

(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 2018/207767 A1**

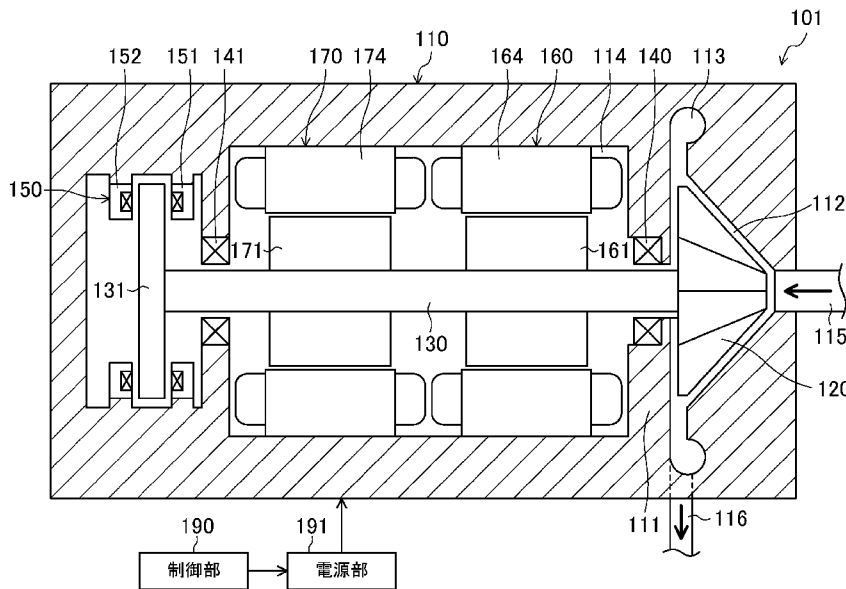
- (51) 国際特許分類:  
*H02K 7/09* (2006.01)      *F04D 29/058* (2006.01)  
*F04D 17/10* (2006.01)      *F16C 32/04* (2006.01)  
*F04D 27/02* (2006.01)      *H02K 7/14* (2006.01)  
*F04D 29/00* (2006.01)      *H02P 25/022* (2016.01)
- (21) 国際出願番号:                      PCT/JP2018/017747
- (22) 国際出願日:                          2018年5月8日(08.05.2018)
- (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 2017-093328    2017年5月9日(09.05.2017)    JP  
 特願 2017-093338    2017年5月9日(09.05.2017)    JP  
 特願 2017-093339    2017年5月9日(09.05.2017)    JP  
 特願 2017-093329    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). 東洋文(HIGASHI Hirohumi); 〒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). 野瀬 泰一(NOSE Taiichi); 〒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). 小野 貴晃

(54) Title: TURBO COMPRESSOR

(54) 発明の名称: ターボ圧縮機

[図1]



190 Control unit  
191 Power supply unit

(57) Abstract: A drive support unit (160, 170, 180, 250, 260, 450, 460, 621, 640, 760, 770, 780, 782, 784, 787, 840, 850) of a turbo compressor (101, 210, 410, 601, 701, 812) comprises at least one bearingless motor (160, 170, 250, 450, 640, 760, 770, 840, 850) that includes a pair of a rotor (161, 171, 251, 451, 641, 761, 771, 841, 851) and a stator (164, 174, 254, 454, 644, 762, 772, 844, 854), rotationally drives a drive shaft (130, 240, 440, 605, 730, 831), and supports, in a non-contact fashion, the radial load of the drive shaft (130, 240, 440, 605, 730, 831). Thus, it is possible to provide a turbo compressor employing a bearingless motor.



WO 2018/207767 A1

(ONO Takaaki); 〒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), 入野 裕  
介(IRINO Yusuke); 〒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).

(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:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

---

(57) 要約: ターボ圧縮機 (101, 210, 410, 601, 701, 812) の駆動支持部 (160, 170, 180, 250, 260, 450, 460, 621, 640, 760, 770, 780, 782, 784, 787, 840, 850) は、一對の回転子 (161, 171, 251, 451, 641, 761, 771, 841, 851) と固定子 (164, 174, 254, 454, 644, 762, 772, 844, 854) を有して駆動軸 (130, 240, 440, 605, 730, 831) を回転駆動しかつ駆動軸 (130, 240, 440, 605, 730, 831) のラジアル荷重を非接触で支持するベアリングレスモータ (160, 170, 250, 450, 640, 760, 770, 840, 850) を少なくとも1つ有する。これにより、ベアリングレスモータを適用したターボ圧縮機を提供できる。

## 明 細 書

**発明の名称**：ターボ圧縮機

### 技術分野

[0001] 本発明は、ターボ圧縮機に関するものである。

### 背景技術

[0002] 従来より、インペラと、このインペラに取り付けられた駆動軸とを備えたターボ圧縮機が知られている（例えば、特許文献1）。同文献のターボ圧縮機は、インペラおよび駆動軸を回転駆動するための電動機と、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、上述の補助人工心臓などの用途では、作動流体が気体よりも圧縮性の小さい液体であるため、いわゆるサージ現象が発生しにくい。ベアリングレスモータの実用化は、これまでこのようなサージ現象の発生しにくい用途に限られていた。そして、空調用のターボ圧縮機のように、作動流体が気体（ガス冷媒）であってサージ現象を生じ得る運転領域で運

転されるものにベアリングレスモータを適用して実用化した例はこれまでのところ見当たらない。

[0006] 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、ベアリングレスモータを適用したターボ圧縮機を提供することにある。

### 課題を解決するための手段

[0007] 本開示の第1の態様は、冷凍サイクルを行う冷媒回路に設けられて冷媒を圧縮するターボ圧縮機(101, 210, 410, 601, 701, 812)を対象とする。このターボ圧縮機(101, 210, 410, 601, 701, 812)は、インペラ(120, 221, 421, 603a, 720, 821)と、駆動軸(130, 240, 440, 605, 730, 831)と、所定の電流範囲内の電流が流れることによって生じる電磁力により上記駆動軸(130, 240, 440, 605, 730, 831)を回転駆動しかつ上記駆動軸(130, 240, 440, 605, 730, 831)のラジアル荷重を非接触で支持する駆動支持部(160, 170, 180, 250, 260, 450, 460, 621, 640, 760, 770, 780, 782, 784, 787, 840, 850)とを備え、上記駆動支持部(160, 170, 180, 250, 260, 450, 460, 621, 640, 760, 770, 780, 782, 784, 787, 840, 850)は、一対の回転子(161, 171, 251, 451, 641, 761, 771, 841, 851)と固定子(164, 174, 254, 454, 644, 762, 772, 844, 854)を有して上記駆動軸(130, 240, 440, 605, 730, 831)を回転駆動しかつ上記駆動軸(130, 240, 440, 605, 730, 831)のラジアル荷重を非接触で支持するベアリングレスモータ(160, 170, 250, 450, 640, 760, 770, 840, 850)を少なくとも1つ有する。

[0008] 上記第1の態様では、ベアリングレスモータ(160, 170, 250, 450, 640, 760, 770, 840, 850)において、インペラ(120, 221, 421, 603a, 720, 821)および駆動軸(130, 240, 440, 605, 730, 831)を回転駆動するために大きな駆動トルクを生じさせる必要がないときは、その回転子(161, 171, 251, 451, 641, 761, 771, 841, 851)および固定子(164, 174, 254, 454, 644, 762, 772, 844, 854)によって形成される磁気回路を、駆動軸(130, 240, 440, 605, 730, 831)のラジアル荷重を支持するための支持力を生じさせるために有効活用することができる。一方、第1の態様では、ベアリングレスモータ(160, 170, 250, 450, 640, 760, 770, 840, 850)において、駆動軸(130, 240, 440, 605, 730, 831)のラジアル荷重を支持

