の磁石パターンで前記固定子 (1 8) の前記周縁 (1 4 8) の周りに配置された複数の第 1 の離散磁石 (1 6 0 、 1 6 2) からなる、前記回転子 (2 0) を回転させることと、

前記回転子 (2 0) が前記回転軸の周りで回転する時に第 1 の磁力を生成することであって、前記第 1 の磁力が、前記固定子 (1 8) の前記周縁 (1 4 8) の周りに配置された前記複数の第 1 の離散磁石 (1 6 0 、 1 6 2) と前記第 1 のピストン (2 6) の複数の第 1 の磁気素子 (1 5 0 、 1 5 2) との間の相互作用によって生成される、第 1 の磁力を生成することと、

前記第 1 の磁力によって、前記回転子 (2 0) の前記第 1 の通路 (3 2) 内で前記第 1 のピストン (2 6) を駆動させることと、

前記回転子 (2 0) が前記回転軸の周りを回転する時に第 2 の磁力を生成することであって、前記第 2 の磁力が、前記回転子 (2 0) の第 2 の通路 (3 4) 内で第 2 のピストン (3 0) を駆動させるのに必要な第 2 の量の力を表す、第 2 の磁力を生成すること
を含む方法。

【請求項 1 5】

前記第 1 のピストン (2 6) をスターリングサイクルの 4 段階のうちの 1 つに駆動することを含む、請求項 1 3 又は 1 4 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

開示されたシステムは、回転機に関し、より具体的には、磁気素子を有するピストンを含む回転機に関し、ピストンは、回転子が回転する時に生成される磁力によって駆動される。

【背景技術】

【0002】

熱機関は、作業を行うために、熱の形態で供給されたエネルギーを使用する。熱機関が利用することができる熱力学サイクルが幾つかある。それは、例えば、カルノーサイクル、スターリングサイクル、並びにオットーサイクル及びディーゼルサイクルのような様々な内燃機関サイクルである。これらのすべての熱力学的な熱機関は、作動流体として気体を使用する。例えば、スターリングサイクルは、比較的小さくて控えめなサイズの低温クーラーにおいて用いられることが多く、この場合、作動流体は通常ヘリウムである。

【0003】

スターリングエンジンは、作動流体を移動させて圧縮し、出力を生成するために使用される内部ピストンを含み得る。特に、ピストンは、上り工程又は圧縮の間、仕事を受け取り、下り工程又は膨張の間、仕事を生成し、その後、所与の温度で作動流体によって熱が周りの熱シンクに伝達される。スターリングエンジンのピストンは、たわみ軸受 (f l e

10

20

30

40

50

xure bearing)を用いてピストンを静止し、次いで、電磁石を用いて駆動運動を生成することにより、駆動することができる。しかしながら、電磁石は、主に時間的に正弦波的な駆動力を生成する。正弦波駆動力は、電磁石のコイルのインダクタンスによって引き起こされ、さらに駆動電圧及び切り替え速度が両方とも比較的強く保たれている故に引き起こされる。

【0004】

回転機は、さらに固定子及び回転子を含む。少なくとも幾つかの用途では、回転子は冷却される必要がある場合がある。回転子を冷却するために、リザーバ又は冷却器からの冷却された気体が、回転子と固定子などの静止した部品との間の空間に導入され得る。しかしながら、冷却された気体の大部分が回転子の最外表面に当たるため、回転子の冷却は不均一となる。したがって、回転子の内部を冷却するために、冷却気体の経路のための特別な回転継手が必要であり得る。さらに、冷却された気体の貯蔵に冷却器を使用する場合、電力接続が必要となる。

10

【0005】

電流を運ぶブラシで回転子に接触することにより、電力が回転子上で生成される。回転子ではない部品で生成された電流は、ブラシを通して、電気伝導体に沿って、回転子まで流れ、ここで電流が利用される。しかしながら、電気伝導体を通る電流の経路は、熱を生成してしまい、それにより今度はジュール加熱損失が生じる。さらに、ブラシが機関のシャフトに接触してしまう場合があり、摩耗及びメンテナンスの課題が生じる。ブラシによって生じた摩耗は、回転速度と共に増大する。回転子に電力を供給する別のアプローチとして、ブラシの代わりにバッテリーを使用する場合がある。しかしながら、バッテリーは、限られた量のエネルギーしか貯蔵せず、いずれ再充電又は交換する必要がある。最後に、さらに別のアプローチとして、回転子のための電力が、固定子に位置するコイルから回転子に位置するコイルへの誘導伝達によって生成される。しかしながら、回転子と固定子の両方にあるコイルにおいてジュール加熱損失が生じる。

20

【発明の概要】

【0006】

一態様では、回転機が開示される。回転機は、周縁を画定する固定子、複数の第1の磁石アレイ、回転子、及び第1のピストンを含む。第1の磁石アレイは、第1の磁石パターンで固定子の周縁の周りに配置された複数の第1の離散磁石からなる。回転子は、回転軸の周りで回転可能であり、本体を画定する。本体は、第1の通路を画定する。第1のピストンは、複数の第1の磁気素子を含み、回転子の第1の通路内で駆動される。複数の第1の離散磁石は、第1の磁石パターンで配置され、第1のピストンの磁気素子と相互作用するように位置付けられ、回転子が回転軸の周りを回転する時に第1の磁力が生成される。第1の磁力は、回転子の第1の通路内で第1のピストンを駆動させるのに必要な第1の量の力を表す。

30

【0007】

別の態様では、回転機の一部である回転子の通路内でピストンを駆動させる方法が開示される。当該方法は、回転軸の周りで回転子を回転させることを含む。回転子は、周縁を画定する固定子によって囲まれ、第1の磁石アレイが、第1の磁石パターンで固定子の周縁の周りに配置された複数の離散磁石からなる。当該方法は、回転子が回転軸の周りを回転する時に第1の磁力を生成することをさらに含む。第1の磁力は、固定子の複数の離散磁石と第1のピストンの複数の磁気素子との間の相互作用によって生成される。第1の磁力は、回転子の第1の通路内で第1のピストンを駆動させるのに必要な量の力を表す。最後に、当該方法は、回転子の第1の通路内で第1のピストンを駆動させることを含む。

40

【0008】

開示された方法及びシステムのその他の目的及び利点は、下記の説明、添付図面、及び添付の特許請求の範囲から明らかとなる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

50

【図 1】固定子、回転軸の周りで回転する回転子、圧縮ピストン、及び膨張ピストンを含む低温クーラーとして示される例示的な回転機の概略断面図である。

【図 2】区切り線 B - B に沿って見た、図 1 に示す熱機関の断面図である。

【図 3】図 1 に示す圧縮ピストンの斜視図である。圧縮ピストンは、第 1 のセクションと第 2 のセクションと間に画定されるショルダーを含む。

【図 4】図 3 に示すピストンを示す。ピストンは、永久磁石を含み、透明物体として描かれている。

【図 5 A - 5 D】図 1 に示す回転子によって画定された通路内に配置されたピストンを示す。図 5 A から図 5 D は、それぞれ、スターリングサイクルの 4 つの異なる状態のうちの 1 状態におけるピストンを示す。

10

【図 6】図 1 に示す固定子の概略図である。固定子は、圧縮ピストンを図 5 A から図 5 D に示すスターリングサイクルの 4 つの異なる状態に駆動させるための磁石アレイを含む。

【図 7】図 1 に示す固定子の概略図である。固定子は、図 1 に示す膨張ピストンをスターリングサイクルの 4 つの異なる状態に駆動させるための磁石アレイを含む。

【図 8】図 4 に示すピストンの代替例である。永久磁石は、図 1 に示す回転子の回転軸と整列させられる。

【図 9】図 8 に示すピストンの永久磁石、及び固定子の磁石アレイの実施例を示す概略図である。

【図 10】図 9 に示すピストンの永久磁石、及び固定子の磁石アレイの代替例を示す概略図である。永久磁石と磁石アレイは両方とも回転子の回転軸に対して実質的に平行である。

