

(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
2018年11月15日(15.11.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/207669 A1

- (51) 国際特許分類:
H02K 16/00 (2006.01) *F16C 32/04* (2006.01)
F04D 17/10 (2006.01) *H02K 7/09* (2006.01)
F04D 29/00 (2006.01) *H02K 7/14* (2006.01)
F04D 29/058 (2006.01) *H02K 21/14* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/017198
- (22) 国際出願日: 2018年4月27日(27.04.2018)
- (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 2017-093330 2017年5月9日(09.05.2017) JP
- (71) 出願人: ダイキン工業株式会社 (DAIKIN INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒5308323 大阪府

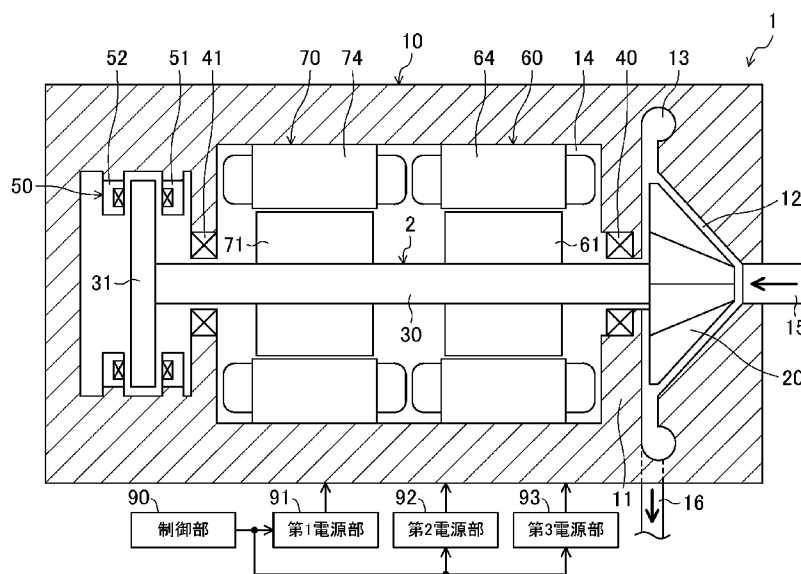
大阪市北区中崎西2丁目4番12号 梅田センタービル Osaka (JP).

(72) 発明者: 中澤 勇二 (NAKAZAWA Yuji); 〒5308323 大阪府大阪市北区中崎西2丁目4番12号 梅田センタービル ダイキン工業株式会社内 Osaka (JP). 阪脇 篤(SAKAWAKI Atsushi); 〒5308323 大阪府大阪市北区中崎西2丁目4番12号 梅田センタービル ダイキン工業株式会社内 Osaka (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人前田特許事務所 (MAEDA & PARTNERS); 〒5300004 大阪府大阪市北区堂島浜1丁目2番1号 新ダイビル23階 Osaka (JP).

(54) Title: ELECTRIC MOTOR SYSTEM AND TURBO COMPRESSOR PROVIDED THEREWITH

(54) 発明の名称: 電動機システムおよびそれを備えたターボ圧縮機



90 Control unit
 91 First power supply unit
 92 Second power supply unit
 93 Third power supply unit

(57) Abstract: The radial load of a drive shaft (30) is supported only by a plurality of bearingless motors (60, 70). The maximum values of the radial load applied to the respective bearingless motors (60, 70) are nonuniform. In the bearingless motor (60) in which the maximum value of the radial load is the greatest, the maximum value of a supporting magnetic flux produced for generating an electromagnetic force supporting the radial load is greater than that of the bearingless motor (70) in which the maximum value of the radial load is the smallest. As a result, it is possible to reduce the size of



WO 2018/207669 A1

(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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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.

(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, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類 :

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

a rotary system, including the drive shaft and a load, in an electric motor system.

(57) 要約 : 駆動軸 (30) のラジアル荷重は、複数のベアリングレスモータ (60,70) のみによって支持される。複数のベアリングレスモータ (60,70) のそれぞれに作用するラジアル荷重の最大値は不均一である。ラジアル荷重の最大値が最も大きいベアリングレスモータ (60) は、ラジアル荷重の最大値が最も小さいベアリングレスモータ (70) に比べて、ラジアル荷重を支持する電磁力を発生させるために生じる支持用磁束の最大値が大きい。その結果、電動機システムにおいて負荷および駆動軸を含む回転系を小型化できる。

明 細 書

発明の名称：電動機システムおよびそれを備えたターボ圧縮機

技術分野

[0001] 本発明は、電動機システムおよびそれを備えたターボ圧縮機に関するものである。

背景技術

[0002] 従来より、負荷を回転駆動する駆動軸と、この駆動軸を回転駆動するための電動機とを備えた電動機システムが知られている（例えば、特許文献1）。同文献の電動機システムは、ターボ圧縮機に設けられるものであって、駆動軸のラジアル荷重を電磁力によって非接触で支持する2つのラジアル磁気軸受と、駆動軸の軸方向位置を電磁力によって非接触で制御する1つのスラスト磁気軸受とを備えている。2つのラジアル磁気軸受は、電動機の両側に1つずつ配置されている。

[0003] 一方で、近年、「磁気軸受機能を磁氣的に一体化したモータ」として定義されるベアリングレスモータが研究および実用化されてきている（例えば、特許文献2）。このベアリングレスモータは、例えば補助人工心臓などに応用されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2016-114114号公報

特許文献2：特開2014-241725号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] ところで、上記電動機システムにおける電動機と2つのラジアル磁気軸受とに代えて、ベアリングレスモータを用いることが考えられる。その場合、駆動軸のチルト方向における位置制御が実行可能となるように、複数のベアリングレスモータを駆動軸の軸方向に並べて設けることがさらに考えられる

。

[0006] ここで、複数のベアリングレスモータに作用するラジアル荷重の最大値は不均一である。具体的には、駆動軸のラジアル荷重の最大値は、例えば負荷に近いほど大きい。そのため、複数のベアリングレスモータの全てを同じように設計しようとする、ラジアル荷重の最大値が最も大きいベアリングレスモータにあわせて設計することになり、ラジアル荷重の最大値が最大ではないベアリングレスモータ（特に、ラジアル荷重の最大値が最も小さいベアリングレスモータ）が不必要に大型化してしまうおそれがある。ベアリングレスモータの大型化は、電動機システムにおける負荷および駆動軸を含む回転系の大型化につながる。

[0007] 本発明は、かかる点に鑑みてなされたものであり、その目的は、電動機システムにおいて負荷および駆動軸を含む回転系を小型化することにある。

課題を解決するための手段

[0008] 本開示の第1の態様は、電動機システム(2)を対象とする。この電動機システム(2)は、負荷(20)を回転駆動する駆動軸(30)と、上記駆動軸(30)の軸方向に並んで配置され、それぞれが一对の回転子(61,71)と固定子(64,74)を有して電磁力によって上記駆動軸(30)を回転駆動しかつ上記駆動軸(30)のラジアル荷重を非接触で支持する複数のベアリングレスモータ(60,70)とを備え、上記駆動軸(30)のラジアル荷重が、上記複数のベアリングレスモータ(60,70)のみによって支持されるように構成され、上記複数のベアリングレスモータ(60,70)のそれぞれに作用する上記ラジアル荷重の最大値が不均一であり、作用する上記ラジアル荷重の最大値が最も大きい上記ベアリングレスモータ(60)は、作用する上記ラジアル荷重の最大値が最も小さい上記ベアリングレスモータ(70)に比べて、上記駆動軸(30)のラジアル荷重を支持する支持力の最大値が大きい。

[0009] 上記第1の態様では、複数のベアリングレスモータ(60,70)のみによって駆動軸(30)のラジアル荷重が支持される。また、作用するラジアル荷重の最大値が最も大きいベアリングレスモータ(60)は、作用するラジアル荷重

の最大値が最も小さいベアリングレスモータ（70）に比べて、駆動軸（30）のラジアル荷重を支持する支持力の最大値が大きいため、当該ラジアル荷重に対する大きな支持力を発生させることができる。

[0010] つまり、駆動軸（30）のうちラジアル荷重の最大値が大きな部分に、大きな支持力を発生できるベアリングレスモータ（60）が配置され、よって駆動軸（30）におけるラジアル荷重分布に最適なベアリングレスモータ（60,70）の配置が得られる。また、駆動軸（30）のラジアル荷重を支持するために従来用いられてきたラジアル磁気軸受が不要となる。したがって、負荷（20）および駆動軸（30）を含む回転系が小型化され得る。

[0011] 本開示の第2の態様は、上記第1の態様において、作用する上記ラジアル荷重の最大値が最も大きい上記ベアリングレスモータ（60）は、作用する上記ラジアル荷重の最大値が最も小さい上記ベアリングレスモータ（70）に比べて、上記ラジアル荷重を支持する電磁力を発生させるために生じる支持用磁束の最大値が大きいことを特徴とする。

[0012] 上記第2の態様では、作用するラジアル荷重の最大値が最も大きいベアリングレスモータ（60）を、支持用磁束の最大値が大きくなるように設計することで、当該ベアリングレスモータ（60）が生じる駆動軸（30）のラジアル荷重を支持する支持力を大きくしている。

[0013] 本開示の第3の態様は、上記第1または第2の態様において、上記ラジアル荷重の最大値が最も大きい上記ベアリングレスモータ（60）は、上記ラジアル荷重の最大値が最も小さい上記ベアリングレスモータ（70）に比べて、上記ラジアル荷重を支持する支持力を発生させるための磁路の磁気抵抗が小さいことを特徴とする。

[0014] 上記第3の態様は、ラジアル荷重を支持する支持力を発生させるための磁路の磁気抵抗が小さいほど、大きな支持力を発生させられることを利用したものである。つまり、ラジアル荷重を支持する支持力を発生させるための磁路の磁気抵抗が小さいベアリングレスモータ（60）は、当該磁気抵抗が大きいベアリングレスモータ（70）よりも大きなラジアル支持力を発生させるこ