するために大きな支持力を生じさせる必要がないときは、その回転子（161, 171, 251, 451, 641, 761, 771, 841, 851）および固定子（164, 174, 254, 454, 644, 762, 772, 844, 854）によって形成される磁気回路を、インペラ（120, 221, 421, 603 a, 720, 821）および駆動軸（130, 240, 440, 605, 730, 831）を回転駆動するために有効活用することができる。

[0009] 本開示の第2の態様は、上記第1の態様において、上記インペラ（120）および上記駆動軸（130）を回転駆動するために上記駆動支持部（160, 170, 180）で生じる磁束を駆動用磁束 $B_M$ とし、上記駆動軸（130）のラジアル荷重を支持するために上記駆動支持部（160, 170, 180）で生じる磁束を支持用磁束 $B_S$ として、上記駆動支持部（160, 170, 180）に電流を流すための電源部（191）と、上記ターボ圧縮機（101）を旋回失速が生じる領域およびサージング領域で運転する際には、同一回転速度で比較したとき、通常運転時に比べて、上記駆動用磁束 $B_M$ を発生させるための電流 $I_M$ に対する上記支持用磁束 $B_S$ を発生させるための電流 $I_S$ の割合を増加させるように上記電源部（191）を制御する制御部（190）とを備えていることを特徴とする。

[0010] 上記第2の態様は、同一回転速度で比較したときに、旋回失速が生じる領域およびサージング領域では通常運転時よりも駆動軸（130）のラジアル荷重が大きくなることに対応するものである。すなわち、旋回失速が生じる領域およびサージング領域でターボ圧縮機（101）を運転する際に、駆動用磁束 $B_M$ を発生させるための電流 $I_M$ に対する支持用磁束 $B_S$ を発生させるための電流 $I_S$ の割合を、通常運転時に比べて増加させる。これにより、旋回失速が生じる領域およびサージング領域でもターボ圧縮機（101）が問題なく運転され得る。

[0011] 本開示の第3の態様は、上記第1の態様において、上記インペラ（120）および上記駆動軸（130）を回転駆動するために上記駆動支持部（160, 170, 180）で生じる磁束を駆動用磁束 $B_M$ とし、上記駆動軸（130）のラジアル荷重を支持するために上記駆動支持部（160, 170, 180）で生じる磁束を支持用磁束 $B_S$ として、上記駆動支持部（160, 170, 180）に電流を流すための電源部（191

)と、上記ターボ圧縮機(101)を旋回失速が生じる領域およびサージング領域で運転する場合に冷媒体積流量が減るにつれて、同一回転速度で比較したとき、上記駆動用磁束BMを発生させるための電流IMに対する上記支持用磁束BSを発生させるための電流ISの割合を増加させていくように上記電源部(191)を制御する制御部(190)とを備えていることを特徴とする。

[0012] 上記第3の態様では、ターボ圧縮機(101)を旋回失速が生じる領域およびサージング領域で運転する場合に冷媒体積流量が減るにつれて、同一回転速度で比較すると、冷媒体積流量の減少に伴って駆動軸(130)のラジアル荷重が大きくなることに対応するものである。すなわち、ターボ圧縮機(101)を旋回失速が生じる領域およびサージング領域で運転する場合に冷媒体積流量が減るにつれて、同一回転速度で比較したとき、駆動用磁束BMを発生させるための電流IMに対する支持用磁束BSを発生させるための電流ISの割合を増加させていく。これにより、旋回失速が生じる領域およびサージング領域でもターボ圧縮機(101)が問題なく運転され得る。

[0013] 本開示の第4の態様は、上記第1の態様において、上記インペラ(120)および上記駆動軸(130)を回転駆動するために上記駆動支持部(160, 170, 180)で生じる磁束を駆動用磁束BMとし、上記駆動軸(130)のラジアル荷重を支持するために上記駆動支持部(160, 170, 180)で生じる磁束を支持用磁束BSとし、上記ターボ圧縮機(101)の所定の運転領域における上記駆動用磁束BMと上記支持用磁束BSとの和の最大値を $(BM + BS)_{max}$ とし、上記所定の運転領域における最大トルク負荷に対応する駆動トルクを発生させるために上記駆動支持部(160, 170, 180)で生じる磁束を $BM_{max}$ とし、上記所定の運転領域における上記駆動軸(130)の最大ラジアル荷重を支持するために上記駆動支持部(160, 170, 180)で生じる磁束を $BS_{max}$ とし、上記駆動支持部(160, 170, 180)に流れる電流が上記所定の電流範囲の上限値であるときに該駆動支持部(160, 170, 180)で生じる磁束を $B_{max}$ としたときに、上記駆動支持部(160, 170, 180)は、 $(BM + BS)_{max} \leq B_{max} < BM_{max} + BS_{max}$ の関係が成り立つように構成されていることを特徴と

する。

- [0014] ここで、駆動支持部（160, 170, 180）において最大駆動トルクおよび最大ラジアル荷重支持力との両方を同時に発生可能にするという通常の見え方にしたがうと、駆動支持部（160, 170, 180）に流れる電流が所定の電流範囲の上限値であるときに当該駆動支持部（160, 170, 180）で生じる磁束  $B_{max}$  が  $BM_{max} + BS_{max}$  に一致する（ $B_{max} = BM_{max} + BS_{max}$ ）ように駆動支持部（160, 170, 180）を構成することになる。
- [0015] これに対し、上記第4の態様では、駆動支持部（160, 170, 180）に流れる電流が所定の電流範囲の上限値であるときに当該駆動支持部（160, 170, 180）で生じる磁束  $B_{max}$  が、 $(BM + BS)_{max}$  以上であって  $BM_{max} + BS_{max}$  未満となる（ $(BM + BS)_{max} \leq B_{max} < BM_{max} + BS_{max}$ ）ように駆動支持部（160, 170, 180）を構成する。これにより、例えば、通常の見え方にしたがって駆動支持部（160, 170, 180）を構成する場合に比べて、ベアリングレスモータ（160, 170）の固定子（164, 174）および回転子（161, 171）を小型化することが可能となる。
- [0016] このことは、冷凍装置用のターボ圧縮機（101）において、最大駆動トルクが必要となる運転領域（すなわち、負荷トルクが最大となる領域）と、最大ラジアル荷重支持力が必要となる運転領域（すなわち、駆動軸（130）のラジアル荷重が最大となる領域）とが互いに異なるという事実を本願発明者が発見したことに基づく。つまり、駆動支持部（160, 170, 180）において最大駆動トルクと最大ラジアル荷重支持力との両方を同時に発生させる必要がないため、上記第4の態様によれば、 $(BM + BS)_{max} \leq B_{max} < BM_{max} + BS_{max}$  という関係が成立するように駆動支持部（160, 170, 180）を構成することによって、ターボ圧縮機（101）の機能と信頼性を損なうことなく当該駆動支持部（160, 170, 180）を小型化することができる。
- [0017] 本開示の第5の態様は、上記第1の態様において、上記駆動支持部（160, 170, 180）は、上記所定の電流範囲内の電流が流れるコイル（166a~166c, 167a~167c, 176a~176c, 177a~177c, 184）を有し、上記インペラ（120）および上