20

【図 11】図 9 に示すピストンの永久磁石、及び固定子の磁石アレイの別の実施例を示す概略図である。磁石アレイは、単一の強磁性バーを含む。

【図 12】図 11 に示すピストンの永久磁石、及び固定子の強磁性バーのさらに別の実施例を示す概略図である。

【図 13】ピストンのさらに別の実施例を示す概略図である。ピストンは、固定子の磁石アレイと相互作用する強磁性素子を含む。

【図 14】図 3 に示すピストンの代替例を示す。ピストンは、図 1 に示す回転子の回転軸と実質的に平行な方向に駆動される。

【図 15】図 16 の区切り線 A - A に沿って切り取った、回転子の代替例の概略断面図である。

30

【図 16】図 15 の区切り線 B - B に沿って切り取った、回転子の概略断面図である。

【図 17】図 1 に示す圧縮ピストンを駆動させる例示的方法を示すプロセスフロー図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

図 1 は、熱機関 10 の形態の回転機の概略横断面図である。熱機関 10 は、固定子 18、シャフト 22 に接続された回転子 20、再生器 24、第 1 のピストン 26、及び第 2 のピストン 30 を含む。第 1 のピストン 26 は、第 1 の圧縮通路 32 内で駆動される圧縮ピストンである。第 2 のピストン 30 は、第 2 の膨張通路 34 内で駆動される膨張ピストンである。回転子 20 は、回転軸 A - A の周りで回転可能であり、本体 36 を画定する。回転子 20 の本体 36 は、圧縮通路 32 及び膨張通路 34 の両方を画定する。図 1 に見るように、暖かい圧縮空間 38 が、回転子 20 の圧縮通路 32 内で画定され、圧縮ピストン 26 と再生器 24 との間に位置する。同様に、膨張空間 39 が、回転子 20 の膨張通路 34 内で画定され、膨張ピストン 30 と再生器 24 との間に位置する。

40

【0011】

圧縮ピストン 26 及び圧縮通路 32 は、ピストン - シリンダアセンブリを画定し、膨張ピストン 30 及び膨張通路 34 は、さらに別のピストン - シリンダアセンブリを画定する。ピストン - シリンダアセンブリという用語が使用されるが、圧縮通路 32 及び膨張通路 34 は、シリンダ形状構成に限定されないことを理解されたい。実際に、以下でより詳細に説明されるように、ピストン 26、30 は、任意の数の形状を含み得る。例えば

50

、図 3 及び図 4 で見るように、圧縮ピストン 26 は、平坦な側面並びに平坦な上面及び底面を備えた階段状のプロファイルをもっているように示される。

【0012】

再生器 24 は、圧縮空間 38 と膨張空間 39 との間で回転子 20 の本体 36 内に位置付けられる。図示の例示的な実施例では、再生器 24 は、回転子 20 の回転軸 A - A と整列させられる。再生器 24 は、多孔性固体マトリックスから構築されている。再生器 24 を通して作動流体が流動し、周期的に行ったり来たりすることができる。特に、エネルギーは、作動流体から再生器 24 のマトリックス 40 内に伝達され、再生器 24 のマトリックス 40 から作動流体によって吸収される。作動流体は、再生器 24 のマトリックス 40 の細孔、暖かい圧縮空間 38、及び冷たい膨張空間 39 を充填する。作動流体は、圧縮ピストン 26 及び膨張ピストン 30 の駆動に用いられる加圧気体又は液体である。図示の例示的な実施例では、熱機関 10 は、4 段階動作を有するスターリングエンジンであり、作動流体はヘリウムである。ここではスターリングエンジンが記載されているが、熱機関 10 は、カルノーサイクル、オットーサイクル、又はディーゼルサイクルに基づいて動作する機関などの他の任意の種類の機関であってもよいが、これに限定されない。

10

【0013】

図示の例示的な実施例では、圧縮ピストン 26 及び膨張ピストン 30 の両方が、回転子 20 の回転軸 A - A に対して実質的に垂直な方向で、それぞれの通路 32、34 内で配向されている。しかしながら、図 14 に示す実施例では、ピストン 26、30 は、回転子 20 の回転軸 A - A に対して実質的に平行である。

20

【0014】

一連の放熱フィン 42 が、回転子 20 によって画定された最外底面 46 に沿って配置され得る。回転子 20 は、高熱伝導率 48 の経路をさらに含む。高熱伝導率 48 の経路により、暖かい圧縮空間 38、シャフト 22、及びフィン 42 の間の熱接続が生じる。図 1 に示す例示的な実施例では、熱機関 10 は、スターリングサイクルを利用する低温クーラーである。低温クーラーは、負荷 50 に冷却をもたらす。回転子 20 は、負荷 50 を冷たい膨張空間 39 に熱的に接続する経路 52 を含む。

【0015】

図 2 は、区切り線 B - B に沿って見た、図 1 に示す熱機関 10 の回転子 20 の断面図である。図 2 に見るように、回転子 20 は、最周縁面 56 を画定する。図 1 及び図 2 の両方を参照すると、回転子 20 の表面 56 は、複数の切り欠き又は空間 58A、58B、58C を画定する。固定子 18 は、回転子 20 を囲む。より具体的には、固定子 18 は、回転子 20 の周縁表面 56 全体を囲む。空間 58A、58B、58C は、回転子 20 の周縁表面 56 全体の周りで延在する。図 1 で見るように、空間 58A、58B、58C は、固定子 18 によって画定される対応する突出部 60A、60B、60C を受け入れるように寸法形成される。特に、空間 58A は突出部 60A を受け入れるように形成され、空間 58B は突出部 60B を受け入れるように形成され、空間 58C は突出部 60C を受け入れるように形成される。

30

【0016】

図 1 で見るように、固定子 18 の突出部 60A、60B、60C は、それぞれ、永久磁石のアレイ（磁石アレイ）65A、65B、66A、66B、67A、67B、68A、68B を含む。特に、図 1 に示す例示的な実施例に示すように、磁石アレイ 66A、66B、68A、及び 68B は、固定子 18 の対応する突出部 60A、60B、60C の上面 44 に沿って配置され、磁石アレイ 65A、65B、67A、及び 67B は、それぞれの突出部 60A、60B、60C の下面 45 に沿って配置される。しかしながら、以下で説明するように、磁石アレイ 65A、65B、66A、66B、67A、67B、68A、68B は、突出部 60 の上面 44 又は下面 45 に沿って配置されることに限定されず、上面 44 及び下面 45 の近位に配置されてもよい。

40

【0017】

図 2 を参照すると、圧縮ピストン 26 は、第 1 の軸受 70 によって回転子 20 に連結さ

50

れている。特に、第１の軸受７０は、圧縮ピストン２６の端部７２に接続される。端部７２は、回転子２０の回転軸Ａ－Ａに対する圧縮ピストン２６の最外部である。同様に、膨張ピストン３０は、第１の軸受８４によって回転子２０に連結されている。特に、第２の軸受８４は、膨張ピストン３０の端部８６に接続される。端部８６は、回転子２０の回転軸Ａ－Ａに対する膨張ピストン３０の最外部である。

【００１８】

１つの例示的な実施例では、第１の軸受７０及び第２の軸受８４は、両方ともたわみ軸受である。第１の軸受７０及び第２の軸受８４は、両方とも回転子２０の一部であり、ピストン移動の方向において剛性が比較的低い。しかしながら、第１の軸受７０及び第２の軸受８４は、さらにピストン移動に対して実質的に垂直な方向において剛性が比較的高い。

10

【００１９】

空間９０は、圧縮通路３２の開口９４の周りの表面９２、及び回転子２０によって画定される一対の側面９６によって画定される。同様に、空間９８は、膨張通路３４の開口１０２の周りの表面１００、及び回転子２０の一対の側面１０４によって画定される。空間９０、９８は両方とも、周囲温度において作動流体で充填される。記載された例示的な実施例では、回転子２０はスターリングエンジンの一部であり、作動流体はヘリウムである。