とができる。これにより、駆動軸（30）のうちラジアル荷重の最大値が大きな部分に大きなラジアル支持力を発生させられるベアリングレスモータ（60）が配置され、駆動軸（30）のラジアル荷重分布に最適なベアリングレスモータ（60,70）の配置が得られる。

[0015] 本開示の第4の態様は、上記第1または第2の態様において、上記複数のベアリングレスモータ（60,70）のそれぞれに対応して設けられ、該ベアリングレスモータ（60,70）に上記ラジアル荷重の支持に寄与する磁束を発生させる電流を流すための電気回路（91,92）を備え、上記ラジアル荷重の最大値が最も大きい上記ベアリングレスモータ（60）に対応する上記電気回路（91）は、上記ラジアル荷重の最大値が最も小さい上記ベアリングレスモータ（70）に対応する上記電気回路（92）に比べて、上記ラジアル荷重の支持に寄与する磁束を発生させる電流の最大値が大きいことを特徴とする。

[0016] 上記第4の態様は、ベアリングレスモータ（60,70）に流れるラジアル荷重の支持に寄与する磁束を発生させる電流が大きいほど、大きな支持力を発生させられることを利用したものである。つまり、ラジアル荷重の支持に寄与する磁束を発生させる電流の最大値が大きい電気回路（91）に対応するベアリングレスモータ（60）は、当該電流の最大値が小さい電気回路（92）に対応するベアリングレスモータ（70）よりも大きなラジアル支持力を発生させることができる。これにより、駆動軸（30）のうちラジアル荷重の最大値が大きな部分に大きなラジアル支持力を発生させられるベアリングレスモータ（60）が配置され、駆動軸（30）のラジアル荷重分布に最適なベアリングレスモータ（60,70）の配置が得られる。

[0017] 本開示の第5の態様は、上記第1または第2の態様において、上記複数のベアリングレスモータ（60,70）のそれぞれの上記固定子（64,74）は、上記ラジアル荷重の支持に寄与する磁束を生じさせるためのコイル（66a~66c,67a~67c,76a~76c,77a~77c）を有し、上記ラジアル荷重の最大値が最も大きい上記ベアリングレスモータ（60）は、上記ラジアル荷重の最大値が最も小さい上記ベアリングレスモータ（70）に比べて、上記コイル（66a~66c,67a

～67c, 76a～76c, 77a～77c) の巻数が大きいことを特徴とする。

[0018] 上記第5の態様は、ラジアル荷重の支持に寄与する磁束を生じさせるためのコイル (66a～66c, 67a～67c, 76a～76c, 77a～77c) の巻数が大きいほど、大きな支持力を発生させられることを利用したものである。つまり、ラジアル荷重の支持に寄与する磁束を生じさせるためのコイル (66a～66c, 67a～67c, 76a～76c, 77a～77c) の巻数が大きいベアリングレスモータ (60) は、当該コイル (66a～66c, 67a～67c, 76a～76c, 77a～77c) の巻数が小さいベアリングレスモータ (70) よりも大きなラジアル支持力を発生させることができる。これにより、駆動軸 (30) のうちラジアル荷重の最大値が大きな部分に大きなラジアル支持力を発生させられるベアリングレスモータ (60) が配置され、駆動軸 (30) のラジアル荷重分布に最適なベアリングレスモータ (60, 70) の配置が得られる。

[0019] 本開示の第6の態様は、上記第1～第5の態様のいずれか1つにおいて、上記複数のベアリングレスモータ (60, 70) の上記回転子 (61, 71) は、それぞれ複数の永久磁石 (63, 73) を有し、上記ラジアル荷重の最大値が最も小さい上記ベアリングレスモータ (70) は、上記ラジアル荷重の最大値が最も大きい上記ベアリングレスモータ (60) に比べて、上記回転子 (61, 71) の有する永久磁石 (63, 73) の数が多いことを特徴とする。

[0020] 上記第6の態様は、回転子 (61, 71) の有する永久磁石 (63, 73) の数が多いほど、当該永久磁石 (63, 73) によって生じる磁石磁束の磁束密度が大きくなり、よって大きな駆動トルクを発生させられることを利用したものである。つまり、回転子 (71) の有する永久磁石 (73) の数が多いベアリングレスモータ (70) は負荷 (20) および駆動軸 (30) の回転駆動に適したものとなり、回転子 (61) の有する永久磁石 (63) の数が少ないベアリングレスモータ (60) は駆動軸 (30) のラジアル荷重の支持に適したものとなる。

[0021] 本開示の第7の態様は、上記第6の態様において、上記ラジアル荷重の最大値が最も小さい上記ベアリングレスモータ (70) の全ての上記永久磁石 (73) と、上記ラジアル荷重の最大値が最も大きい上記ベアリングレスモータ (

60) の全ての上記永久磁石 (63) とは、互いに同形状であることを特徴とする。

[0022] 上記第7の態様では、少なくとも2つのベアリングレスモータ (60,70) の全ての永久磁石 (63,73) を同形状とすることにより、電動機システム (2) の低コスト化が図られる。

[0023] 本開示の第8の態様は、上記第7の態様において、上記ラジアル荷重の最大値が最も小さい上記ベアリングレスモータ (70) の上記永久磁石 (73) の数は、上記ラジアル荷重の最大値が最も大きい上記ベアリングレスモータ (60) の上記永久磁石 (63) の数の2倍であって、上記ラジアル荷重の最大値が最も小さい上記ベアリングレスモータ (70) における上記回転子 (71) の周方向に隣り合う上記永久磁石 (73) 間の角度ピッチ (AP2) は、上記ラジアル荷重の最大値が最も大きい上記ベアリングレスモータ (60) における上記回転子 (61) の周方向に隣り合う上記永久磁石 (63) 間の角度ピッチ (AP1) の半分であることを特徴とする。

[0024] 上記第8の態様では、ベアリングレスモータ (60,70) の回転子 (61,71) を打抜き加工された積層鋼板で構成する場合に、ラジアル荷重の最大値が最も大きいベアリングレスモータ (60) の回転子 (63) の製造とラジアル荷重の最大値が最も小さいベアリングレスモータ (70) の回転子 (73) の製造とに共通の金型が使用され得る。なぜなら、同形状の永久磁石 (63,73) を収容するための同形状の貫通孔が、ラジアル荷重の最大値が最も大きいベアリングレスモータ (60) の回転子 (61) とラジアル荷重の最大値が最も小さいベアリングレスモータ (70) の回転子 (71) との両方において、同じ位置に配置されるためである。

[0025] 上記第8の態様では、例えば、ラジアル荷重の最大値が最も大きいベアリングレスモータ (60) が有する永久磁石 (63) の数が4つである場合、ラジアル荷重の最大値が最も小さいベアリングレスモータ (70) が有する永久磁石 (73) の数は8つである。そして、前者の4つの永久磁石 (63) は回転子 (61) の周方向において90°の角度ピッチ (AP1) で配置される一方、後者

の8つの永久磁石(73)は回転子(71)の周方向において45°の角度ピッチ(AP2)で配置される。45°の角度ピッチ(AP2)で配置された8つの永久磁石(73)の中には、90°の角度ピッチ(AP1)で配置された4つの永久磁石(63)の組が互いに45°だけずれて2組含まれる。よって、この例では、ラジアル荷重の最大値が最も大きいベアリングレスモータ(60)の回転子(61)を構成する積層鋼板を打ち抜くときと、ラジアル荷重の最大値が最も小さいベアリングレスモータ(70)の回転子(71)を構成する積層鋼板を打ち抜くときとの両方において、90°の角度ピッチ(AP1)で配置された所定形状の貫通孔を形成することのできる一種類の金型を共通に使用することができる。

[0026] 本開示の第9の態様は、ターボ圧縮機(1)を対象とする。このターボ圧縮機(1)は、上記第1～第8の態様のいずれか1つに係る電動機システム(2)と、インペラ(20)とを備え、上記インペラ(20)は、上記駆動軸(30)によって回転駆動される負荷(20)である。

[0027] 上記第9の態様では、上記第1～第8の態様のいずれか1つに係る作用効果を奏するターボ圧縮機(1)が提供される。

[0028] 本開示の第10の態様は、上記第9の態様において、上記インペラ(20)は、上記駆動軸(30)の一端のみに設けられ、作用する上記ラジアル荷重の最大値が最も大きい上記ベアリングレスモータ(60)は、上記複数のベアリングレスモータ(60,70)の中で最も上記インペラ(20)寄りに配置されていることを特徴とする。

[0029] 上記第10の態様では、大きなラジアル支持力を発生させることのできるベアリングレスモータ(60)が、複数のベアリングレスモータ(60,70)の中で最もインペラ(20)寄り(すなわち、駆動軸(30)のラジアル荷重が大きい箇所)に配置される。このため、駆動軸(30)のラジアル荷重分布に最適なベアリングレスモータ(60,70)の配置が得られる。

発明の効果

[0030] 上記第1～第5の態様によれば、従来用いられてきたラジアル磁気軸受が

不要となるので、負荷（20）および駆動軸（30）を含む回転系を小型化することができ、よって電動機システム（2）を小型化することができる。

[0031] また、上記第6の態様によれば、ラジアル荷重の最大値が最も大きいベアリングレスモータ（60）を駆動軸（30）のラジアル荷重の支持に適した設計とすると同時に、ラジアル荷重の最大値が最も小さいベアリングレスモータ（70）を負荷（20）および駆動軸（30）の回転駆動に適した設計とすることができる。

[0032] また、上記第7の態様によれば、少なくとも2つのベアリングレスモータ（60,70）に対して同形状の永久磁石（63,73）を用いることで、電動機システム（2）の低コスト化を図ることができる。