記駆動軸（130）を回転駆動するために上記駆動支持部（160, 170, 180）で生じる磁束を駆動用磁束  $B_M$  とし、上記駆動軸（130）のラジアル荷重を支持するために上記駆動支持部（160, 170, 180）で生じる磁束を支持用磁束  $B_S$  とし、上記ターボ圧縮機（101）の所定の運転領域に最大トルク負荷に対応する駆動トルクを発生させるときに上記駆動支持部（160, 170, 180）で生じる磁束を  $B_{Mmax}$  とし、かつそのときに上記コイル（166a~166c, 167a~167c, 176a~176c, 177a~177c, 184）に流れる電流を最大トルク電流  $I_{BMmax}$  とし、上記所定の運転領域における上記駆動軸（130）の最大ラジアル荷重を支持するとき上記駆動支持部（160, 170, 180）で生じる磁束を  $B_{Smax}$  とし、かつそのときに上記コイル（166a~166c, 167a~167c, 176a~176c, 177a~177c, 184）に流れる電流を最大支持力電流  $I_{BSmax}$  とし、上記最大トルク電流  $I_{BMmax}$  と上記最大支持力電流  $I_{BSmax}$  とを足し合わせた電流を上記コイル（166a~166c, 167a~167c, 176a~176c, 177a~177c, 184）に流すことによって上記駆動支持部（160, 170, 180）で生じる磁束を  $B_{MSmax}$  としたときに、上記駆動支持部（160, 170, 180）は、 $B_{MSmax} < B_{Mmax} + B_{Smax}$  の関係が成り立つように構成されていることを特徴とする。

[0018] ここで、駆動支持部（160, 170, 180）において最大負荷トルクおよび最大ラジアル荷重支持力との両方を同時に発生可能にするという通常の見え方にしたと、最大トルク電流  $I_{BMmax}$  と最大支持力電流  $I_{BSmax}$  とを足し合わせた電流をコイル（166a~166c, 167a~167c, 176a~176c, 177a~177c, 184）に流すことによって駆動支持部（160, 170, 180）で生じる磁束  $B_{MSmax}$  が  $B_{Mmax} + B_{Smax}$  に一致する（ $B_{MSmax} = B_{Mmax} + B_{Smax}$ ）ように駆動支持部（160, 170, 180）を構成することになる。

[0019] これに対し、上記第5の態様では、最大トルク電流  $I_{BMmax}$  と最大支持力電流  $I_{BSmax}$  とを足し合わせた電流をコイル（166a~166c, 167a~167c, 176a~176c, 177a~177c, 184）に流すことによって駆動支持部（160, 170, 180）で生じる磁束  $B_{MSmax}$  が  $B_{Mmax} + B_{Smax}$  未満となる（ $B_{MSmax} < B_{Mmax} + B_{Smax}$ ）ように駆動支持部（160, 170, 180）を構

成する。これにより、例えば、通常の方法にしたがって駆動支持部（160, 170, 180）を構成する場合に比べて、ベアリングレスモータ（160, 170）の固定子（164, 174）および回転子（161, 171）を小型化することが可能となる。

[0020] このことは、冷凍装置用のターボ圧縮機（101）において、最大駆動トルクが必要となる運転領域と、最大ラジアル荷重支持力が必要となる運転領域とが互いに異なるという事実を本願発明者が発見したことに基づく。つまり、駆動支持部（160, 170, 180）において最大駆動トルクと最大ラジアル荷重支持力との両方を同時に発生させる必要がないため、上記第5の態様によれば、 $BMS_{max} < BM_{max} + BS_{max}$ という関係が成立するように駆動支持部（160, 170, 180）を構成することによって、ターボ圧縮機（101）の機能と信頼性を損なうことなく当該駆動支持部（160, 170, 180）を小型化することができる。

[0021] 本開示の第6の態様は、上記第1の態様において、上記駆動支持部（160, 170, 180）に電流を流すための電源部（191）と、サージング領域で運転する場合または上記駆動軸（130）の回転運動を通常停止させる場合に、上記駆動支持部（160, 170, 180）に駆動トルクに寄与する電流を流さずに上記駆動軸（130）のラジアル荷重を非接触で支持するための電流のみを流すように上記電源部（191）を制御する制御部（190）とを備えていることを特徴とする。

[0022] 上記第6の態様では、サージング領域で運転する場合または駆動軸（130）の回転運動を通常停止させる場合（すなわち、トルクの発生を要しない場合）に、駆動支持部（160, 170, 180）に駆動軸（130）のラジアル荷重を支持するための電流のみを流す。これにより、上記の場合においてターボ圧縮機（101）を効率良く運転することができる。

[0023] 本開示の第7の態様は、上記第1～第6の態様のいずれか1つにおいて、上記駆動支持部（160, 170, 180）は、上記ベアリングレスモータ（160, 170）のみで構成されていることを特徴とする。

[0024] 上記第7の態様では、ベアリングレスモータ（160, 170）のみによって駆動軸（130）のラジアル荷重が非接触で支持される。

- [0025] 本開示の第8の態様は、上記第1～第6の態様のいずれか1つにおいて、上記駆動支持部（160, 170, 180）は、上記ベアリングレスモータ（160, 170）と、上記駆動軸（130）の軸方向において上記ベアリングレスモータ（160, 170）と並んで配置され、複数の電磁石を有して上記駆動軸（130）のラジアル荷重を非接触で支持する磁気軸受（180）とで構成されていることを特徴とする。
- [0026] 上記第8の態様では、ベアリングレスモータ（160, 170）および磁気軸受（180）によって駆動軸（130）のラジアル荷重が非接触で支持される。
- [0027] 本開示の第9の態様は、上記第8の態様において、上記磁気軸受（260）は、上記駆動軸（240）の軸方向において、上記ベアリングレスモータ（250）において支持されるラジアル荷重よりも大きいラジアル荷重が作用する位置に配置されていることを特徴とする。
- [0028] 上記第9の態様では、磁気軸受（260）において支持されるラジアル荷重は、ベアリングレスモータ（250）において支持されるラジアル荷重よりも大きくなっている。すなわち、駆動軸（240）のラジアル荷重が比較的に大きくなる位置に磁気軸受（260）が配置され、駆動軸（240）のラジアル荷重が比較的に小さくなる位置にベアリングレスモータ（250）が配置されている。なお、ベアリングレスモータ（250）では、電磁力を支持力（駆動軸（240）を非接触で支持するための力）と駆動力（駆動軸（240）を回転駆動させるための力）とに割り当てることになるが、磁気軸受（260）では、電磁力を全て支持力に割り当てることが可能である。そのため、磁気軸受（260）は、ベアリングレスモータ（250）よりも大きな支持力を発生させることが可能である。
- [0029] 本開示の第10の態様は、上記第9の態様において、上記駆動軸（240）の一端部に上記インペラ（220）が接続され、上記磁気軸受（260）は、上記駆動軸（240）の軸方向において上記ベアリングレスモータ（250）よりも上記インペラ（220）に近い位置に配置されていることを特徴とする。
- [0030] 上記第10の態様では、駆動軸（240）の軸方向における位置が駆動軸（240）の一端部（すなわちインペラ（220））に近くなるに連れて、その位置に

おける駆動軸（240）のラジアル荷重が大きくなる傾向にある。したがって、駆動軸（240）の軸方向においてベアリングレスモータ（250）よりもインペラ（220）に近い位置に磁気軸受（260）を配置することにより、駆動軸（240）のラジアル荷重が比較的が大きくなる位置に磁気軸受（260）を配置し、駆動軸（240）のラジアル荷重が比較的に小さくなる位置にベアリングレスモータ（250）を配置することができる。