【００２０】

20

図３は、圧縮ピストン２６の例示的な図である。図３では圧縮ピストン２６が説明されているが、膨張ピストン３０はさらに同じ部品及び構造を含む。図３に示す圧縮ピストン２６は、第１のセクション１１０及び第２のセクション１１２を含む。第１のセクション１１０は、圧縮ピストン２６の第２のセクション１１２によって画定される第２の幅Ｗ２より短い第１の幅Ｗ１を画定し、それにより、ショルダー１１４を画定する。しかしながら、別の実施例では、圧縮ピストン２６の第１のセクション１１０の第１の幅Ｗ１は、第２のセクション１１２の第２の幅Ｗ２より長い。さらに別の実施例では、圧縮ピストン２６は、図３で見えるような階段状の構成をもたない場合があり、その代わりに均一な断面を有する。さらに、圧縮ピストン２６は、図３で示す構成に限定されず、例えば、シリンダのような任意の数の形状を含み得る。圧縮ピストン２６は、圧縮ピストン２６の第２のセクション１１２の両面に沿って位置する取付点１２０の対をさらに含む（図３では一対の取付点のみが確認できる）。図２及び図３を両方参照すると、圧縮ピストン２６を軸受７０、８４のうちの対応する１つに固定するために圧縮ピストン２６の取付点１２０が用いられている。

30

【００２１】

続けて図２及び図３を両方参照すると、圧縮ピストン２６の第１のセクション１１０は、暖かい圧縮空間３８によって受け入れられ、圧縮ピストン２６の第２のセクション１１２は、周囲温度の空間９０によって受け入れられる。圧縮ピストン２６がフル圧縮又は最大圧縮の位置にあるとき、圧縮ピストン２６のショルダー１１４が、暖かい圧縮空間３８の開口９４の周りの表面９２に対して当接し得る。

40

【００２２】

これより図３を参照すると、圧縮ピストン２６は、第１の平坦面１３０、及び第１の平坦面１３０に対して実質的に平行な第２の平坦面１３２を画定する。第１の平坦面１３０は、圧縮ピストン２６の最上部１３４に沿って配置され、第２の平坦面１３２は、圧縮ピストン２６の最下部１３６に沿って配置される。第１の平坦面１３０は、圧縮ピストン２６の第２の幅Ｗ２に沿って複数の空洞１４０を画定する。空洞１４０は、それぞれ、ピストン移動の方向Ｄ１及びＤ２（図２）に対して実質的に平行な方向で延在する。これより図２を参照すると、圧縮ピストン２６は、回転軸Ａ－Ａに向かって第１の方向Ｄ１に移動し、回転軸Ａ－Ａから離れるように第２の方向Ｄ２に移動する。

【００２３】

50

図 4 は、圧縮ピストン 26 の図であり、第 2 の平坦面 132 が見えるように透明物体として描かれている。図 4 に見るように、一連の磁気素子 150 は、それぞれ、圧縮ピストン 26 によって画定された空洞 140 (図 3) のうちの 1 つによって受け入れられている。図示の実施例では、磁気素子 150 は、永久磁石である。しかしながら、以下で詳細に説明される図 13 に示す別の実施例では、磁気素子 150 は、強磁性バーであってもよい。任意選択的な一実施例では、圧縮ピストン 26 の第 2 の平坦面 132 は、対応する磁気素子 152 を受け入れるようにそれぞれ成形された複数の空洞をさらに画定する。図 2 及び図 4 を両方参照すると、磁気素子 150、152 は、それぞれ、回転子 20 内のピストン移動の第 1 の方向 D1 及び第 2 の方向 D2 に対して実質的に平行な磁化の方向を含む。

【0024】

図 5 A から図 5 D は、回転子 20 の圧縮通路 32 内でスターリングサイクルの 4 つの異なる状態のうちの一状態に駆動された圧縮ピストン 26 の例示的概略図を示す。回転子 20 の通路 32 は、固定子 18 の突出部 60 A、60 B、60 C によって囲まれる。以下で説明するように、圧縮ピストン 26 は、固定子 18 の磁石アレイ 67 A、67 B、68 A、68 B と圧縮ピストン 26 の磁気素子 150、152 との間に生成された第 1 の磁力によって、スターリングサイクルの 4 つの異なる状態のうちの一状態に駆動させられる。スターリングサイクルの 4 つの異なる状態は、等温膨張、定容熱除去 (constant-volume heat removal)、等温圧縮、及び定容熱添加 (constant-volume heat addition) であり、図 5 A から図 5 D はそれぞれ、スターリングサイクルの 4 つの異なる状態のうちの一状態における圧縮ピストン 26 を示す。

【0025】

図 6 は、固定子 18 の上面図を表す概略図である。図 6 は、図 5 A から図 5 D に示す磁石アレイ 67 A、67 B をさらに示す。図 6 に示すように、各磁石アレイ 67 A、67 B は、一連の離散磁石 160、162 を含む。固定子 18 は、周縁 148 を画定し、離散磁石 160、162 は、第 1 の磁石パターンで固定子 18 の周縁 148 の周りに配置されている。離散磁石 160、162 は、圧縮ピストン 26 の磁気素子 150、152 (図 3 及び図 4) と相互作用するように、第 1 の磁石パターンで配置され、通路 32 内で圧縮ピストン 26 を駆動させるのに必要な第 1 の磁力が生成される。より具体的には、離散磁石 160、162 は、圧縮ピストン 26 をスターリングサイクルの 4 つの状態のうちの一状態に位置付けるために、圧縮ピストン 26 の磁気素子 150、152 と相互作用するように構成される。

【0026】

図 6 では磁石アレイ 67 A、67 B が示されているが、突出部 60 C の上面 44 に沿って配置された磁石アレイ 68 A、68 B (図 1) も同じ磁石パターンで配置され、離散磁石 160、162 を含むことを理解されたい。圧縮ピストン 26 は、さらに段階 / 状態 c で示される。段階 c は、圧縮側ピストンに対応するスターリングサイクルの 4 つの状態のうちの一状態を表す。スターリングサイクルの残りの 3 つの状態は、さらに段階 a、段階 b、及び段階 d として示され、ここではそれぞれ状態 a、b、及び d と呼ばれる。状態 a は、図 5 A に対応し、状態 b は、図 5 B に対応し、状態 c は、図 5 C に対応し、状態 d は、図 5 D に対応する。

【0027】

続けて図 6 を参照すると、離散磁石 160、162 は、第 1 の磁石パターンで固定子 18 の周縁 148 の周りに配置され、圧縮ピストン 26 の磁気素子 150、152 (図 4) と相互作用し、回転子 20 (図 1) が反時計回り方向 CC で回転軸 A-A の周りで回転する時に第 1 の磁力が生成される。第 1 の磁力は、回転子 20 の通路 32 内で圧縮ピストン 26 を駆動させるのに必要な量の力を表す。例えば、図 5 A から図 5 D で示す例示的な実施例では、第 1 の磁力は、ピストン 26 をスターリングサイクルの 4 つの状態のうちの一状態に駆動させるように構成される。

【0028】

10

20

30

40

50

これより図 5 A を参照すると、固定子 18 の磁石アレイ 67 A、67 B、68 A、68 B によって画定された磁化の方向は、矢印 M1 によって示され、回転子 20 の磁気素子 150、152 によって画定された磁化の方向は、矢印 M2 によって示される。回転子 20 の磁気素子 150、152 の両方の磁化の方向 M2 は、同じ方向に配向される。磁化の方向 M2 は、回転子 20 の回転軸 A-A に対して実質的に垂直である。固定子 18 の磁石アレイ 67 A、67 B、68 A、68 B の磁化の方向 M1 も互いに同じ方向に配向され、圧縮ピストン 26 の磁気素子 150、152 の磁化の方向 M2 は、固定子 18 の磁石アレイ 67 A、67 B、68 A、68 B の磁化の方向 M1 と反対方向である。互いに対向する磁化方向 M1 と磁化方向 M2 との間の相互作用によって第 1 の磁力が生成される。