[0033] また、上記第8の態様によれば、ラジアル荷重の最大値が最も大きいベアリングレスモータ（60）の回転子（61）とラジアル荷重の最大値が最も小さいベアリングレスモータ（70）の回転子（71）とを積層鋼板で構成する場合に、打抜き加工に用いる金型を両ベアリングレスモータ（60,70）に対して共通化することができる。

図面の簡単な説明

[0034] [図1]図1は、本発明の実施形態のターボ圧縮機の構成例を示す正面図である。

[図2]図2は、第1ベアリングレスモータの構成例を示す横断面図である。

[図3]図3は、第1ベアリングレスモータの横断面図であって、磁石磁束と駆動用磁束とを示してある。

[図4]図4は、第1ベアリングレスモータの横断面図であって、磁石磁束と支持用磁束とを示してある。

[図5]図5は、第1ベアリングレスモータの横断面図であって、磁石磁束と駆動用磁束と支持用磁束とを示してある。

[図6]図6は、第2ベアリングレスモータの構成例を示す横断面図であって、磁石磁束と駆動用磁束と支持用磁束とを示してある。

発明を実施するための形態

[0035] 本発明の実施形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、以下の実施形態は、本質的に好ましい例示であって、本発明、その適用物、あるいはその用途の範囲を制限することを意図するものではない。

[0036] <ターボ圧縮機の構成>

本実施形態のターボ圧縮機(1)は、冷凍サイクルを行う冷媒回路(図示せず)に設けられて冷媒を圧縮するものである。図1に示すように、ターボ圧縮機(1)は、ケーシング(10)と、インペラ(20)と、駆動軸(30)と、タッチダウン軸受(40,41)と、スラスト磁気軸受(50)と、制御部(90)と、第1～第3電源部(91～93)と、第1ベアリングレスモータ(60)と、第2ベアリングレスモータ(70)とを備えている。第1ベアリングレスモータ(60)と第2ベアリングレスモータ(70)とは、駆動軸(30)の軸方向に並んで配置されている。

[0037] 駆動軸(30)と第1および第2ベアリングレスモータ(60,70)とは電動機システム(2)を構成している。インペラ(20)は負荷を構成しているが、負荷の種類はインペラ(20)に限られるものではない。

[0038] なお、本明細書の説明において、「軸方向」とは、回転軸方向のことであって、駆動軸(30)の軸心の方向のことであり、「径方向」とは、駆動軸(30)の軸方向と直交する方向のことである。また、「外周側」とは、駆動軸(30)の軸心からより遠い側のことであり、「内周側」とは、駆動軸(30)の軸心により近い側のことである。

[0039] ケーシング

ケーシング(10)は、両端が閉塞された円筒状に形成され、円筒軸線が水平向きとなるように配置されている。ケーシング(10)内の空間は、壁部(11)によって区画され、壁部(11)よりも右側の空間がインペラ(20)を収容するインペラ室(12)を構成し、壁部(11)よりも左側の空間が第1および第2ベアリングレスモータ(60,70)を収容する電動機室(14)を構成している。そして、ケーシング(10)内を軸方向に延びる駆動軸(30)がインペラ(20)と第1および第2ベアリングレスモータ(60,70)とを連結している。

第1ベアリングレスモータ（60）は作用するラジアル荷重の最大値が最も大きいベアリングレスモータ（この例では、インペラ（20）に最も近いベアリングレスモータ）を構成し、第2ベアリングレスモータ（70）は作用するラジアル荷重の最大値が最も小さいベアリングレスモータ（この例では、インペラ（20）から最も遠いベアリングレスモータ）を構成している。

[0040] －インペラ－

インペラ（20）は、複数の羽根によって外形が略円錐形状となるように形成されている。インペラ（20）は、駆動軸（30）の一端に固定された状態で、インペラ室（12）に收容されている。インペラ室（12）には、吸入管（15）および吐出管（16）が接続され、インペラ室（12）の外周部には、圧縮空間（13）が形成されている。吸入管（15）は、冷媒を外部からインペラ室（12）内に導くために設けられ、吐出管（16）は、インペラ室（12）内で圧縮された高圧の冷媒を外部へ戻すために設けられている。

[0041] －タッチダウン軸受－

ターボ圧縮機（1）には2つのタッチダウン軸受（40,41）が設けられている。一方のタッチダウン軸受（40）は駆動軸（30）の一端部（図1の右側端部）近傍に設けられ、他方のタッチダウン軸受（41）は駆動軸（30）の他端部近傍に設けられている。これらのタッチダウン軸受（40,41）は、第1および第2ベアリングレスモータ（60,70）が非通電であるとき（すなわち、駆動軸（30）が浮上していないとき）に駆動軸（30）を支持するように構成されている。

[0042] －スラスト磁気軸受－

図1に示すように、スラスト磁気軸受（50）は、第1および第2電磁石（51,52）を有していて、駆動軸（30）の他端部（すなわち、インペラ（20）が固定された一端部とは反対側の端部）に設けられた円板状の部分（以下、円板部（31））を電磁力によって非接触で支持するように構成されている。そして、スラスト磁気軸受（50）は、第1および第2電磁石（51,52）に流れる電流を制御することにより、第1および第2電磁石（51,52）の対向方向（す

なわち、軸方向、図1では左右方向)における駆動軸(30)の被支持部(円板部(31))の位置を制御することができる。

[0043] ー制御部ー

制御部(90)は、駆動軸(30)の位置が所望の位置となるように、円板部(31)とスラスト磁気軸受(50)との間のギャップを検出可能なギャップセンサ(図示せず)の検出値、第1および第2ベアリングレスモータ(60,70)における固定子(64,74)と回転子(61,71)との間のギャップを検出可能なギャップセンサ(図示せず)の検出値、およびインペラ(20)および駆動軸(30)の目標回転速度の情報に基づいて、スラスト磁気軸受(50)に供給する電圧を制御するための電圧指令値(スラスト電圧指令値)や、第1および第2ベアリングレスモータ(60,70)に供給する電圧を制御するための電圧指令値(モータ電圧指令値)を出力する。例えば、制御部(90)は、マイクロコンピュータ(図示せず)と、マイクロコンピュータを動作させるプログラムとによって構成することが可能である。

[0044] ー電源部ー

第1電源部(91)は、制御部(90)からのモータ電圧指令値に基づいて、第1ベアリングレスモータ(60)に電圧を供給する。第2電源部(92)は、制御部(90)からのモータ電圧指令値に基づいて、第2ベアリングレスモータ(70)に電圧を供給する。第3電源部(93)は、制御部(90)スラスト電圧指令値に基づいて、スラスト磁気軸受(50)に電圧を供給する。第1電源部(91)は、第2電源部(92)に比べて、駆動軸(30)のラジアル荷重を支持に寄与する磁束(すなわち、駆動用磁束および支持用磁束)を発生させる電流の最大値が大きい。例えば、第1～第3電源部(91～93)は、それぞれPWM(Pulse Width Modulation)アンプによって構成することが可能である。第1電源部(91)は第1ベアリングレスモータ(60)に対応する電気回路を構成し、第2電源部(92)は第2ベアリングレスモータ(70)に対応する電気回路を構成している。

[0045] ー第1ベアリングレスモーター

第1ベアリングレスモータ(60)は、電動機室(14)のうちインペラ(20)に近い側に配置されている。第1ベアリングレスモータ(60)は、電磁力によって駆動軸(30)を回転駆動しかつ駆動軸(30)のラジアル荷重を非接触で支持するように構成されている。第1ベアリングレスモータ(60)は、一对の回転子(61)と固定子(64)を有する。回転子(61)は駆動軸(30)に固定され、固定子(64)はケーシング(10)の内周壁に固定されている。

[0046] 図2は、第1ベアリングレスモータ(60)の構成例を示す横断面図である。同図に示すように、第1ベアリングレスモータ(60)は、コンセクエントポール型のベアリングレスモータである。第1ベアリングレスモータ(60)の固定子(64)は、バックヨーク部(65)と、図示を省略する複数のティース部と、ティース部に巻回された駆動用コイル(66a~66c)および支持用コイル(67a~67c)とを有する。第1ベアリングレスモータ(60)の回転子(61)は、コア部(62)と、このコア部(62)に埋設された複数(この例では、4つ)の永久磁石(63)とを有する。

[0047] 固定子(64)は、磁性材料(例えば、積層鋼板)で構成されている。固定子(64)のバックヨーク部(65)は、円筒状に形成されている。駆動用コイル(66a~66c)および支持用コイル(67a~67c)は、各ティース部に分布巻方式で巻回されている。なお、駆動用コイル(66a~66c)および支持用コイル(67a~67c)は、各ティース部に集中巻方式で巻回されていてもよい。

[0048] 駆動用コイル(66a~66c)は、ティース部のうち内周側に巻回されたコイルである。駆動用コイル(66a~66c)は、図2において太実線で囲んで示すU相駆動用コイル(66a)と、太破線で囲んで示すV相駆動用コイル(66b)と、細実線で囲んで示すW相駆動用コイル(66c)とから構成されている。第1ベアリングレスモータ(60)の駆動用コイル(66a~66c)の巻数は、後述する第2ベアリングレスモータ(70)の駆動用コイル(76a~76c)の巻数よりも大きい。駆動用コイル(66a~66c, 76a~76c)によって生じる駆動用磁束の一部は駆動軸(30)のラジアル荷重を支持する支持力の発生に寄与するため(すなわち、駆動用磁束はラジアル荷重の支持に寄与する磁束であるため

）、この巻数の大小関係が満たされる場合、第1ベアリングレスモータ（60）が第2ベアリングレスモータ（70）よりも大きなラジアル支持力を発生させやすくなる。なお、第1ベアリングレスモータ（60）の駆動用コイル（66a～66c）の巻数は、第2ベアリングレスモータ（70）の駆動用コイル（76a～76c）の巻数以下であってもよい。