[0031] 本開示の第11の態様は、上記第9または第10の態様において、上記ベアリングレスモータ（250）は、表面磁石型のベアリングレスモータによって構成されていることを特徴とする。

[0032] 上記第11の態様では、ベアリングレスモータ（250）は、表面磁石型のベアリングレスモータによって構成されている。なお、表面磁石型のベアリングレスモータ（250）における永久磁石（253）の数は、コンセクエントポール型のベアリングレスモータ（250）における永久磁石（253）の数よりも多くなっている。そのため、表面磁石型のベアリングレスモータ（250）は、コンセクエントポール型のベアリングレスモータ（250）よりも、磁石磁束 $\phi$ 1の磁束密度が高くなっている。したがって、表面磁石型のベアリングレスモータ（250）は、コンセクエントポール型のベアリングレスモータ（250）よりも、大きな駆動トルク（T1）を発生させることができる。

[0033] 本開示の第12の態様は、上記第8の態様において、上記ベアリングレスモータ（450）は、上記駆動軸（440）の軸方向において、上記磁気軸受（460）において支持されるラジアル荷重よりも大きいラジアル荷重が作用する位置に配置されていることを特徴とする。

[0034] 上記第12の態様では、駆動軸（440）のラジアル荷重が比較的が大きくなる位置にベアリングレスモータ（450）が配置され、駆動軸（440）のラジアル荷重が比較的に小さくなる位置に磁気軸受（460）が配置されている。すなわち、磁気軸受（460）は、ベアリングレスモータ（450）において支持されるラジアル荷重よりも小さいラジアル荷重が作用する位置に配置されている。なお、磁気軸受（460）において発生する電磁力は、磁気軸受（460）のサ

イズ（特に軸長やロータ径）に依存しており、磁気軸受（460）のサイズが大きくなるほど磁気軸受（460）において発生する電磁力が大きくなる傾向にある。そのため、ベアリングレスモータ（450）において支持されるラジアル荷重よりも小さいラジアル荷重が作用する位置に磁気軸受（460）を配置することにより、ベアリングレスモータ（450）において支持されるラジアル荷重よりも大きいラジアル荷重が作用する位置に磁気軸受（460）を配置する場合よりも、磁気軸受（460）のサイズ（特に軸長やロータ径）を小さくすることができる。

[0035] また、冷媒回路（510）に設けられて冷媒を圧縮するターボ圧縮機（410）では、駆動軸（440）の負荷トルク（駆動軸（440）を回転駆動させるために必要となるトルク）が最大となる運転領域と駆動軸（440）のラジアル荷重が最大となる運転領域とが互いに異なり、駆動軸（440）のラジアル荷重が比較的に大きくなる運転領域（特に駆動軸（440）のラジアル荷重が最大となる運転領域）では、駆動軸（440）の負荷トルクが比較的に小さくなる。そのため、駆動軸（440）のラジアル荷重が比較的に大きくなる運転領域では、ベアリングレスモータ（450）の電磁力を支持力（駆動軸（440）を非接触で支持するための力）に十分に割り当てることができる。

[0036] 本開示の第13の態様は、上記第12の態様において、上記駆動軸（440）の一端部に上記インペラ（421）が接続され、上記ベアリングレスモータ（450）は、上記駆動軸（440）の軸方向において上記磁気軸受（460）よりも上記インペラ（421）に近い位置に配置されていることを特徴とする。

[0037] 上記第13の態様では、駆動軸（440）の軸方向における位置が駆動軸（440）の一端部（すなわちインペラ（421））に近くなるに連れて、その位置における駆動軸（440）のラジアル荷重が大きくなる傾向にある。したがって、駆動軸（440）の軸方向においてラジアル磁気軸受（460）よりもインペラ（421）に近い位置にベアリングレスモータ（450）を配置することにより、駆動軸（440）の一端部にインペラ（421）が接続されたターボ圧縮機（410）において、駆動軸（440）のラジアル荷重が比較的に大きくなる位置にベアリング

レスモータ (450) を配置し、駆動軸 (440) のラジアル荷重が比較的になくなる位置にラジアル磁気軸受 (460) を配置することができる。

[0038] 本開示の第14の態様は、上記第12または第13の態様において、上記ベアリングレスモータ (450) は、コンセクエントポール型のベアリングレスモータまたは埋込磁石型のベアリングレスモータによって構成されていることを特徴とする。

[0039] 上記第14の態様では、コンセクエントポール型のベアリングレスモータ (450) は、表面磁石型のベアリングレスモータ (450) よりも、支持用磁束BS1の磁路における磁気抵抗が低くなっている。そのため、コンセクエントポール型のベアリングレスモータ (450) は、表面磁石型のベアリングレスモータ (450) よりも大きな支力を発生させることができる。また、埋込磁石型のベアリングレスモータ (450) は、表面磁石型のベアリングレスモータ (450) よりも、支持用磁束BS1の磁路における磁気抵抗が低くなっている。そのため、埋込磁石型のベアリングレスモータ (450) は、表面磁石型のベアリングレスモータ (450) よりも大きな支持力を発生させることができる。

[0040] 本開示の第15の態様は、上記第8の態様において、上記磁気軸受 (621) は、上記ベアリングレスモータ (640) の軸方向両側にそれぞれ配置され、かつ上記複数の電磁石 (671~678) によって上記駆動軸 (605) に合成電磁力 (F) を付与するように構成されており、それぞれの磁気軸受 (621) は、互いに逆位相の合成電磁力 (F) を発生させることを特徴とする。

[0041] 上記第15の態様では、2つの磁気軸受 (621) がベアリングレスモータ (640) の両側に配置されて、逆位相の電磁力を駆動軸 (605) に加える。すなわち、これらの磁気軸受 (621) は、駆動軸 (605) のチルト方向に対して電磁力を作用させる。また、ベアリングレスモータ (640) によって、ラジアル方向の荷重を支持することができる。こうすることで、磁気軸受 (621) で分担するラジアル方向の荷重を小さくでき、その結果、磁気軸受 (621) の小型化が可能になる。

[0042] 本開示の第16の態様は、上記第15の態様において、一方の磁気軸受 (6

21) のそれぞれの電磁石 (671~678) は、当該電磁石 (671~678) とは逆位相の電磁力を他方の磁気軸受 (621) において発生させる電磁石 (671~678) と結線されていることを特徴とする。

[0043] 上記第16の態様では、制御器が1つあれば、2つの磁気軸受 (621) を同時に制御することが可能になる。

[0044] 本開示の第17の態様は、上記第15または第16の態様において、上記ベアリングレスモータ (640) で並進方向の変位を制御し、上記磁気軸受 (621) でチルト方向の変位を制御することを特徴とする。

[0045] 本開示の第18の態様は、上記第17の態様において、上記ベアリングレスモータ (640) 用の制御器と、上記磁気軸受 (621) 用の制御器を個別に有することを特徴とする。

[0046] 本開示の第19の態様は、上記第15~第18の態様のいずれか1つにおいて、上記インペラ (603a) により近い磁気軸受 (621) の方が、もう一方の磁気軸受 (621) よりも大きな上記合成電磁力 (F) を発生するように、各電磁石 (671~678) の巻線の巻数、各巻線に流す電流の大きさ、磁気回路の磁気抵抗、電磁石のサイズが設定されていることを特徴とする。