【0029】

磁石アレイ 67 A、67 B は、両方とも、突出部 60 B の下面 45 に沿って配置されるか、又は下面 45 の近位に配置され、磁石アレイ 68 A、68 B は、突出部 60 C の上面 45 に沿って配置されるか、又は上面 44 の近位に配置される。特に、磁石アレイ 67 A、67 B は、圧縮ピストン 26 の磁気素子 150 と反応するように、固定子 18 内に位置付けられ、それにより、第 1 の磁力の一部が生成される。同様に、磁石アレイ 68 A、68 B は、圧縮ピストン 26 の磁気素子 152 と反応するように、固定子 18 内に位置付けられ、それにより、通路 32 内で圧縮ピストン 26 を駆動させるのに必要な第 1 の磁力の残りの部分が生成される。図 5 A に示すように、磁石アレイ 67 A 及び 68 A は、両方とも、圧縮ピストン 26 の中心線 C から等距離に位置する。同様に、磁石アレイ 67 B 及び 68 B も圧縮ピストン 26 の中心線から等距離に位置する。したがって、互いに対向する磁化方向 M1、M2 によって生成された、圧縮ピストン 26 にかかる（図 1 に示す）回転子 20 の回転軸 A-A に沿った第 1 の磁力は、実質的にゼロである。

【0030】

図 5 A 及び図 6 を両方参照すると、磁石アレイ 67 A、67 B、68 A、68 B は、通路 32 の長さ L に対して配置され、磁石アレイ 65 A、65 B と磁気素子 150、152 との互いに対向する磁化方向 M1、M2 が、圧縮ピストン 26 をスターリングサイクルの第 1 の状態に配向させる。図 6 に見るように、磁石アレイ 67 A、67 B の第 1 の磁力は、回転子 20 の回転軸 A-A に対する圧縮ピストン 26 の周縁上の位置に応じて変化する。より具体的には、第 1 の磁力を生成するために、又は、第 1 の磁力によって圧縮ピストン 26 をスターリングサイクルの 4 段階のうちの一段階に駆動させるために、離散磁石 160、162 は、第 1 の磁石パターンで固定子 18 の周縁 148 の周りに配置される。

【0031】

図 5 A は、通路 32 内で完全に膨張した状態の圧縮ピストン 26 を示す。圧縮ピストン 26 が完全に膨張した位置にあるとき、通路 32 内で圧縮ピストン 26 を所定位置に保つのに必要な駆動力の量は最小限で済む。これより図 5 B 及び図 6 を見ると、回転子 20（図 1）が状態 a から状態 b へと回転軸 A-A の周りで反時計回り方向 CC に回転するにつれて、磁石アレイ 67 A、67 B の離散磁石 160、162 は、互いの間の距離を縮めるように配置され、それにより、生成されて圧縮ピストン 26 に対して加えられる第 1 の磁力が増大する。図 5 B で見るように、圧縮ピストン 26 は、通路 32 内で第 1 の方向 D1 に付勢され、回転軸 A-A に向かって、スターリングサイクルの段階 b に付勢される。通路 32 内の圧縮空間 38 が縮小したので、段階 b は段階 a よりも圧縮を必要とする。

【0032】

これより図 5 C 及び図 6 を見ると、回転子 20（図 1）が状態 b から状態 b へと回転軸 A-A の周りで反時計回り方向 CC に回転するにつれて、磁石アレイ 65 A、65 B の離散磁石 160、162 は、互いの間の距離を広げ続け、それにより、圧縮ピストン 26 に対して加えられる第 1 の磁力が増大する。図 5 C で見るように、圧縮ピストン 26 は、これより最大圧縮又は完全圧縮を表すスターリングサイクルの段階 c に配向される。したがって、図 6 に示すように、離散磁石 160、162 は、離散磁石 160、162 のそれぞれの間の距離が最短となるように位置付けされる。なぜなら、圧縮空間 38 内で作動流体によって加えられる力を克服するのに必要な第 1 の磁力が最大となるからである。

【 0 0 3 3 】

これより図 5 D 及び図 6 を見ると、回転子 2 0 (図 1) が状態 c から状態 d へと回転軸 A - A の周りで反時計回り方向 C C に回転するにつれて、磁石アレイ 6 5 A、6 5 B の離散磁石 1 6 0、1 6 2 は、互いから実質的に同じ距離に留まるように配置される。図 5 D で見るように、圧縮ピストン 2 6 は、これよりスターリングサイクルの段階 d に配向される。最後に、回転子 2 0 が、状態 d から状態 a へと、回転軸 A - A の周りで反時計回り方向 C C に回転するにつれて、離散磁石 1 6 0、1 6 2 は、離散磁石 1 6 0、1 6 2 のそれぞれの間の距離が増大し、ポイント a で最大距離となるように配置される。したがって、圧縮ピストン 2 6 に加えられる第 1 の磁力は、回転子 2 0 が回転軸 A - A (図 1) の周りで回転するにつれて変動する。

10

【 0 0 3 4 】

図 7 は、固定子 1 8 の上面図を表す概略図である。突出部 6 0 A (図 1) の下面 4 5 に沿って配置された磁石アレイ 6 5 A、6 5 B が示されている。磁石アレイ 6 5 A、6 5 B 及び磁石アレイ 6 6 A、6 6 B は、磁気素子 1 5 0、1 5 2 (図 4) と相互作用し、第 2 の磁力を膨張ピストン 3 0 (図 1 に示す) に加える。図 6 の実施例と同じように、各磁石アレイ 6 5 A、6 5 B は、膨張側ピストン 3 0 を駆動させることが意図されている第 2 の磁石パターンで、固定子 1 8 の周縁 1 4 8 の周りに配置されている一連の離散磁石 1 6 4、1 6 6 からなる。特に、離散磁石 1 6 4、1 6 6 は、ピストン (図 4) の磁気素子 1 5 0、1 5 2 と相互作用するように配置され、回転子 2 0 (図 1) が反時計回り方向 C C で回転軸 A - A の周りで回転する時に第 2 の磁力が生成される。第 2 の磁力は、膨張ピストン 3 0 を、回転子 2 0 の通路 3 4 内で、且つスターリングサイクルの 4 つの異なる状態のうちの一状態に、駆動させるのに必要な量の力を表す。図 6 に示す実施例と同じように、スターリングサイクルの 4 つの状態は、図 7 では、段階 a、段階 b、段階 c、及び段階 d として示される。段階 a は、最大圧縮の状態に対応し、段階 d は、ピストン 3 0 の最大膨張の位置に対応する。

20

【 0 0 3 5 】

図 8 は、圧縮ピストン 2 6 の代替例であり、圧縮ピストン 2 6 は透明物体として示されている。図 8 に示すように、磁気素子 1 5 0 は、磁気素子 1 5 0 の磁化の方向 M 1 が、回転子 2 0 (図 2) 内のピストン移動の第 1 の方向 D 1 及び第 2 の方向 D 2 に対して実質的に垂直な方向に、且つ、回転子 2 0 の回転軸 A - A (図 1) と実質的に平行になるように、配向される。磁気素子 1 5 0 はそれぞれ、圧縮ピストン 2 6 の第 1 の平坦面 1 3 0 と第 2 の平坦面 1 3 2 との間で垂直方向に延在する。

30

【 0 0 3 6 】

図 9 は、固定子 1 8 の磁石アレイ 6 7 A、6 7 B、6 8 A、6 8 B に対する圧縮ピストン 2 6 の磁気素子 1 5 0 の概略図である (図 9 では固定子 1 8 が図示されていない)。磁石アレイ 6 7 A、6 7 B、6 8 A、6 8 B は、回転子 2 0 の回転軸 A - A に対して実質的に垂直な方向、且つ、磁気素子 1 5 0 の磁化方向 M 2 に配向される。特に、磁石アレイ 6 8 B 及び磁石アレイ 6 8 A の磁化の方向 M 1 は、径方向内側方向に、且つ回転軸 A - A に向けて配向され、磁石アレイ 6 7 A、6 8 B の磁化の方向 M 3 は、径方向外側に、回転軸 A - A から離れるように配向される。磁石アレイ 6 7 A、6 7 B 及び 6 8 A、6 8 B は、圧縮ピストン 2 6 の中心線 C から等距離に位置する。したがって、圧縮ピストン 2 6 に加えられる磁力は、実質的にゼロである。

40

【 0 0 3 7 】

図 1 0 は、図 9 に示す配置のさらに別の実施例であり、これより、磁石アレイ 6 7 A、6 7 B、6 8 A、6 8 B は、圧縮ピストン 2 6 の磁気素子 1 5 0、及び回転子 2 0 の回転軸 A - A に対して実質的に平行に配向される。特に、磁気素子 1 5 0 の磁化の方向 M 2 は、下方に、且つ、圧縮ピストン 2 6 の第 2 の平坦面 1 3 2 に向けて配向される。磁石アレイ 6 7 A、6 7 B、6 8 A、6 8 B のそれぞれの磁化の方向 M 1 は、磁気素子 1 5 0 の磁化の方向 M 2 とは実質的に反対の方向である。