[0049] 支持用コイル（67a～67c）は、ティース部のうち外周側に巻回されたコイルである。支持用コイル（67a～67c）は、図2において太実線で囲んで示すU相支持用コイル（67a）と、太破線で囲んで示すV相支持用コイル（67b）と、細実線で囲んで示すW相支持用コイル（67c）とから構成されている。第1ベアリングレスモータ（60）の支持用コイル（67a～67c）の巻数は、後述する第2ベアリングレスモータ（70）の支持用コイル（77a～77c）の巻数よりも大きい。これにより、第1ベアリングレスモータ（60）は、第2ベアリングレスモータ（70）に比べて、駆動軸（30）のラジアル荷重を支持するための支持用磁束（すなわち、駆動軸（30）のラジアル荷重の支持に寄与する磁束）をより大きく発生させることができる。

[0050] また、第1ベアリングレスモータ（60）における駆動用コイル（66a～66c）の巻数と支持用コイル（67a～67c）の巻数との積は、第2ベアリングレスモータ（70）における駆動用コイル（76a～76c）の巻数と支持用コイル（77a～77c）の巻数との積よりも大きい。これにより、第1ベアリングレスモータ（60）は、第2ベアリングレスモータ（70）に比べて、駆動軸（30）のラジアル荷重を支持する支持力の最大値が大きくなる。なお、このような積の大小関係が満たされるのであれば、第1ベアリングレスモータ（60）の支持用コイル（67a～67c）の巻数は、第2ベアリングレスモータ（70）の支持用コイル（77a～77c）の巻数以下であってもよい。

[0051] 回転子（61）のコア部（62）は、円筒状に形成されている。コア部（62）の中央部には駆動軸（30）を挿通するためのシャフト孔（図示せず）が形成されている。コア部（62）は、磁性材料（例えば、積層鋼板）で構成されている。コア部（62）の外周面近傍には、この外周面に沿った形状を有する4

つの永久磁石 (63) が、回転子 (61) の周方向において 90° の角度ピッチ (AP1) で埋設されている。これら4つの永久磁石 (63) は、互いに同形状である。各永久磁石 (63) の外周面側はN極となっており、各永久磁石 (63) の間のコア部 (62) の外周面は擬似的にS極となっている。なお、各永久磁石 (63) の外周面側がS極となってもよい。

[0052] 図3には、第1ベアリングレスモータ (60) において、各永久磁石 (63) によって生じる磁石磁束 $\phi 1$ と、インペラ (20) および駆動軸 (30) を回転駆動するために生じる駆動用磁束 $B M 1$ とが示されている。第1ベアリングレスモータ (60) は、これら磁石磁束 $\phi 1$ と駆動用磁束 $B M 1$ との相互作用によって、同図に示す駆動トルク $T 1$ (すなわち、駆動軸 (30) を図3の反時計回り方向に回転させるトルク) を発生させるように構成されている。なお、同図中には、駆動用コイル (66a~66c) に流れる電流と等価の電流 $I M 1$ が示されている。

[0053] 図4には、第1ベアリングレスモータ (60) において、各永久磁石 (63) によって生じる磁石磁束 $\phi 1$ と、駆動軸 (30) のラジアル荷重を非接触で支持するために生じる支持用磁束 $B S 1$ とが示されている。第1ベアリングレスモータ (60) は、これら磁石磁束 $\phi 1$ と支持用磁束 $B S 1$ との相互作用によって、同図に示す支持力 $F 1$ (すなわち、駆動軸 (30) を図4の右方向に押す力) を発生させるように構成されている。なお、同図中には、支持用コイル (67a~67c) に流れる電流と等価の電流 $I S 1$ が示されている。

[0054] 図4からわかるように、駆動軸 (30) のラジアル荷重の支持に寄与する支持用磁束 $B S 1$ の磁路は、固定子 (64) のバックヨーク部 (65) およびティース部と、エアギャップと、回転子 (61) のコア部 (62) とを通る経路である。バックヨーク部 (65)、ティース部およびコア部 (62) の磁気抵抗は、永久磁石 (63) の磁気抵抗よりも小さい。したがって、第1ベアリングレスモータ (60) は、後述するように回転子 (71) の外周面の略全体に永久磁石 (73) が配置される第2ベアリングレスモータ (70) (すなわち、駆動軸 (30) のラジアル荷重を支持に寄与する磁束が流れる磁路中に永久磁石 (73) が

含まれる第2ベアリングレスモータ(70)に比べて、駆動軸(30)のラジアル荷重を支持する支持力を発生させるための磁路の磁気抵抗が小さい。よって、第1ベアリングレスモータ(60)は、第2ベアリングレスモータ(70)に比べて、駆動軸(30)のラジアル荷重を支持するためのラジアル支持力をより大きく発生させることができる。つまり、第1ベアリングレスモータ(60)は、第2ベアリングレスモータ(70)に比べて、駆動軸(30)のラジアル荷重を支持する支持力の最大値が大きい。

[0055] 図5には、第1ベアリングレスモータ(60)において、各永久磁石(63)によって生じる磁石磁束 $\phi 1$ と、インペラ(20)および駆動軸(30)を回転駆動するために生じる駆動用磁束 $B M 1$ と、駆動軸(30)のラジアル荷重を非接触で支持するために生じる支持用磁束 $B S 1$ とが示されている。第1ベアリングレスモータ(60)は、これら磁石磁束 $\phi 1$ と駆動用磁束 $B M 1$ と支持用磁束 $B S 1$ との相互作用によって、同図に示す駆動トルク $T 1$ および支持力 $F 1$ を同時に発生させるように構成されている。なお、同図中には、駆動用コイル(66a~66c)および支持用コイル(67a~67c)に流れる電流と等価の電流 $I M 2$, $I S 2$ が示されている。

[0056] ー第2ベアリングレスモーター

第2ベアリングレスモータ(70)は、電動機室(14)のうちインペラ(20)から遠い側に配置されている。第2ベアリングレスモータ(70)は、電磁力によって駆動軸(30)を回転駆動しかつ駆動軸(30)のラジアル荷重を非接触で支持するように構成されている。第2ベアリングレスモータ(70)は、一対の回転子(71)と固定子(74)を有する。回転子(71)は駆動軸(30)に固定され、固定子(74)はケーシング(10)の内周壁に固定されている。

[0057] 図6は、第2ベアリングレスモータ(70)の構成例を示す横断面図である。同図に示すように、第2ベアリングレスモータ(70)は、実質的には表面磁石型のベアリングレスモータと同様の挙動を示す埋込磁石型のベアリングレスモータである。

- [0058] 第2ベアリングレスモータ(70)の固定子(74)の構成は、各コイル(76a~76c, 77a~77c)の巻数を除いて、第1ベアリングレスモータ(60)の固定子(64)の構成と同じである。具体的には、第2ベアリングレスモータ(70)の駆動用コイル(76a~76c)の巻数は、第1ベアリングレスモータ(60)の駆動用コイル(66a~66c)の巻数よりも大きい。これにより、第2ベアリングレスモータ(70)は、第1ベアリングレスモータ(60)に比べて、インペラ(20)および駆動軸(30)を回転駆動するための駆動用磁束をより大きく発生させることができる。また、第2ベアリングレスモータ(70)の支持用コイル(77a~77c)の巻数は、第1ベアリングレスモータ(60)の支持用コイル(67a~67c)の巻数よりも小さい。
- [0059] 第2ベアリングレスモータ(70)の回転子(71)は、コア部(72)と、このコア部(72)に埋設された複数(この例では、8つ)の永久磁石(73)とを有する。
- [0060] 回転子(71)のコア部(72)は、円筒状に形成されている。コア部(72)の中央部には駆動軸(30)を挿通するためのシャフト孔(図示せず)が形成されている。コア部(72)は、磁性材料(例えば、積層鋼板)で構成されている。コア部(72)の外周面近傍には、この外周面に沿った形状を有する8つの永久磁石(73)が、回転子(71)の周方向において45°の角度ピッチ(AP2)(すなわち、第1ベアリングレスモータ(60)における90°の角度ピッチ(AP1)の半分)で埋設されている。これら8つの永久磁石(73)は、互いに同形状であって、さらに第1ベアリングレスモータ(60)の4つの永久磁石(63)とも互いに同形状である。各永久磁石(73)の外周面側は回転子(71)の周方向においてN極とS極とが交互に現れるようになっている。
- [0061] 図6には、第2ベアリングレスモータ(70)において、各永久磁石(73)によって生じる磁石磁束 $\phi 2$ と、インペラ(20)および駆動軸(30)を回転駆動するために生じる駆動用磁束 $B M 2$ と、駆動軸(30)のラジアル荷重を非接触で支持するために生じる支持用磁束 $B S 2$ とが示されている。第2ベアリングレスモータ(70)は、これら磁石磁束 $\phi 2$ と駆動用磁束 $B M 2$ と支

持用磁束BS2との相互作用によって、同図に示す駆動トルクT2（すなわち、駆動軸（30）を図6の反時計回り方向に回転させるトルク）および支持力F2（すなわち、駆動軸（30）を図6の右方向に押す力）を同時に発生させるように構成されている。

[0062] 図6からわかるように、支持用磁束BS2の磁路は、固定子（74）のバックヨーク部（75）およびティース部と、エアギャップと、回転子（71）の永久磁石（73）およびコア部（72）とを通る経路である。

[0063] 一方、第2ベアリングレスモータ（70）における永久磁石（73）の数は、第1ベアリングレスモータ（60）における永久磁石（63）の数よりも多い。このため、第2ベアリングレスモータ（70）は、第1ベアリングレスモータ（60）に比べて（図3を参照）、永久磁石（73）によって生じる磁石磁束の磁束密度が高い。よって、第2ベアリングレスモータ（70）は、第1ベアリングレスモータ（60）に比べて、インペラ（20）および駆動軸（30）を回転駆動するための駆動トルクをより大きく発生させることができる。