[0047] 本開示の第20の態様は、上記第19の態様において、上記インペラ (603a) により近い方の磁気軸受 (621) が有する各電磁石 (671~678) の方が、もう一方の磁気軸受 (621) が有する各電磁石 (671~678) よりも巻線の巻数が多いことを特徴とする。

[0048] 上記第20の態様では、コイル (665) の巻数によって磁気軸受 (621) の合成電磁力 (F) が調整される。

[0049] 本開示の第21の態様は、上記第19または第20の態様において、上記インペラ (603a) により近い磁気軸受 (621) の方が、もう一方の磁気軸受 (621) よりも、軸方向長さが長いことを特徴とする。

[0050] 上記第21の態様では、磁気軸受 (621) の軸方向長さによって磁気軸受 (621) の合成電磁力 (F) が調整される。

[0051] 本開示の第22の態様は、上記第19~第21の態様のいずれか1つにお

いて、上記駆動軸（605）は、上記インペラ（603a）により近い方の磁気軸受（621）に面する部分の方が、もう一方の磁気軸受（621）に面する部分よりも直径が大きいことを特徴とする。

[0052] 上記第22の態様では、駆動軸（605）が磁気軸受（621）に面する部分の直径によって磁気軸受（621）の合成電磁力（F）が調整される。

[0053] 本開示の第23の態様は、上記第1～第22の態様のいずれか1つにおいて、上記駆動支持部（760,770,780,782,784,787）は、上記ベアリングレスモータ（760,770）に組み込まれて上記駆動軸（730）のラジアル荷重を非接触で支持する気体軸受（780,782,784,787）を有することを特徴とする。

[0054] 上記第23の態様では、ベアリングレスモータ（760,770）および気体軸受（780,782,784,787）によって駆動軸（730）のラジアル荷重が非接触で支持される。このため、ベアリングレスモータ（760,770）のみで駆動軸（730）のラジアル荷重を支持する場合に比べて、ベアリングレスモータ（760,770）が受け持つラジアル荷重が減少し、その減少分に対応してベアリングレスモータ（760,770）の駆動トルク出力を高めることが可能となる。また、気体軸受（780,782,784,787）はベアリングレスモータ（760,770）に組み込まれているので、気体軸受（780,782,784,787）を単体で設ける場合に比べて回転系を小型化することができる。したがって、ターボ圧縮機（701）を安全に運転可能な領域を広げることができる。

[0055] 本開示の第24の態様は、上記第23の態様において、上記ベアリングレスモータ（760,770）は、上記所定の電流範囲内の電流が流れるコイル（763,773）が巻回された固定子（762,772）を有し、上記気体軸受（780,782,784,787）の少なくとも一部は、上記固定子（762,772）のコイルエンド部（764,774）と上記駆動軸（730）の径方向に重なっていることを特徴とする。

[0056] 上記第24の態様では、気体軸受（780,782,784,787）の少なくとも一部がコイルエンド部（764,774）と駆動軸（730）の径方向に重なっていることによって、当該気体軸受（780,782,784,787）およびベアリングレスモータ（760,770）ならびに駆動軸（730）を含む回転系の全体的な小型化が図られる。

- [0057] 本開示の第25の態様は、上記第24の態様において、上記気体軸受（780, 782, 784, 787）は、上記コイルエンド部（764, 774）のモールド樹脂（765, 775）に嵌め込まれたスリーブ（780, 782, 784, 787）によって構成されていることを特徴とする。
- [0058] 本開示の第26の態様は、上記第23～第25の態様のいずれか1つにおいて、上記気体軸受（780, 782）は、動圧気体軸受であることを特徴とする。
- [0059] 本開示の第27の態様は、上記第23～第25の態様のいずれか1つにおいて、上記気体軸受（784, 787）は、静圧気体軸受であることを特徴とする。
- [0060] 本開示の第28の態様は、上記第1～第27の態様のいずれか1つにおいて、ベアリングレスモータ（840, 850）の上記固定子（844, 854）に設けられた電機子巻線（846a～846c, 856a～856c）および支持巻線（847a～847c, 857a～857c）と、上記電機子巻線（846a～846c, 856a～856c）および上記支持巻線（847a～847c, 857a～857c）に電圧を印加するための電源部（861, 862）と、上記電機子巻線（846a～846c, 856a～856c）にかかる電圧である電機子電圧 $V_A$ と、上記支持巻線（847a～847c, 857a～857c）に流れる電流である支持電流 $I_S$ との一方を増大させかつ他方を低減させるように、上記電源部（861, 862）を制御する制御部（860）とを備えることを特徴とする。
- [0061] 上記第28の態様では、電機子電圧 $V_A$ と支持電流 $I_S$ の一方を増大させかつ他方を低減させることにより、ターボ圧縮機（812）の動作状況に応じて、電源部（861, 862）の電源容量の範囲内で電機子電圧 $V_A$ および支持電流 $I_S$ を調節することができる。
- [0062] 本開示の第29の態様は、上記第28の態様において、上記制御部（860）は、上記電機子電圧 $V_A$ を増大させて上記支持電流 $I_S$ が低減するように、または、上記支持電流 $I_S$ を増大させて上記電機子電圧 $V_A$ が低減するように、上記電源部（861, 862）を制御することを特徴とする。
- [0063] 上記第29の態様では、ラジアル支持力を維持しつつ、支持電流 $I_S$ または電機子電圧 $V_A$ を低減させることができる。
- [0064] 本開示の第30の態様は、上記第28または第29の態様において、上記

制御部（860）は、上記電機子電圧  $V_A$  を増大させて上記支持電流  $I_S$  が所定の第1上限値を超えないように、上記電源部（861, 862）を制御することを特徴とする。

[0065] 上記第30の態様では、支持電流  $I_S$  が第1上限値を超えないようにできる一方、電機子巻線（846a~846c, 856a~856c）に流れる電流である電機子電流  $I_A$  に起因するラジアル支持力を増大させることができる。支持電流  $I_S$  が第1上限値またはその近傍に達した状態でラジアル支持力を増大させる場合に特に効果的である。

[0066] 本開示の第31の態様は、上記第28~第30の態様のいずれか1つにおいて、上記制御部（860）は、上記支持電流  $I_S$  を増大させて上記電機子電圧  $V_A$  が所定の第2上限値を超えないように、上記電源部（861, 862）を制御することを特徴とする。

[0067] 上記第31の態様では、電機子電圧  $V_A$  が第2上限値を超えないようにできるが、例えばベアリングレスモータ（840, 850）の回転速度を上昇させていくと電機子電流  $I_A$  に起因するラジアル支持力が低下するおそれがある。これに対し、支持電流  $I_S$  を増大させることによってそれに起因するラジアル支持力で当該低下を補うことができる。

[0068] 本開示の第32の態様は、上記第28~第31の態様のいずれか1つにおいて、上記制御部（860）は、上記電機子電圧  $V_A$  を低減させて上記支持電流  $I_S$  が増大するように、または、上記支持電流  $I_S$  を低減させて上記電機子電圧  $V_A$  が増大するように、上記電源部（861, 862）を制御することを特徴とする。

[0069] 上記第32の態様では、ラジアル支持力を維持しつつ、支持電流  $I_S$  または電機子電圧  $V_A$  を増大させることができる。

[0070] 本開示の第33の態様は、上記第28~第32の態様のいずれか1つにおいて、上記制御部（860）は、上記電機子電圧  $V_A$  を低減させて上記支持電流  $I_S$  が所定の第1下限値を超えるように、上記電源部（861, 862）を制御することを特徴とする。