【 0 0 3 8 】

50

図 1 1 は、図 9 に示す配置のさらに別の実施例であり、磁石アレイ 6 7 A、6 7 B は、単一の強磁性バー 1 6 7 と交換され、磁石アレイ 6 8 A、6 8 B は、単一の強磁性バー 1 6 8 と交換されている。したがって、図 6 及び図 1 1 の両方を参照すると、離散磁石 1 6 0、1 6 2 は、強磁性バー 1 6 7、1 6 8 と交換されている。強磁性バー 1 6 7、1 6 8、及び圧縮ピストン 2 6 の磁気素子 1 5 0、1 5 2 は、それぞれ、回転軸 A - A に対して実質的に垂直な方向に配向されている。図 1 1 に示す例示的な実施例では、強磁性バー 1 6 7、1 6 8 の両方が、長さ 1 7 0 を画定する。強磁性バー 1 6 7、1 6 8 の長さ 1 7 0 は、圧縮ピストン 2 6 の磁気素子 1 5 0、1 5 2 の長さ 1 7 2 とほぼ同一である。ピストン 2 6 の磁気素子 1 5 0、1 5 2 の両方の磁化方向 M 2 は、回転子 2 0 の回転軸 A - A から外側且つ離れる方向に配向されている。

10

【 0 0 3 9 】

図 1 2 は、図 1 1 に示す配置の別の実施例であり、磁気素子 1 5 0 は、これより、磁化の第 1 の方向 M 1 及び磁化の第 2 の方向 M 2 に配向されており、磁化の第 1 の方向 M 1 及び磁化の第 2 の方向 M 2 の両方が、回転軸 A - A と実質的に平行である。さらに、回転軸 A - A に最も近い圧縮ピストン 2 6 の近位端部 1 8 0 に位置する 1 つ又は複数の磁気素子 1 5 0 の磁化の方向 M 1 は、回転軸 A - A から最も遠い圧縮ピストン 2 6 の遠位端部 1 8 2 に位置する 1 つ又は複数の磁気素子 1 5 0 の磁化の第 2 の方向 M 2 に対して実質的に反対方向に配向される。

【 0 0 4 0 】

図 1 3 は、図 1 1 に示す配置のさらに別の実施例であり、圧縮ピストン 2 6 は、これより複数の強磁性バー 2 5 0、2 5 2 を含む。特に、1 つ又は複数の強磁性バー 2 5 0 は、圧縮ピストン 2 6 の第 1 の平坦面 1 3 0 の近位に位置し、1 つ又は複数の強磁性バー 2 5 2 は、圧縮ピストン 2 6 の第 2 の平坦面 1 3 2 の近位に位置する。磁石アレイ 6 7 A、6 7 B、6 8 A、6 8 B は、それぞれ、回転軸 A - A に対して実質的に垂直な磁化の方向 M 1 であって、径方向内側に且つ回転軸 A - A に向かって配向された磁化の方向 M 1 を含む。

20

【 0 0 4 1 】

上述の実施例では、ピストン 2 6、3 0 は、回転子 2 0 の回転軸 A - A (図 1) に対して実質的に垂直な方向 D 1 及び D 2 (図 2) に駆動される。図 1 4 は、熱機関 1 0 の代替例であり、ピストン 2 2 6 は、回転軸 A - A に対して実質的に平行な方向に駆動され得る。図 1 4 は、回転子 2 0 の回転軸 A - A (図 1) と整列させられた通路 2 3 2 を示す。通路 2 3 2 は、回転軸 A - A に対して実質的に平行な方向に配向される。図 1 4 に見るように、ピストン 2 2 6 は、回転子 2 0 の回転軸 A - A と整列させられ、回転軸 A - A に沿って延在する。ピストン 2 2 6 は、それぞれ回転軸 A - A と整列させられ、且つピストン 2 2 6 の長さ 2 5 4 に沿って配置された複数の永久磁石 2 4 0、2 4 2、2 4 6 を含む。図 1 4 で示すように、ピストン 2 2 6 は、2 つの磁石アレイ 2 6 6、2 6 8 によって囲まれている。図 1 4 は、ピストン 2 2 6 が回転子 2 0 の回転軸 A - A と整列しているように示しているが、別の実施例では、ピストン 2 2 6 は、さらに回転子 2 0 の回転軸 A - A から一定の距離でオフセットされ得る。

30

【 0 0 4 2 】

図 1 5 及び図 1 6 は、回転子 2 0 の代替例であり、図 1 及び図 2 に示すピストン / ガス構成が逆転している。図 1 5 は、図 1 6 の区切り線 A - A に沿って切り取られた回転子 2 0 の概略断面図であるが、図 1 6 は、図 1 5 の区切り線 B - B に沿って切り取られた回転子 2 0 の概略断面図である。図 1 5 及び図 1 6 の両方で見ると、回転子 2 0 は、2 つの再生器 2 4 A、2 4 B、2 つの圧縮ピストン 2 6 A、2 6 B、2 つの膨張ピストン 3 0 A、3 0 B を含む。図 1 6 に見るように、2 つの再生器 2 4 A、2 4 B が、それぞれ回転子 2 0 の両側 3 0 2 に沿って配置されており、第 1 の再生器 2 4 A が、回転子 2 0 の第 1 の側部 3 0 2 に位置付けられ、第 2 の再生器 2 4 B が、第 1 の側部 3 0 2 と概して反対側の回転子 2 0 の第 2 の側部 3 0 2 に位置付けされる。再生器 2 4 A は、圧縮ピストン 2 6 A と膨張ピストン 3 0 A との間で熱を伝達するために使用され、再生器 2 4 B は、圧縮ピ

40

50

ストン 26 B と膨張ピストン 30 B との間に熱を伝達する。

【0043】

図 16 に見るように、2つの圧縮ピストン 26 A、26 B は、両方とも軸受 70 A、70 B によって回転子 20 に連結されている。特に、軸受 70 A、70 B は、それぞれ、圧縮ピストン 26 A、26 B の端部 73 a、73 b に接続されており、端部 73 A、73 B は、それぞれの圧縮ピストン 26 A、26 B の最内側を表す。さらに図 16 に見るように、それぞれの熱交換器 320 A、320 B が、それぞれの圧縮空間 32 A、32 B に熱的に接続されている。熱交換器 320 A、320 B は両方とも熱伝導経路 322 に熱的に接続されている。熱伝導経路 322 は、伝導バス 324 と通じている。伝導バス 324 は、回転子 20 の垂直方向に沿って熱を伝導するように用いられる。任意選択的なセパレータ 326 が、対称軸 S-S に沿って配置されてもよく、圧縮空間 32 A、32 B を分離するように用いられる。

10

【0044】

図 17 は、図 1 に示すピストン 26 を駆動させるための例示的な方法 400 を示すプロセスフロー図である。ここでは圧縮ピストン 26 しか説明されていないが、膨張ピストン 30 を駆動するのに似たようなアプローチを同様に用いることができることを理解されたい。

【0045】

これより、図 1、図 2、図 6、及び図 17 を参照すると、方法 400 はブロック 402 で開始し得る。ブロック 402 では、回転子 20 は、回転軸 A-A の周りで回転させられる。図 1 に見るように、回転子 20 は、固定子 18 によって囲まれている。図 6 で示すように、固定子 18 は、磁石アレイ 67 A、67 B を画定する。磁石アレイ 67 A、67 B は、離散磁石 160、162 からなり、第 1 の磁石パターンで固定子 18 の周縁 148 の周りに配置されている。次いで、方法 400 はブロック 404 に進み得る。

20

【0046】

ブロック 404 では、回転子 20 が回転軸 A-A の周りで回転する時に第 1 の磁力が生成される。特に、上述のように、第 1 の磁力は、固定子 18 の複数の離散磁石 160、162 とピストン 26 の磁気素子 150、152 との間の相互作用によって生成される。第 1 の磁力は、回転子 20 の通路 32 内で圧縮ピストン 26 を駆動させるのに必要な量の力を表すことを理解されたい。次いで、方法 400 はブロック 406 に進み得る。