[0064] <回転子の製造方法>

次に、本実施形態の第1および第2ベアリングレスモータ（60,70）の回転子（61,71）の製造方法について説明する。ここでは、両ベアリングレスモータ（60,70）の回転子（61,71）を製造するために、一例として、1つの回転子（61,71）ごとに50枚、合計で100枚のコアシート（図示せず）が必要となる場合について説明する。

[0065] まず、第1ステップでは、鋼板材料を所定の金型（図示せず）によって打ち抜くことによって複数（この例では、100枚）のコアシートを形成する。第1ステップで使用される金型は、90°の角度ピッチ（AP1）で配置される4つの永久磁石（63）に対応する貫通孔を少なくとも形成することのできる金型である。また、第1ステップで使用される金型は、上記貫通孔に加えて、上記シャフト孔をも同時に形成できる金型であることが好ましい。

[0066] 次に、第2ステップでは、第1ステップで形成した複数のコアシートの一部（この例では、50枚）を積層することによって、第1ベアリングレスモ

ータ (60) の回転子 (61) のコア部 (62) を形成する。

[0067] 次に、第3ステップでは、第2ステップで形成したコア部 (62) の貫通孔に永久磁石 (63) を挿入する。これら第1～第3ステップにより、第1ベアリングレスモータ (60) の回転子 (61) が製造され得る。

[0068] 次に、第4ステップでは、第1ステップで形成した複数のコアシートの残部 (この例では、50枚) に、さらに4つの貫通孔を、第1ステップで形成された4つの貫通孔の間に位置するように、例えば打抜き加工によって形成する。この第4ステップでは、第1ステップのものと同じ金型を周方向に45°回転させて再利用してもよいし、第1ステップのものとは異なる金型を利用してもよい。第4ステップにより、45°の角度ピッチ (AP2) で8つの貫通孔が配置された複数 (この例では、50枚) のコアシートが形成される。

[0069] 次に、第5ステップでは、第4ステップで形成した複数のコアシートを積層することによって、第2ベアリングレスモータ (70) の回転子 (71) のコア部 (72) を形成する。

[0070] 次に、第6ステップでは、第5ステップで形成したコア部 (72) の貫通孔に永久磁石 (73) を挿入する。これら第1および第4～第6ステップにより、第2ベアリングレスモータ (70) の回転子 (71) が製造され得る。

[0071] 上述のように、本実施形態では、第1ベアリングレスモータ (60) の回転子 (61) のコアシートと、第2ベアリングレスモータ (70) の回転子 (71) のコアシートとを形成するために、少なくとも第1ステップにおいて共通の金型を利用することができる。これにより第1および第2ベアリングレスモータ (60, 70) の製造コストを低減することができ、ひいてはターボ圧縮機 (1) の製造コストを低減することができる。

[0072] なお、第2～第6ステップの実行順序は、回転子 (61, 71) を製造することができるのであれば、適宜入れ替えられてもよい。例えば、第4ステップを第2ステップの前に実行してもよい。

[0073] ー実施形態の効果ー

上記実施形態では、駆動軸（30）のラジアル荷重が、2つのベアリングレスモータ（60,70）のみによって非接触で支持される。よって、従来のターボ圧縮機において用いていた2つのラジアル磁気軸受を省略することができ、インペラ（20）および駆動軸（30）を含む回転系を小型化することができる。

[0074] また、インペラ（20）および駆動軸（30）を含む回転系は、その軸方向長さが短くなるほど共振周波数が高くなる。よって、本実施形態では、従来に比べてインペラ（20）および駆動軸（30）を含む回転系が小型化され、その軸方向長さが短くなって共振周波数が高くなる。それにより、ターボ圧縮機（1）を安全に運転できる運転領域を広めることができる。

[0075] また、上記実施形態では、第1ベアリングレスモータ（60）が大きなラジアル荷重を支持するのに適するように設計されると共に、第2ベアリングレスモータ（70）が大きな駆動トルクを発生するのに適するように設計されている。つまり、駆動軸（30）において比較的大きなラジアル荷重が生じるインペラ（20）に近い側に、大きなラジアル荷重を支持できる第1ベアリングレスモータ（60）が配置されると共に、駆動軸（30）において比較的小さなラジアル荷重が生じるインペラ（20）から遠い側に、大きなラジアル荷重を支持することにはあまり適さない一方で大きな駆動トルクを発生させることのできる第2ベアリングレスモータ（70）が配置されている。

[0076] このように、上記実施形態では、第1および第2ベアリングレスモータ（60,70）を、駆動軸（30）の一端にインペラ（20）が取り付けられたタイプのターボ圧縮機（1）の負荷特性に適した設計および配置にすることができる。よって、インペラ（20）および駆動軸（30）を含む回転系の一層の小型化を図ることができる。

[0077] ここで、上記実施形態では、駆動軸（30）の大きなラジアル荷重を支持するのに適するように第1ベアリングレスモータ（60）を構成するために（すなわち、ラジアル荷重を支持する電磁力を発生させるために生じる支持用磁束の最大値を大きくするために）、主に次の3つの点を工夫している。

- [0078] 第一に、第1ベアリングレスモータ(60)における駆動軸(30)のラジアル荷重を支持するための支持用磁束が流れる磁路の磁気抵抗を、第2ベアリングレスモータ(70)におけるそれよりも小さくしている。第二に、第1ベアリングレスモータ(60)に対応する第1電源部(91)を、第2ベアリングレスモータ(70)に対応する第2電源部(92)に比べて、駆動用磁束および支持用磁束を発生させる電流の最大値が大きくなるように構成している。そして第三に、第1ベアリングレスモータ(60)の駆動用コイル(66a~66c)および支持用コイル(67a~67c)の巻数を、第2ベアリングレスモータ(70)の駆動用コイル(67a~67c)および支持用コイル(77a~77c)の巻数よりもそれぞれ大きくしている。なお、これらの工夫点は、単独であるいは任意の組み合わせにおいて適用可能である。
- [0079] また、上記実施形態では、第1ベアリングレスモータ(60)の全ての永久磁石(63)と、第2ベアリングレスモータ(70)の全ての永久磁石(73)とが、互いに同形状である。これにより、形状の異なる永久磁石を作製する必要がないので、第1および第2ベアリングレスモータ(60,70)の低コスト化、ひいてはターボ圧縮機(1)の低コスト化を図ることができる。
- [0080] また、上記実施形態では、全ての永久磁石(63,73)の形状が同じであることに加えて、第2ベアリングレスモータ(70)が有する永久磁石(73)の数(具体的には、8つ)が、第1ベアリングレスモータ(60)が有する永久磁石(63)の数(具体的には、4つ)の2倍である。また、第2ベアリングレスモータ(70)における回転子(71)の周方向に隣り合う永久磁石(73)間の角度ピッチ(AP2)(具体的には、 45°)が、第1ベアリングレスモータ(60)におけるそれ(具体的には、 90°)の半分である。このため、上記「回転子の製造方法」で述べたように、第1および第2ベアリングレスモータ(60,70)の回転子(61,71)を製造するために用いる金型の少なくとも一部を共通化することで、第1および第2ベアリングレスモータ(60,70)の低コスト化、ひいてはターボ圧縮機(1)の低コスト化を図ることができる。
- [0081] 《その他の実施形態》

上記実施形態では、第1ベアリングレスモータ(60)の電動機タイプ(具体的にはコンセクエントポール型)と第2ベアリングレスモータ(70)の電動機タイプ(具体的には埋込磁石型)とが互いに異なるが、両ベアリングレスモータ(60,70)の電動機タイプが互いに同じであってもよい。この場合、第1ベアリングレスモータ(60)は、第2ベアリングレスモータ(70)に比べて、固定子(64,74)および回転子(61,71)に用いられる磁性材料の透磁率を高くすればよい。これにより、第1ベアリングレスモータ(60)は、第2ベアリングレスモータ(70)に比べて、駆動軸(30)のラジアル荷重を支持する支持力を発生させるための磁路の磁気抵抗(すなわち、駆動軸(30)のラジアル荷重の支持に寄与する磁束である駆動用磁束および支持用磁束が流れる磁路の磁気抵抗)が小さくなり、よって当該ラジアル荷重を支持する支持力の最大値が大きくなる。

[0082] また、上記実施形態では、ターボ圧縮機(1)は、2つのベアリングレスモータ(60,70)を備えているが、3つ以上のベアリングレスモータを備えていてもよい。

[0083] また、上記実施形態では、第1ベアリングレスモータ(60)はコンセクエントポール型のベアリングレスモータであるが、第1ベアリングレスモータ(60)の種類はこれに限られるものではない。また、第2ベアリングレスモータ(70)の種類も上記実施形態のものに限られるものではない。

[0084] また、上記実施形態では、各ベアリングレスモータ(60,70)が駆動用コイル(66a~66c,76a~76c)および支持用コイル(67a~67c,77a~77c)を備えているが、両コイル(66a~66c,67a~67c,76a~76c,77a~77c)の機能を併せ持つ共通のコイルを備えていてもよい。

[0085] また、上記実施形態では、永久磁石(63,73)の数の差異によって、第1ベアリングレスモータ(60)の永久磁石(63)によって生じる磁石磁束 $\phi 1$ と第2ベアリングレスモータ(70)の永久磁石(73)によって生じる磁石磁束 $\phi 2$ との差異が生じるように構成している。しかし、例えば、第1ベアリングレスモータ(60)の永久磁石(63)のサイズや残留磁束密度を第2ベアリ