- [0071] 上記第33の態様では、支持電流  $I_S$  が第1下限値を超えるようにすることができる。これにより、例えば、支持巻線 (847a~847c, 857a~857c) における発熱を必要に応じて利用することができる。
- [0072] 本開示の第34の態様は、上記第28~33の態様のいずれか1つにおいて、上記制御部 (860) は、上記支持電流  $I_S$  を低減させて上記電機子電圧  $V_A$  が所定の第2下限値を超えるように、上記電源部 (861, 862) を制御することを特徴とする。
- [0073] 上記第34の態様では、電機子電圧  $V_A$  が第2下限値を超えるようにすることができる。これにより、例えば、電機子巻線 (846a~846c, 856a~856c) における発熱を必要に応じて利用することができる。
- [0074] 本開示の第35の態様は、上記第28~34の態様のいずれか1つにおいて、上記ターボ圧縮機 (812) は、冷凍サイクルを行う冷媒回路 (811) に設けられて上記インペラ (821) によって冷媒を圧縮するように構成され、上記ターボ圧縮機 (812) を旋回失速が生じる領域またはサージング領域で運転する場合、上記制御部 (860) は、上記電機子電圧  $V_A$  を増大させて上記支持電流  $I_S$  が所定の第1上限値を超えないように、上記電源部 (861, 862) を制御することを特徴とする。
- [0075] 上記第35の態様では、旋回失速が生じる領域 (C) またはサージング領域 (D) でターボ圧縮機 (812) を運転する場合、すなわちベアリングレスモータ (840, 850) の負荷トルクが小さい一方で必要なラジアル支持力が大きい場合に、電機子電流  $I_A$  に起因するラジアル支持力を増大させることができる。したがって、支持電流  $I_S$  を第1上限値以下に抑制していても、電機子電流  $I_A$  の増大によってベアリングレスモータ (840, 850) のラジアル支持力を増大させることができる。
- [0076] 本開示の第36の態様は、冷凍装置 (900) を対象とする。この冷凍装置 (900) は、上記第1~35の態様のいずれか1つに係るターボ圧縮機 (101, 210, 410, 601, 701, 812) を有する熱源ユニット (910) と、利用ユニット (921) とを備える。

[0077] 上記第36の態様では、熱源ユニット(910)のターボ圧縮機(101,210,410,601,701,812)を運転することで、例えば、利用ユニット(921)が設けられた空間の空気調和が行われる。

[0078] 本開示の第37の態様は、上記第36の態様において、上記利用ユニット(921)は、複数台設けられ、複数台の上記利用ユニット(921)は、複数の空調対象空間の空気調和を行うことを特徴とする。

[0079] 上記第37の態様では、複数台の利用ユニット(921)によって複数の空調対象空間の空気調和が行われる。

### 発明の効果

[0080] 上記第1の態様によれば、少なくとも1つのベアリングレスモータを含む駆動支持部を備えたターボ圧縮機を提供することができる。

[0081] また、上記第2および第3の態様によれば、旋回失速が生じる領域およびサージング領域でもターボ圧縮機を問題なく運転することが可能となる。

[0082] また、上記第4および第5の態様によれば、例えば、通常の見え方に比べて駆動支持部を構成する場合に比べて、ベアリングレスモータの固定子および回転子を小型化することが可能となる。

[0083] また、上記第6の態様によれば、サージング領域で運転する場合または駆動軸の回転運動を通常停止させる場合に、ターボ圧縮機を効率良く運転することができる。

[0084] また、上記第9の態様によれば、ベアリングレスモータと磁気軸受とを用いて駆動軸の回転駆動および非接触支持を行うことにより、ベアリングレスモータの代わりに駆動軸の回転駆動のみを行うモータと駆動軸の非接触支持のみを行う磁気軸受とが設けられている場合よりも、駆動支持部を小型化することができる。

[0085] また、上記第9の態様によれば、磁気軸受は、ベアリングレスモータよりも大きな支持力を発生させることが可能であるので、駆動軸のラジアル荷重が比較的が大きくなる位置にラジアル磁気軸受を配置し、駆動軸のラジアル荷重が比較的に小さくなる位置にベアリングレスモータを配置することによ

り、駆動軸の支持力（駆動軸を非接触で支持するための力）を確保することができる。

[0086] また、上記第10の態様によれば、駆動軸の軸方向においてベアリングレスモータよりもインペラに近い位置に磁気軸受を配置することにより、駆動軸の一端部にインペラが接続されたターボ圧縮機において、駆動軸のラジアル荷重が比較的に大きくなる位置に磁気軸受を配置し、駆動軸のラジアル荷重が比較的に小さくなる位置にベアリングレスモータを配置することができる。

[0087] また、上記第11の態様によれば、ベアリングレスモータを表面磁石型のベアリングレスモータによって構成することにより、コンセクエントポール型のベアリングレスモータによってベアリングレスモータを構成する場合よりも、ベアリングレスモータにおける駆動力（駆動軸を回転駆動させるための力）を大きくすることができる。

[0088] また、上記第12の態様によれば、ベアリングレスモータと磁気軸受とを用いて駆動軸の回転駆動および非接触支持を行うことにより、ベアリングレスモータの代わりに駆動軸の回転駆動のみを行うモータと駆動軸の非接触支持のみを行う2つの磁気軸受とが設けられている場合よりも、ターボ圧縮機を小型化することができる。

[0089] また、上記第12の態様によれば、ベアリングレスモータにおいて支持されるラジアル荷重よりも大きいラジアル荷重が作用する位置に磁気軸受を配置する場合よりも、磁気軸受のサイズ（特に軸長やロータ径）を小さくすることができるので、ターボ圧縮機をさらに小型化することができる。

[0090] また、上記第12の態様によれば、駆動軸のラジアル荷重が比較的に大きくなる運転領域においてベアリングレスモータの電磁力を支持力（駆動軸を非接触で支持するための力）に十分に割り当てることができるので、駆動軸のラジアル負荷が比較的に大きくなる運転領域において駆動軸の支持力を確保することができる。

[0091] また、上記第13の態様によれば、駆動軸の軸方向において磁気軸受より

もインペラに近い位置にベアリングレスモータを配置することにより、駆動軸の一端部にインペラが接続されたターボ圧縮機において、駆動軸のラジアル荷重が比較的が大きくなる位置にベアリングレスモータを配置し、駆動軸のラジアル荷重が比較的に小さくなる位置に磁気軸受を配置することができる。

[0092] また、上記第14の態様によれば、ベアリングレスモータをコンセクエントポール型のベアリングレスモータまたは埋込磁石型のベアリングレスモータによって構成することにより、表面磁石型のベアリングレスモータによってベアリングレスモータを構成する場合よりも、ベアリングレスモータにおける支持力（駆動軸を非接触で支持するための力）を大きくすることができる。

[0093] また、上記第15の態様によれば、駆動軸を非接触で支持する駆動支持部において、駆動支持部の大型化を抑制しつつ、駆動軸のチルト方向の変位を低減することが可能になる。

[0094] また、上記第16の態様によれば、2つの磁気軸受を容易に制御することが可能になる。

[0095] また、上記第17の態様によれば、より確実に上記効果を得ることが可能になる。

[0096] また、上記第18の態様によれば、並進方向制御とチルト方向制御それぞれに最適な演算速度、出力容量の制御器を用いることにより制御器にかかるコストの抑制が可能になる。

[0097] また、上記第19～第22の態様によれば、磁気軸受がチルト変位角を低減させるための力だけでなく並進方向の変位を低減させるための力も一部受け持つため、ベアリングレスモータが並進方向の変位を低減させるために出力すべき力を低減することができ、ベアリングレスモータの小型化が可能となる。