30

【0047】

ブロック 406 では、第 1 の磁力は、通路 32 内でピストン 26 を駆動させる。図 5 A から図 5 D、及び図 6 に見るように、ピストン 26 は、状態 a から状態 b、状態 b から状態 c、状態 c から状態 d、又は状態 d から状態 a に駆動され得る。次いで、方法 400 は終了し得る。

【0048】

概して図面を参照すると、数多くの技術的効果及び利点が、ピストンの駆動に磁力を利用する開示されたシステムに関連付けられる。開示されたシステムは、熱機関を動作させるために用いることができ、機械の非回転部分によって回転子と接触する必要性をなくす。さらに、ピストンの駆動に電流が直接用いられることはないので、ジュール加熱損失が生じない。ピストンの駆動に磁石を利用することにより、ピストンの駆動に関連するエネルギー損失のほとんどが実質的になくなる。最後に、動作の任意の時点においてピストンに加えられる力は、さらに、固定子に含まれる磁気素子の特定のサイズ及び強度に基づいて決定され得る。したがって、動作の改善のために駆動中のピストンの移動運動を調節することができる。

40

【0049】

さらに、本開示は、下記の条項に係る実施例を含む。

【0050】

条項 1

回転機 (10) であって、

50

周縁（１４８）を画定する固定子（１８）、

第１の磁石パターンで前記固定子（１８）の前記周縁（１４８）の周りに配置された複数の第１の離散磁石（１６０、１６２）からなる複数の第１の磁石アレイ（６７Ａ、６７Ｂ、６８Ａ、６８Ｂ）、

回転軸の周りで回転可能であり、本体（３６）を画定する回転子（２０）であって、前記本体（３６）が、第１の通路（３２）を画定する、回転子（２０）、及び

複数の第１の磁気素子（１５０、１５２）を含む第１のピストン（２６）であって、前記第１のピストン（２６）が、前記回転子（２０）の前記第１の通路（３２）内で駆動され、前記複数の第１の離散磁石（１６０、１６２）が、前記第１の磁石パターンで配置され、前記第１のピストン（２６）の前記第１の磁気素子（１５０、１５２）と相互作用するように位置付けられ、前記回転子（２０）が前記回転軸の周りを回転する時に第１の磁力を生成し、前記第１の磁力が、前記回転子（２０）の前記第１の通路（３２）内で前記第１のピストン（２６）を駆動させるのに必要な第１の量の力を表す、第１のピストン（２６）

10

を備えている回転機。

【００５１】

条項 2

複数の第２の磁気素子（１５０、１５２）を含む第２のピストン（３０）を含み、前記第２のピストン（２６）が、前記回転子（２０）の前記本体（３６）によって画定された第２の通路（３４）内で駆動され、前記固定子（１８）が、複数の第２の離散磁石（１６４、１６６）からなる複数の第２の磁石アレイ（６５Ａ、６５Ｂ、６６Ａ、６６Ｂ）を含む、条項 1 に記載の回転機（１０）。

20

【００５２】

条項 3

前記複数の第２の離散磁石（１６４、１６６）が、前記第２のピストン（３０）の前記第２の磁気素子（１５０、１５２）と相互作用するように位置付けられ、前記回転子が前記回転軸の周りを回転する時に第２の磁力を生成し、前記第２の磁力が、前記回転子（２０）の前記第２の通路（３４）内で前記第２のピストン（３０）を駆動させるのに必要な第２の量の力を表す、条項 2 に記載の回転機（１０）。

【００５３】

30

条項 4

前記複数の第１の離散磁石（１６０、１６２）が、前記第１のピストン（２６）の前記第１の磁気素子（１５０、１５２）によって画定された磁化の第２の方向とは反対の磁化の第１の方向を画定する、条項 1 に記載の回転機（１０）。

【００５４】

条項 5

前記複数の第１の離散磁石（１６０、１６２）が、強磁性バー（１６７、１６８）を含み、前記第１のピストン（２６）の前記第１の磁気素子（１５０、１５２）が、永久磁石である、条項 1 に記載の回転機（１０）。

【００５５】

40

条項 6

前記複数の第１の離散磁石（１６０、１６２）が、永久磁石であり、前記第１のピストン（２６）の前記第１の磁気素子（１５０、１５２）が、強磁性バー（２５０、２５２）である、条項 1 に記載の回転機（１０）。

【００５６】

条項 7

前記回転機（１０）が、動作の４段階を含むスターリングエンジンである、条項 1 に記載の回転機（１０）。

【００５７】

条項 8

50

前記第 1 の磁力が、前記第 1 のピストン (2 6) を前記スターリングエンジンの動作の 4 段階のうちの 1 つに駆動するように構成されている、条項 7 に記載の回転機 (1 0) 。

【 0 0 5 8 】

条項 9

前記回転機が、スターリングサイクルを利用する低温クーラーであり、前記低温クーラーが、負荷 (5 0) に冷却をもたらす、条項 1 に記載の回転機 (1 0) 。

【 0 0 5 9 】

条項 1 0

前記第 1 のピストン (2 6) が、軸受 (7 0) によって前記回転子 (2 0) に連結されている、条項 1 に記載の回転機 (1 0) 。

10

【 0 0 6 0 】

条項 1 1

前記軸受 (7 0) が、たわみ軸受、気体軸受、滑り軸受、及びリニアボール軸受からなる群から選択される、条項 1 0 に記載の回転機 (1 0) 。

【 0 0 6 1 】

条項 1 2

前記第 1 のピストン (2 6) が、前記回転子 (2 0) の前記回転軸に対して実質的に垂直な方向に、前記第 1 の通路 (3 2) 内で配向される、条項 1 に記載の回転機 (1 0) 。

【 0 0 6 2 】

条項 1 3

前記第 1 のピストン (2 6) が、前記回転子 (2 0) の前記回転軸に対して実質的に平行な方向に駆動される、条項 1 に記載の回転機 (1 0) 。

20

【 0 0 6 3 】

条項 1 4

前記第 1 の磁気素子 (1 5 0 、 1 5 2) が、前記回転子 (2 0) の前記回転軸に対して実質的に垂直な磁化の方向を画定する、条項 1 に記載の回転機 (1 0) 。

【 0 0 6 4 】

条項 1 5

前記第 1 の磁気素子 (1 5 0 、 1 5 2) が、前記回転子 (2 0) の前記回転軸に対して実質的に平行な磁化の方向を画定する、条項 1 に記載の回転機 (1 0) 。

30

【 0 0 6 5 】

条項 1 6

前記回転子 (2 0) の前記回転軸の周りに位置付けされた再生器 (2 4) を含む、条項 1 に記載の回転機 (1 0) 。

【 0 0 6 6 】

条項 1 7

第 1 の再生器 (2 4 A) 及び第 2 の再生器 (2 4 B) を含む、前記第 1 の再生器 (2 4 A) が、前記回転子 (2 0) の第 1 の側部 (3 0 2) に位置付けされ、前記第 2 の再生器 (2 4 B) が、前記第 1 の側部 (3 0 2) の反対側の、前記回転子 (2 0) の第 2 の側部 (3 0 2) に位置付けされている、条項 1 に記載の回転機 (1 0) 。

40

【 0 0 6 7 】

条項 1 8

回転機 (1 0) の一部である回転子 (2 0) の第 1 の通路 (3 2) 内で第 1 のピストン (2 6) を駆動させる方法であって、

回転軸の周りで前記回転子 (2 0) を回転させることであって、前記回転子 (2 0) が、周縁 (1 4 8) を画定する固定子 (1 8) によって囲まれ、複数の第 1 の磁石アレイ (6 7 A 、 6 7 B 、 6 8 A 、 6 8 B) が、第 1 の磁石パターンで前記固定子 (1 8) の前記周縁 (1 4 8) の周りに配置された複数の第 1 の離散磁石 (1 6 0 、 1 6 2) からなる、前記回転子 (2 0) を回転させることと、