ングレスモータ (70) の永久磁石 (73) のそれらと異なるものにするこ
とで、第1ベアリングレスモータ (60) の永久磁石 (63) によって生じる磁石磁束 $\phi 1$ と第2ベアリングレスモータ (70) の永久磁石 (73) によって生じる磁石磁束 $\phi 2$ との差異が生じるように構成してもよい。

[0086] また、上記実施形態では、第1ベアリングレスモータ (60) の全ての永久磁石 (63) と第2ベアリングレスモータ (70) の全ての永久磁石 (73) とが互いに同形状であるが、各永久磁石 (63, 73) の形状が互いに異なってもよい。

[0087] また、上記実施形態では、回転子 (61, 71) および固定子 (64, 74) は積層鋼板で構成されているが、積層鋼板以外の材料で回転子 (61, 71) および固定子 (64, 74) を構成してもよい。

[0088] また、上記実施形態では、ターボ圧縮機 (1) は1つだけのインペラ (20) を備えているが、2つ以上のインペラ (20) を備えていてもよい。例えば、駆動軸 (30) の両端にインペラ (20) が1つずつ取り付けられていてもよい。

[0089] また、上記実施形態では、電動機システム (2) を備えたターボ圧縮機 (1) について説明したが、電動機システム (2) の用途はターボ圧縮機 (1) に限られるものではない。

産業上の利用可能性

[0090] 以上説明したように、本発明は、電動機システムおよびそれを備えたターボ圧縮機について有用である。

符号の説明

- [0091] 1 ターボ圧縮機
2 電動機システム
20 インペラ (負荷)
30 駆動軸
60 第1ベアリングレスモータ
61 回転子

- 63 永久磁石
- 64 固定子
- 67a~67c 支持用コイル (コイル)
- 70 第2ベアリングレスモータ
- 71 回転子
- 73 永久磁石
- 74 固定子
- 77a~77c 支持用コイル (コイル)
- 91 第1電源部 (電気回路)
- 92 第2電源部 (電気回路)
- AP1 角度ピッチ
- AP2 角度ピッチ

請求の範囲

- [請求項1] 負荷 (20) を回転駆動する駆動軸 (30) と、
上記駆動軸 (30) の軸方向に並んで配置され、それぞれが一对の回転子 (61, 71) と固定子 (64, 74) を有して電磁力によって上記駆動軸 (30) を回転駆動しかつ上記駆動軸 (30) のラジアル荷重を非接触で支持する複数のベアリングレスモータ (60, 70) とを備え、
上記駆動軸 (30) のラジアル荷重が、上記複数のベアリングレスモータ (60, 70) のみによって支持されるように構成され、
上記複数のベアリングレスモータ (60, 70) のそれぞれに作用する上記ラジアル荷重の最大値が不均一であり、
作用する上記ラジアル荷重の最大値が最も大きい上記ベアリングレスモータ (60) は、作用する上記ラジアル荷重の最大値が最も小さい上記ベアリングレスモータ (70) に比べて、上記ラジアル荷重を支持する支持力の最大値が大きい
ことを特徴とする電動機システム。
- [請求項2] 請求項 1 において、
作用する上記ラジアル荷重の最大値が最も大きい上記ベアリングレスモータ (60) は、作用する上記ラジアル荷重の最大値が最も小さい上記ベアリングレスモータ (70) に比べて、上記ラジアル荷重を支持する電磁力を発生させるために生じる支持用磁束の最大値が大きい
ことを特徴とする電動機システム。
- [請求項3] 請求項 1 または 2 において、
上記ラジアル荷重の最大値が最も大きい上記ベアリングレスモータ (60) は、上記ラジアル荷重の最大値が最も小さい上記ベアリングレスモータ (70) に比べて、上記ラジアル荷重を支持する支持力を発生させるための磁路の磁気抵抗が小さい
ことを特徴とする電動機システム。
- [請求項4] 請求項 1 または 2 において、

上記複数のベアリングレスモータ（60,70）のそれぞれに対応して設けられ、該ベアリングレスモータ（60,70）に上記ラジアル荷重の支持に寄与する磁束を発生させる電流を流すための電気回路（91,92）を備え、

上記ラジアル荷重の最大値が最も大きい上記ベアリングレスモータ（60）に対応する上記電気回路（91）は、上記ラジアル荷重の最大値が最も小さい上記ベアリングレスモータ（70）に対応する上記電気回路（92）に比べて、上記ラジアル荷重の支持に寄与する磁束を発生させる電流の最大値が大きい

ことを特徴とする電動機システム。

[請求項5] 請求項1または2において、

上記複数のベアリングレスモータ（60,70）のそれぞれの上記固定子（64,74）は、上記ラジアル荷重の支持に寄与する磁束を生じさせるためのコイル（66a~66c,67a~67c,76a~76c,77a~77c）を有し、

上記ラジアル荷重の最大値が最も大きい上記ベアリングレスモータ（60）は、上記ラジアル荷重の最大値が最も小さい上記ベアリングレスモータ（70）に比べて、上記コイル（66a~66c,67a~67c,76a~76c,77a~77c）の巻数が大きい

ことを特徴とする電動機システム。

[請求項6] 請求項1~5のいずれか1項において、

上記複数のベアリングレスモータ（60,70）の上記回転子（61,71）は、それぞれ複数の永久磁石（63,73）を有し、

上記ラジアル荷重の最大値が最も小さい上記ベアリングレスモータ（70）は、上記ラジアル荷重の最大値が最も大きい上記ベアリングレスモータ（60）に比べて、上記回転子（61,71）の有する永久磁石（63,73）の数が多し

ことを特徴とする電動機システム。

[請求項7] 請求項6において、

上記ラジアル荷重の最大値が最も小さい上記ベアリングレスモータ (70) の全ての上記永久磁石 (73) と、上記ラジアル荷重の最大値が最も大きい上記ベアリングレスモータ (60) の全ての上記永久磁石 (63) とは、互いに同形状であることを特徴とする電動機システム。

[請求項8]

請求項7において、

上記ラジアル荷重の最大値が最も小さい上記ベアリングレスモータ (70) の上記永久磁石 (73) の数は、上記ラジアル荷重の最大値が最も大きい上記ベアリングレスモータ (60) の上記永久磁石 (63) の数の2倍であって、

上記ラジアル荷重の最大値が最も小さい上記ベアリングレスモータ (70) における上記回転子 (71) の周方向に隣り合う上記永久磁石 (73) 間の角度ピッチ (AP2) は、上記ラジアル荷重の最大値が最も大きい上記ベアリングレスモータ (60) における上記回転子 (61) の周方向に隣り合う上記永久磁石 (63) 間の角度ピッチ (AP1) の半分である

ことを特徴とする電動機システム。

[請求項9]

請求項1～8のいずれか1項に記載の電動機システム (2) と、インペラ (20) とを備え、

上記インペラ (20) は、上記駆動軸 (30) によって回転駆動される負荷 (20) である

ことを特徴とするターボ圧縮機。

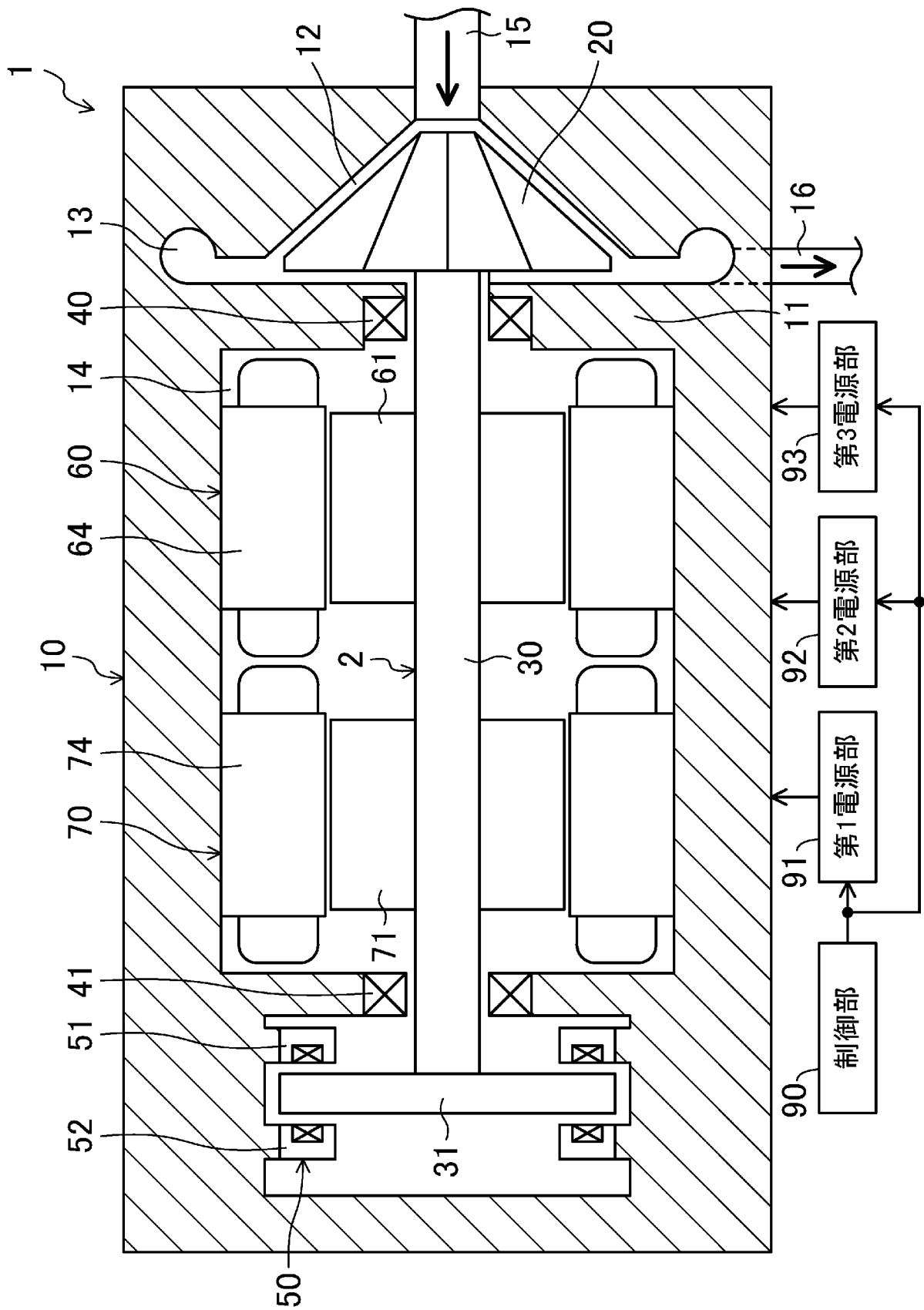
[請求項10]