[0098] また、上記第23～第27の態様によれば、気体軸受で駆動軸のラジアル荷重の少なくとも一部を支持することにより、ベアリングレスモータが受け

持つラジアル荷重を減少させることができる。このため、ベアリングレスモータの駆動トルク出力を高めることが可能となる。

[0099] また、上記第23～第27の態様によれば、ベアリングレスモータおよび気体軸受ならびに駆動軸を含む回転系の軸方向長さを小さく設定することができる。よって、ターボ圧縮機を安全に運転可能な領域を広げることができる。

[0100] また、上記第28、第29、および第32の態様によれば、ターボ圧縮機(812)の動作状況に応じて、電源部(861,862)の電源容量の範囲内で電機子電圧VAおよび支持電流ISを調節することができる。

[0101] また、上記第30の態様によれば、支持電流ISが第1上限値を超えないようにできる一方、電機子巻線(846a～846c,856a～856c)に流れる電流である電機子電流IAに起因するラジアル支持力を増大させることができる。

[0102] また、上記第31の態様によれば、電機子電圧VAが第2上限値を超えないようにする場合において電機子電流IAに起因するラジアル支持力が低下するときに、支持電流ISを増大させることによってそれに起因するラジアル支持力で当該低下を補うことができる。

[0103] また、上記第33の態様によれば、例えば、支持巻線(847a～847c,857a～857c)における発熱を必要に応じて利用することができる。

[0104] また、上記第34の態様によれば、例えば、電機子巻線(846a～846c,856a～856c)における発熱を必要に応じて利用することができる。

[0105] また、上記第35の態様によれば、支持電流ISを第1上限値以下に抑制していても、電機子電流IAの増大によってベアリングレスモータ(840,850)のラジアル支持力を増大させることができる。

[0106] また、上記第36および第37の態様によれば、冷凍装置(900)において上述した効果を得ることができる。

### 図面の簡単な説明

[0107] [図1]図1は、本発明の実施形態1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。
- [図7]図7は、ターボ圧縮機の運転領域について説明するための図である。
- [図8]図8は、本発明の実施形態2のターボ圧縮機の構成例を示す正面図である。
- [図9]図9は、ラジアル磁気軸受の構成例を示す横断面図である。
- [図10]図10は、本発明の実施形態3の空気調和機の構成を例示する概略図である。
- [図11]図11は、ターボ圧縮機の構成を例示する縦断面図である。
- [図12]図12は、ベアリングレスモータの構成を例示する横断面図である。
- [図13]図13は、ベアリングレスモータにおいて発生する磁石磁束と駆動用磁束とを例示する横断面図である。
- [図14]図14は、ベアリングレスモータにおいて発生する磁石磁束と支持用磁束とを例示する横断面図である。
- [図15]図15は、ベアリングレスモータにおいて発生する磁石磁束と駆動用磁束と支持用磁束とを例示する横断面図である。
- [図16]図16は、ラジアル磁気軸受の構成を例示する横断面図である。
- [図17]図17は、ベアリングレスモータの変形例の構成を例示する横断面図である。
- [図18]図18は、ベアリングレスモータの変形例において発生する磁石磁束と駆動用磁束と支持用磁束とを例示する横断面図である。

[図19]図19は、本発明の実施形態4の空気調和機の構成を例示する概略図である。

[図20]図20は、ターボ圧縮機の構成を例示する縦断面図である。

[図21]図21は、ベアリングレスモータの構成を例示する横断面図である。

[図22]図22は、ベアリングレスモータにおいて発生する磁石磁束と駆動用磁束とを例示する横断面図である。

[図23]図23は、ベアリングレスモータにおいて発生する磁石磁束と支持用磁束とを例示する横断面図である。

[図24]図24は、ベアリングレスモータにおいて発生する磁石磁束と駆動用磁束と支持用磁束とを例示する横断面図である。

[図25]図25は、ラジアル磁気軸受の構成を例示する横断面図である。

[図26]図26は、ベアリングレスモータの変形例1を例示する横断面図である。

[図27]図27は、ベアリングレスモータの変形例1において発生する磁石磁束と駆動用磁束と支持用磁束とを例示する横断面図である。

[図28]図28は、ベアリングレスモータの変形例2を例示する横断面図である。

[図29]図29は、ベアリングレスモータの変形例2において発生する磁石磁束と駆動用磁束と支持用磁束とを例示する横断面図である。

[図30]図30は、本発明の実施形態5のターボ圧縮機の構成例を示す。

[図31]図31は、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32]図32は、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33]図33は、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34]図34は、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35]図35は、ラジアル磁気軸受の構成例を示す横断面図である。

[図36]図36は、ラジアル磁気軸受の構成例を示す縦断面図である。

[図37]図37は、2つのラジアル磁気軸受間の結線の状態を示す。

[図38]図38は、チルト変位角、各センサで検出されたギャップ、及び全長の関係を示す。

[図39]図39は、本発明の実施形態6のターボ圧縮機の構成例を示す正面図である。

[図40]図40は、図39における部分Xの拡大図である。

[図41]図41は、本発明の実施形態7のターボ圧縮機の構成例を示す正面図である。

[図42]図42は、図41における部分Yの拡大図である。

[図43]図43は、本発明の実施形態8の空気調和装置の構成を例示する概略図である。

[図44]図44は、ターボ圧縮機の構成を例示する縦断面図である。

[図45]図45は、ベアリングレスモータの構成を例示する横断面図である。

[図46]図46は、本発明の実施形態9の冷凍装置の構成を例示する概略図である。

### 発明を実施するための形態

[0108] 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。

[0109] 《発明の実施形態1》

本発明の実施形態1について説明する。本実施形態のターボ圧縮機(101)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(101)は、ケーシング(110)と、インペラ(120)と、駆動軸(130)と、タッチダウン軸受(140,141)と、スラスト磁気軸受(150)と、制御部(190)と、電源部(191)と、第1ベアリングレスモータ(160)と、第2ベアリングレスモータ(170)とを備えている。第1ベアリングレスモータ(160)と第2ベアリングレスモータ(

170)とは、駆動軸(130)の軸方向に並んで配置されている。

[0110] 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り、駆動軸(130)の軸心の方向のことであり、「径方向」とは、駆動軸(130)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(130)の軸心からより遠い側のことであり、「内周側」とは、駆動軸(130)の軸心により近い側のことである。

[0111] ケーシングー

ケーシング(110)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(110)内の空間は、壁部(111)によって区画され、壁部(111)よりも右側の空間がインペラ(120)を収容するインペラ室(112)を構成し、壁部(111)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(160,170)を収容する電動機室(114)を構成している。そして、ケーシング(110)内を軸方向に延びる駆動軸(130)がインペラ(120)と第1および第2ベアリングレスモータ(160,170)とを連結している。第1および第2ベアリングレスモータ(160,170)は、駆動支持部を構成している。

[0112] インペラー

インペラ(120)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(120)は、駆動軸(130)の一端に固定された状態で、インペラ室(112)に収容されている。インペラ室(112)には、吸入管(115)および吐出管(116)が接続され、インペラ室(112)の外周部には、圧縮空間(113)が形成されている。吸入管(115)は、冷媒を外部からインペラ室(112)内に導くために設けられ、吐出管(116)は、インペラ室(112)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。

[0113] タッチダウン軸受ー

ターボ圧縮機(101)には2つのタッチダウン軸受(140,141)が設けられている。一方のタッチダウン軸受(140)は駆動軸(130)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(141)は駆動軸(130)