前記回転子 (2 0) が前記回転軸の周りで回転する時に第 1 の磁力を生成することであ

50

って、前記第 1 の磁力が、前記固定子 (1 8) の前記周縁 (1 4 8) の周りに配置された前記複数の第 1 の離散磁石 (1 6 0 、 1 6 2) と前記第 1 のピストン (2 6) の複数の第 1 の磁気素子 (1 5 0 、 1 5 2) との間の相互作用によって生成される、第 1 の磁力を生成することと、

前記第 1 の磁力によって、前記回転子 (2 0) の前記第 1 の通路 (3 2) 内で前記第 1 のピストン (2 6) を駆動させることとを含む方法。

【 0 0 6 8 】

条項 1 9

前記回転子 (2 0) が前記回転軸の周りを回転する時に第 2 の磁力を生成することをさらに含み、前記第 2 の磁力が、前記回転子 (2 0) の第 2 の通路 (3 4) 内で第 2 のピストン (3 0) を駆動させるのに必要な第 2 の量の力を表す、条項 1 8 に記載の方法。

10

【 0 0 6 9 】

条項 2 0

前記第 1 のピストン (2 6) をスターリングサイクルの 4 段階のうちの 1 つに駆動することを含む、条項 1 8 に記載の方法。

【 0 0 7 0 】

本明細書に記載の装置及び方法の形態は、本開示の好ましい態様を構成しているが、本開示は、これらの装置及び方法の厳密な形態に限定されず、これらに対する変更を、本開示の範囲から逸脱せずに行うことができることを理解されたい。

20

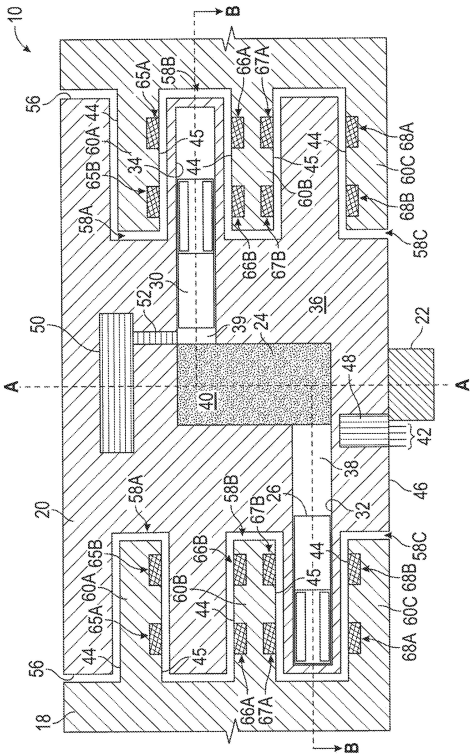
30

40

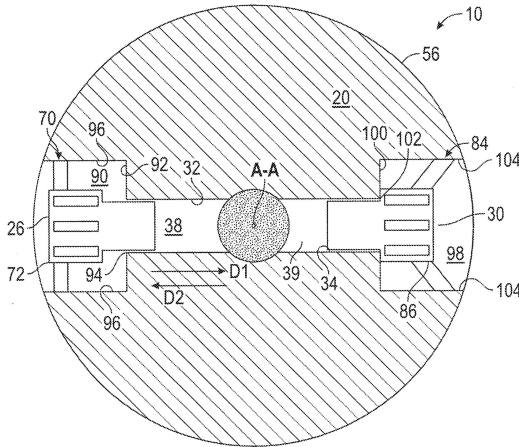
50

【図面】

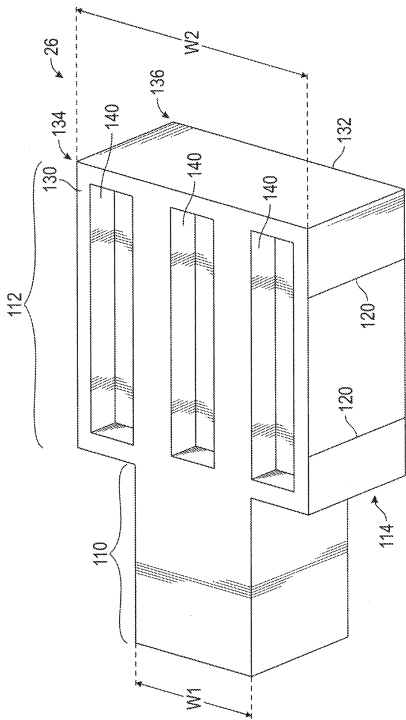
【図 1】



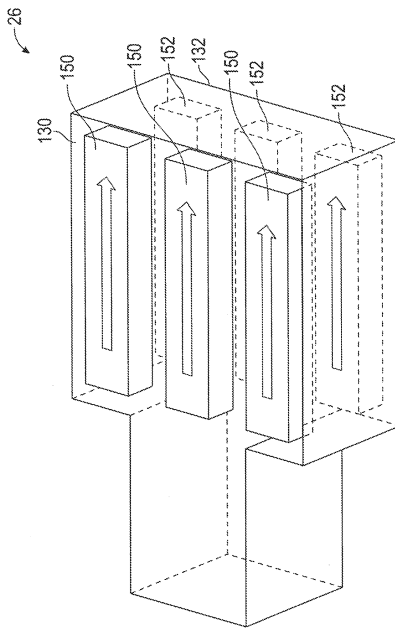
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