請求項9において、

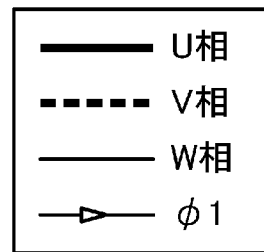
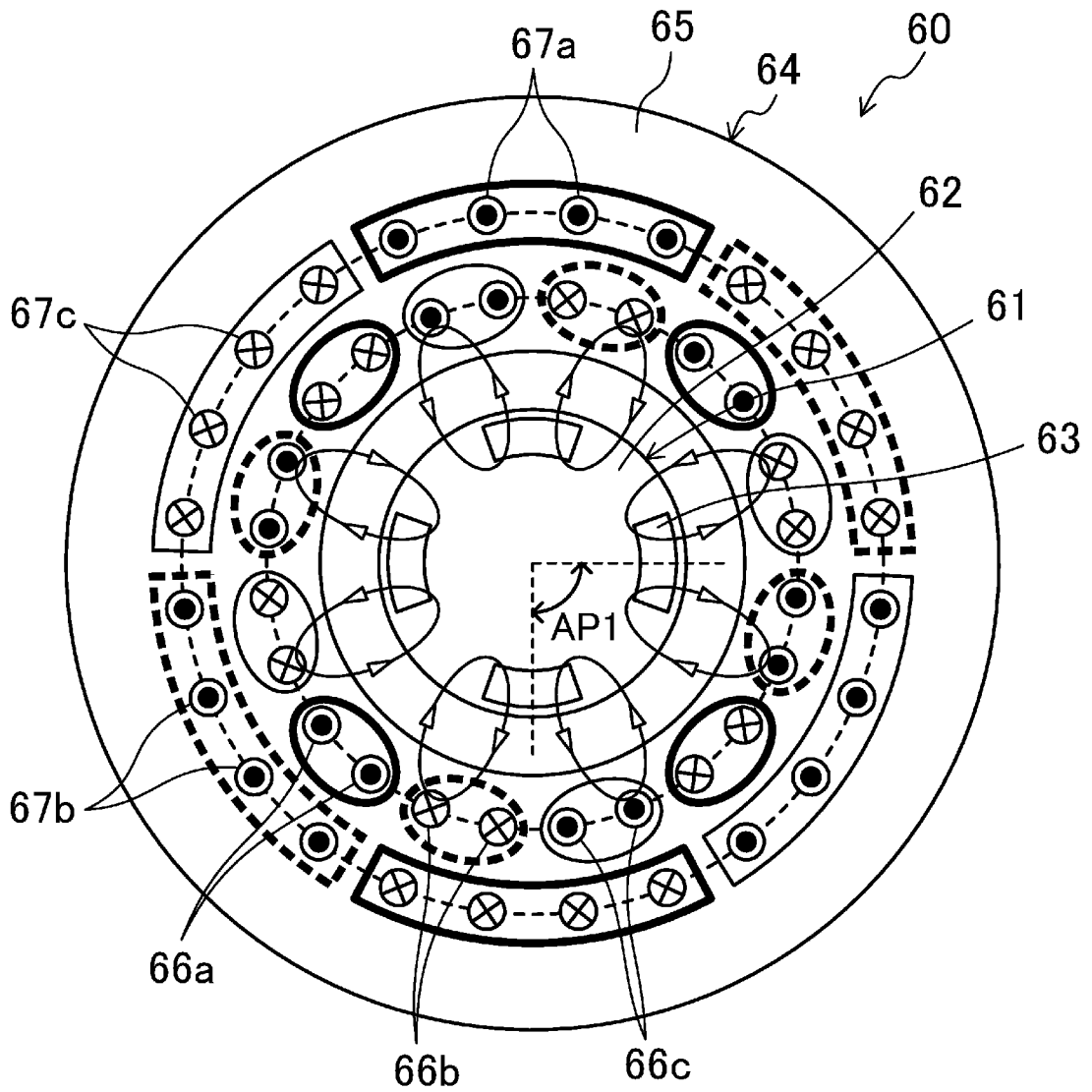
上記インペラ (20) は、上記駆動軸 (30) の一端のみに設けられ、作用する上記ラジアル荷重の最大値が最も大きい上記ベアリングレスモータ (60) は、上記複数のベアリングレスモータ (60, 70) の中で最も上記インペラ (20) 寄りに配置されている

ことを特徴とするターボ圧縮機。

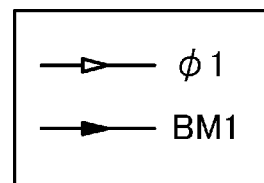
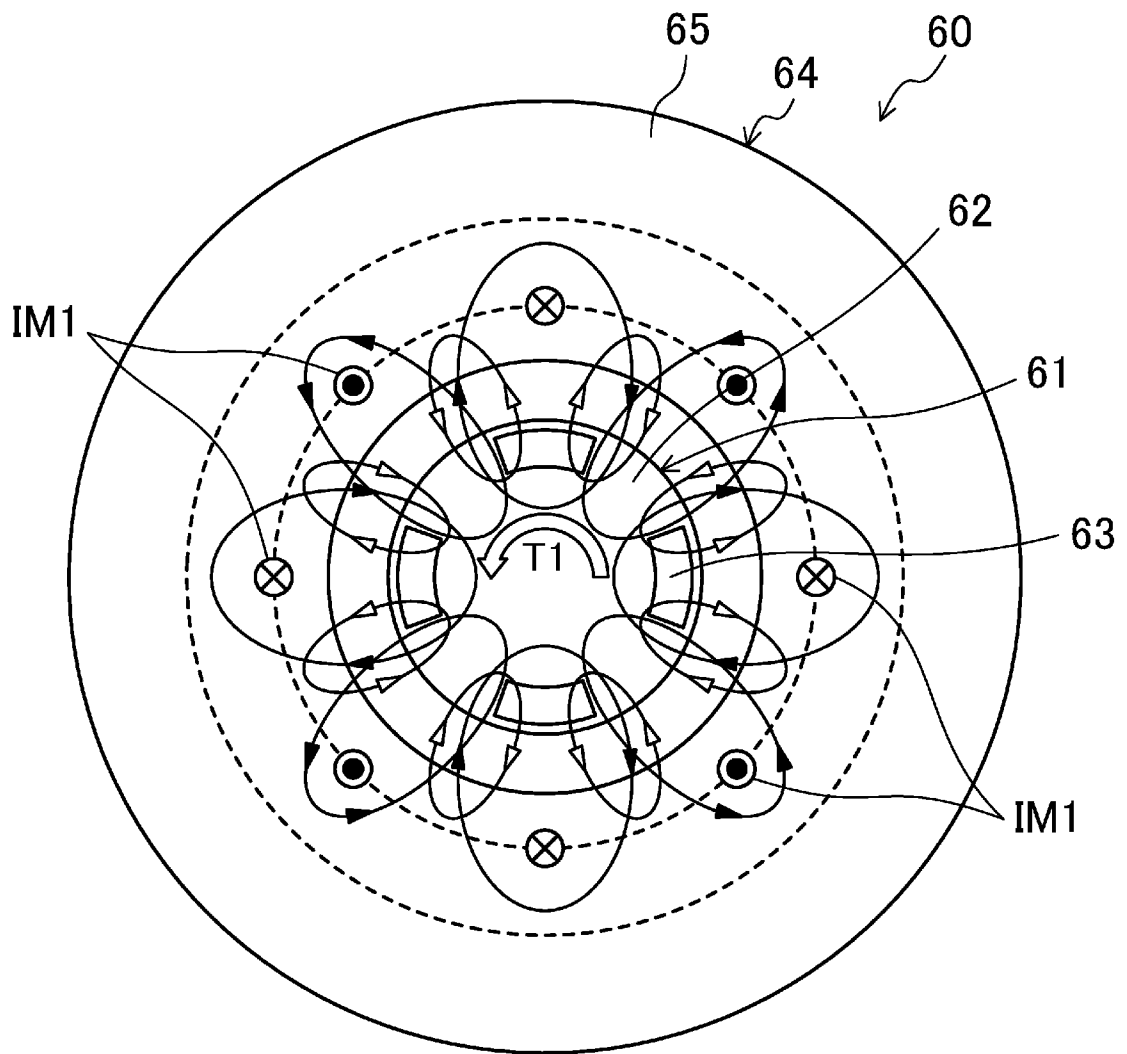
[図1]