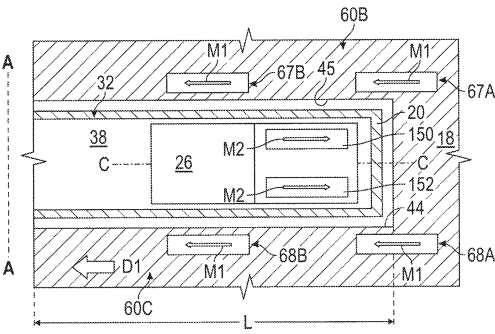
20

30

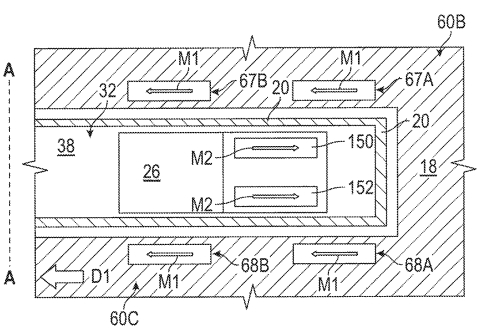
40

50

【図 5 A】

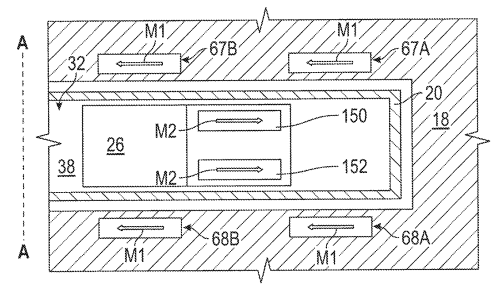


【図 5 B】

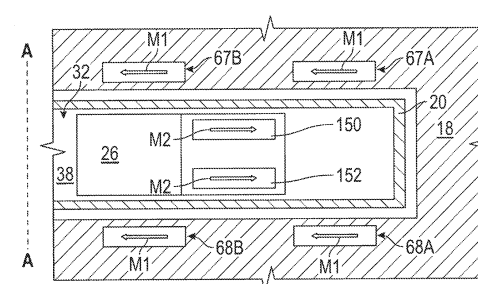


10

【図 5 C】



【図 5 D】



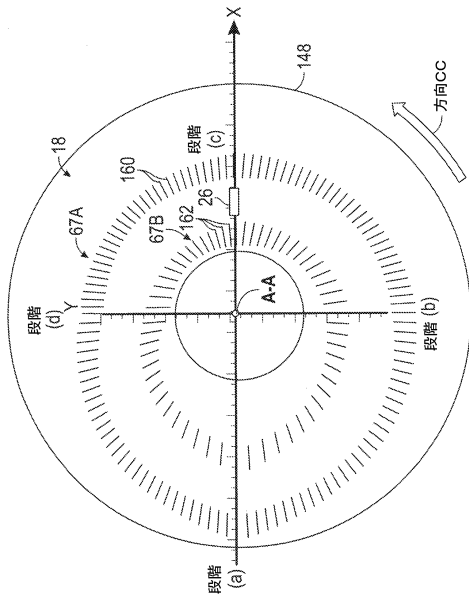
20

30

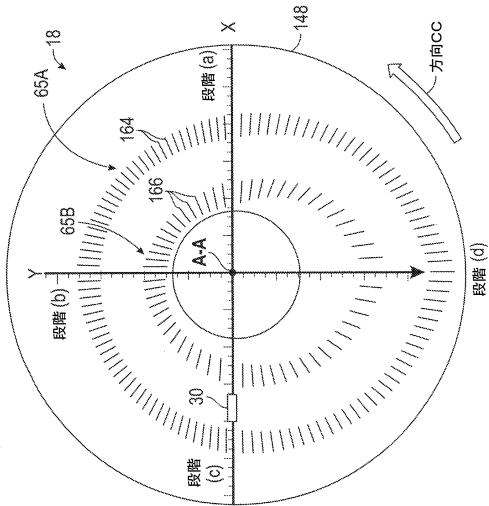
40

50

【図 6】



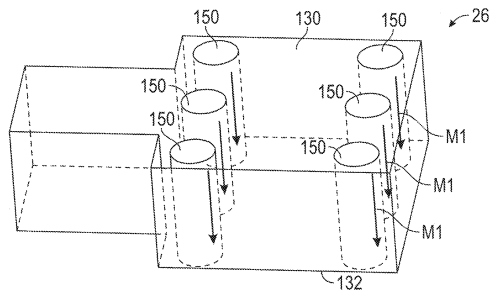
【図 7】



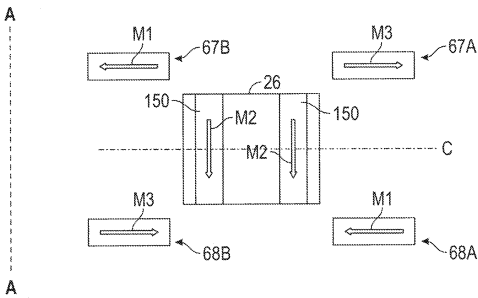
10

20

【図 8】



【図 9】

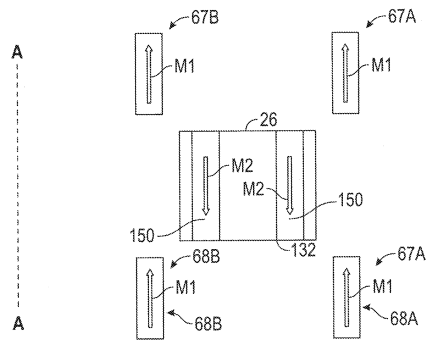


30

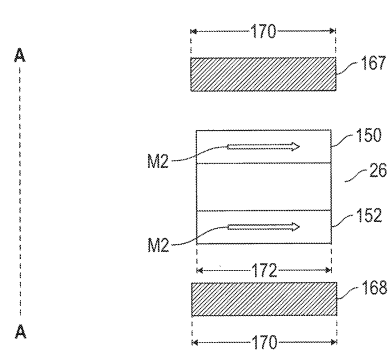
40

50

【図 1 0】

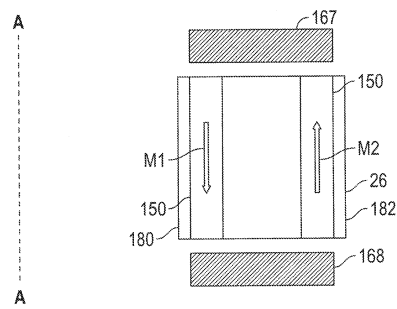


【図 1 1】

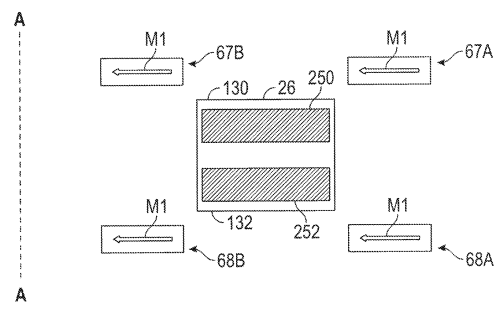


10

【図 1 2】



【図 1 3】



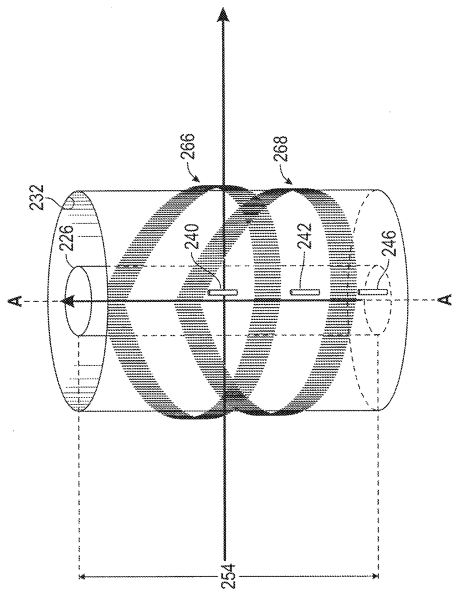
20

30

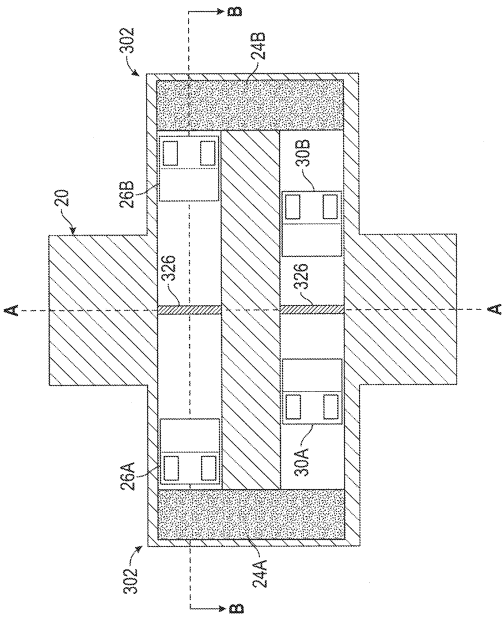
40

50

【図 1 4】



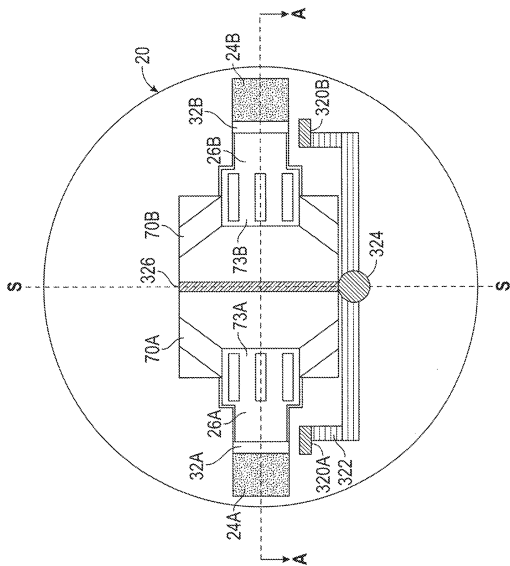
【図 1 5】



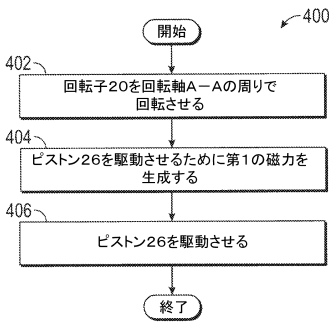
10

20

【図 1 6】



【図 1 7】



30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 国際公開第 2 0 1 1 / 1 5 3 9 7 9 (W O , A 2)
 特表 2 0 1 5 - 5 1 3 2 9 3 (J P , A)
 米国特許出願公開第 2 0 0 7 / 0 2 1 0 6 5 9 (U S , A 1)
 特開 2 0 0 5 - 0 0 2 9 1 9 (J P , A)
 特開 2 0 0 8 - 1 9 0 7 2 7 (J P , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
 F 0 2 G 1 / 0 4 3
 F 0 2 G 1 / 0 5 3