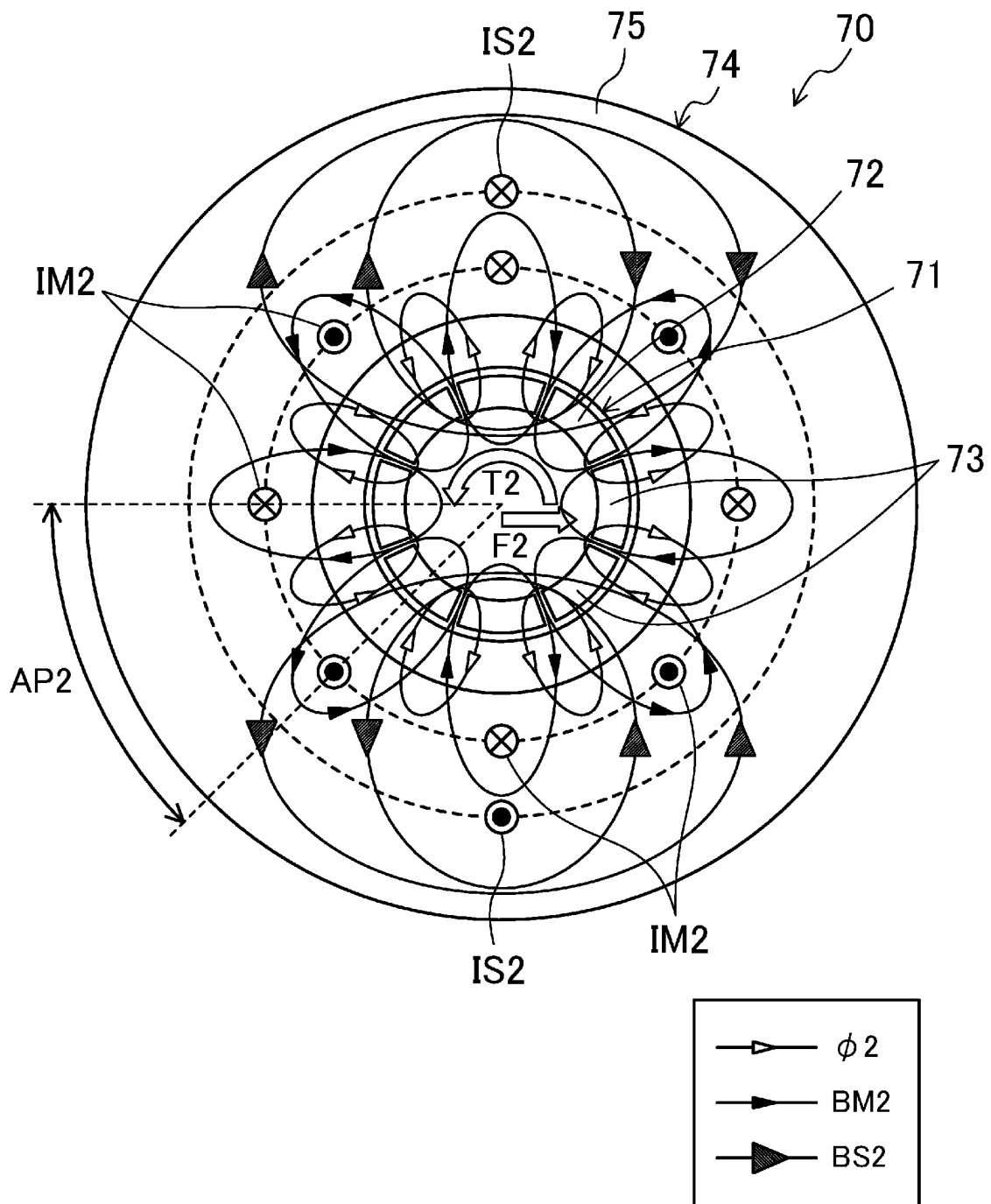
[図2]



[図3]



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/017198

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H02K16/00(2006.01)i, F04D17/10(2006.01)i, F04D29/00(2006.01)i,
F04D29/058(2006.01)i, F16C32/04(2006.01)i, H02K7/09(2006.01)i,
H02K7/14(2006.01)i, H02K21/14(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)

Int.Cl. H02K16/00, F04D17/10, F04D29/00, F04D29/058, F16C32/04, H02K7/09,
H02K7/14, H02K21/14

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2018
Registered utility model specifications of Japan	1996-2018
Published registered utility model applications of Japan	1994-2018

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.
Y	JP 2002-253576 A (CHIBA, Akira) 10 September 2002, paragraph [0019], fig. 7 (Family: none)	1-10
Y	JP 2014-5833 A (SKF MAGNETIC MECHATRONICS) 16 January 2014, paragraphs [0024]-[0059], fig. 1-6 & US 2013/0343927 A1, paragraphs [0025]-[0070], fig. 1-6 & US 2014/0023534 A1 & EP 2677177 A1 & CN 103821735 A & CA 2820449 A1	1-10

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

- "I" 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
11 July 2018 (11.07.2018)

Date of mailing of the international search report
31 July 2018 (31.07.2018)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/017198

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2524492 Y2 (KOYO SEIKO CO., LTD.) 29 January 1997, page 1, column 2, lines 12-14, fig. 5 (Family: none)	1-10
Y	JP 2002-364535 A (TOYOTA INDUSTRIES CORP.) 18 December 2002, paragraph [0035] & US 2002/0187052 A1, paragraph [0041] & DE 10225416 A1	1-10
Y	WO 2013/080998 A1 (THK CO., LTD.) 06 June 2013, paragraph [0007], fig. 2, 5 & US 2014/0306459 A1, paragraph [0009], fig. 2, 5 & EP 2789865 A1 & CN 103958910 A & JP 2013-113379 A	1-10
Y	JP 2000-76676 A (SEIKO SEIKI CO., LTD.) 14 March 2000, paragraphs [0027]-[0028], fig. 1 & US 6324134 B1, column 8, lines 6-22, fig. 7 & EP 978826 A2	2-10
Y	JP 2004-120886 A (RIKOGAKU SHINKOKAI) 15 April 2004, abstract, paragraph [0023], fig. 1-6 (Family: none)	2-10
Y	JP 2013-505697 A (KOREA ELECTROTECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE) 14 February 2013, paragraph [0035], fig. 7 & US 2012/0228965 A1, paragraph [0105], fig. 7 & WO 2011/034336 A2 & EP 2479876 A2 & KR 10-0969682 B1 & CN 102725947 A	2-10
Y	JP 2010-180974 A (MEIDENSHA CORPORATION) 19 August 2010, paragraphs [0081], [0113] (Family: none)	4-10
Y	JP 2010-252605 A (ASMO CO., LTD.) 04 November 2010, abstract, claim 1, fig. 1-3 & US 2010/0133939 A1, abstract, claim 1, fig. 24A-26 & DE 102009049525 A1	6-10
A	JP 2008-125203 A (MEIDENSHA CORPORATION) 29 May 2008, paragraph [0010], fig. 1-8 (Family: none)	1-10
A	JP 2016-171625 A (PANASONIC CORP.) 23 September 2016, paragraphs [0103]-[0110], fig. 16-17 (Family: none)	1-10

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H02K16/00(2006.01)i, F04D17/10(2006.01)i, F04D29/00(2006.01)i, F04D29/058(2006.01)i, F16C32/04(2006.01)i, H02K7/09(2006.01)i, H02K7/14(2006.01)i, H02K21/14(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 (IPC))

Int.Cl. H02K16/00, F04D17/10, F04D29/00, F04D29/058, F16C32/04, H02K7/09, H02K7/14, H02K21/14

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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018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
Y	JP 2002-253576 A (千葉 明) 2002.09.10, 段落 0019, 図 7 (ファミリーなし)	1-10
Y	JP 2014-5833 A (エスカエフ・マニュティック・メシヤトロニク) 2014.01.16, 段落 0024-0059, 図 1-6 & US 2013/0343927 A1, 段落 0025-0070, 図 1-6 & US 2014/0023534 A1 & EP 2677177 A1 & CN 103821735 A & CA 2820449 A1	1-10

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	の日の後に公表された文献
「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	「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
「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	「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
「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)	「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
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 11.07.2018	国際調査報告の発送日 31.07.2018
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号 100-8915 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) 小林 紀和 電話番号 03-3581-1101 内線 3357

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
Y	JP 2524492 Y2 (光洋精工株式会社) 1997. 01. 29, 第1 ページ 2 欄 12-14 行, 図 5 (ファミリーなし)	1-10
Y	JP 2002-364535 A (株式会社豊田自動織機) 2002. 12. 18, 段落 0035 & US 2002/0187052 A1, 段落 0041 & DE 10225416 A1	1-10
Y	WO 2013/080998 A1 (THK株式会社) 2013. 06. 06, 段落 0007, 図 2, 5 & US 2014/0306459 A1, 段落 0009, 図 2, 5 & EP 2789865 A1 & CN 103958910 A & JP 2013-113379 A	1-10
Y	JP 2000-76676 A (セイコー精機株式会社) 2000. 03. 14, 段落 0027-0028, 図 1 & US 6324134 B1, 第 8 欄 6-22 行, 図 7 & EP 978826 A2	2-10
Y	JP 2004-120886 A (財団法人理工学振興会) 2004. 04. 15, 要約, 段落 0023, 図 1-6 (ファミリーなし)	2-10
Y	JP 2013-505697 A (コリア エレクトロテクノロジー リサーチ インスティテュート) 2013. 02. 14, 段落 0035, 図 7 & US 2012/0228965 A1, 段落 0105, 図 7 & WO 2011/034336 A2 & EP 2479876 A2 & KR 10-0969682 B1 & CN 102725947 A	2-10
Y	JP 2010-180974 A (株式会社明電舎) 2010. 08. 19, 段落 0081, 0113 (ファミリーなし)	4-10
Y	JP 2010-252605 A (アスモ株式会社) 2010. 11. 04, 要約, 請求項 1, 図 1-3 & US 2010/0133939 A1, 要約, 請求項 1, 図 24A-26 & DE 102009049525 A1	6-10
A	JP 2008-125203 A (株式会社明電舎) 2008. 05. 29, 段落 0010, 図 1-8 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2016-171625 A (パナソニック株式会社) 2016. 09. 23, 段落 0103-0110, 図 16-17 (ファミリーなし)	1-10