) 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 (140, 141) は、第 1 および第 2 ベアリングレスモータ (160, 170) が非通電であるとき (すなわち、駆動軸 (130) が浮上していないとき) に駆動軸 (130) を支持するように構成されている。

[0114]      －スラスト磁気軸受－

図 1 に示すように、スラスト磁気軸受 (150) は、第 1 および第 2 電磁石 (151, 152) を有していて、駆動軸 (130) の他端部 (すなわち、インペラ (120) が固定された一端部とは反対側の端部) に設けられた円盤状の部分 (以下、円盤部 (131) ) 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 (150) は、第 1 および第 2 電磁石 (151, 152) 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 (151, 152) 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 (130) の被支持部 (円盤部 (131) ) の位置を制御することができる。

[0115]      －制御部－

制御部 (190) は、駆動軸 (130) の位置が所望の位置となるように、円盤部 (131) とスラスト磁気軸受 (150) 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 (160, 170) における固定子 (164, 174) と回転子 (161, 171) 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 (120) および駆動軸 (130) の目標回転速度の情報に基づいて、スラスト磁気軸受 (150) 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 (160, 170) 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 (190) 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。

[0116]      －電源部－

電源部 (191) は、制御部 (190) からのスラスト電圧指令値およびモータ電圧指令値に基づいて、スラスト磁気軸受 (150) ならびに第 1 および第 2 ベ

アリングレスモータ（160, 170）に電圧をそれぞれ供給する。例えば、電源部（191）は、PWM（Pulse Width Modulation）アンプによって構成することが可能である。電源部（191）は、電気回路を構成している。

[0117] 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（160）は、電動機室（114）のうちインペラ（120）に近い側に配置されている。第1ベアリングレスモータ（160）は、電磁力によって駆動軸（130）を回転駆動しかつ駆動軸（130）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（160）は、一对の回転子（161）と固定子（164）を有する。回転子（161）は駆動軸（130）に固定され、固定子（164）はケーシング（110）の内周壁に固定されている。

[0118] 図2は、第1ベアリングレスモータ（160）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（160）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（160）の固定子（164）は、バックヨーク部（165）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（166a～166c）および支持用コイル（167a～167c）とを有する。第1ベアリングレスモータ（160）の回転子（161）は、コア部（162）と、このコア部（162）に埋設された複数（この例では、4つ）の永久磁石（163）とを有する。

[0119] 固定子（164）は、磁性材料（例えば、積層鋼板）で構成されている。固定子（164）のバックヨーク部（165）は、円筒状に形成されている。駆動用コイル（166a～166c）および支持用コイル（167a～167c）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（166a～166c）および支持用コイル（167a～167c）は、各ティース部に集中巻方式で巻回されていてもよい。

[0120] 駆動用コイル（166a～166c）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（166a～166c）は、図2において太実線で囲んで示すU相駆動用コイル（166a）と、太破線で囲んで示すV相駆動用コイル（1

66b) と、細実線で囲んで示すW相駆動用コイル (166c) とから構成されている。

[0121] 支持用コイル (167a~167c) 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 (167a~167c) は、図2において太実線で囲んで示すU相支持用コイル (167a) と、太破線で囲んで示すV相支持用コイル (167b) と、細実線で囲んで示すW相支持用コイル (167c) とから構成されている。

[0122] 回転子 (161) のコア部 (162) は、円筒状に形成されている。コア部 (162) の中央部には駆動軸 (130) 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 (162) は、磁性材料 (例えば、積層鋼板) で構成されている。コア部 (162) 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 (163) が、回転子 (161) 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 (163) は、互いに同形状である。各永久磁石 (163) の外周面側はN極となっており、各永久磁石 (163) の間のコア部 (162) の外周面は擬似的にS極となっている。なお、各永久磁石 (163) の外周面側がS極となってもよい。

[0123] 図3には、第1ベアリングレスモータ (160) において、各永久磁石 (163) によって生じる磁石磁束  $\phi 1$  と、インペラ (120) および駆動軸 (130) 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 (160) 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 (130) 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 (166a~166c) に流れる電流と等価の電流  $I M 1$  が示されている。

[0124] 図4には、第1ベアリングレスモータ (160) において、各永久磁石 (163) によって生じる磁石磁束  $\phi 1$  と、駆動軸 (130) 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 (160) 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（130）を図4で右方向に押す力）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（167a～167c）に流れる電流と等価の電流 $I_{S1}$ が示されている。

[0125] 図4からわかるように、支持用磁束 $B_{S1}$ の磁路は、固定子（164）のバックヨーク部（165）およびティース部と、エアギャップと、回転子（161）のコア部（162）とを通る経路である。バックヨーク部（165）、ティース部およびコア部（162）の磁気抵抗は、永久磁石（163）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（160）は、後述するように回転子（171）の外周面の略全体に永久磁石（173）が配置される第2ベアリングレスモータ（170）（すなわち、駆動軸（130）のラジアル荷重を支持する磁力を発生させるための磁路中に永久磁石（173）が含まれる第2ベアリングレスモータ（170））に比べて、駆動軸（130）のラジアル荷重を支持する磁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（160）は、第2ベアリングレスモータ（170）に比べて、駆動軸（130）のラジアル荷重を支持するための支持力をより大きく発生させることができる。

[0126] 図5には、第1ベアリングレスモータ（160）において、各永久磁石（163）によって生じる磁石磁束 $\phi_1$ と、インペラ（120）および駆動軸（130）を回転駆動するために生じる駆動用磁束 $B_{M1}$ と、駆動軸（130）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 $B_{S1}$ とが示されている。第1ベアリングレスモータ（160）は、これら磁石磁束 $\phi_1$ と駆動用磁束 $B_{M1}$ と支持用磁束 $B_{S1}$ 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（166a～166c）および支持用コイル（167a～167c）に流れる電流と等価の電流 $I_{M1}$ 、 $I_{S1}$ が示されている。

[0127] 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（170）は、電動機室（114）のうちインペラ（120）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（170）は、電

磁力によって駆動軸（130）を回転駆動しかつ駆動軸（130）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（170）は、一对の回転子（171）と固定子（174）を有する。回転子（171）は駆動軸（130）に固定され、固定子（174）はケーシング（110）に固定されている。

[0128] 図6は、第2ベアリングレスモータ（170）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（170）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。第2ベアリングレスモータ（170）の固定子（174）の構成は、第1ベアリングレスモータ（160）の固定子（164）の構成と同じである。第2ベアリングレスモータ（170）の回転子（171）は、コア部（172）と、このコア部（172）に埋設された複数（この例では、8つ）の永久磁石（173）とを有する。

[0129] 回転子（171）のコア部（172）は、円筒状に形成されている。コア部（172）の中央部には駆動軸（130）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（172）は、磁性材料（例えば、積層鋼板）で構成されている。コア部（172）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（173）が、回転子（171）の周方向において $45^\circ$ の角度ピッチ（AP2）（すなわち、第1ベアリングレスモータ（160）における $90^\circ$ 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（173）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（160）の4つの永久磁石（163）とも互いに同形状である。各永久磁石（173）の外周面側は回転子（171）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。

[0130] 図6には、第2ベアリングレスモータ（170）において、各永久磁石（173）によって生じる磁石磁束 $\phi_2$ と、インペラ（120）および駆動軸（130）を回転駆動するために生じる駆動用磁束 $B_{M2}$ と、駆動軸（130）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 $B_{S2}$ とが示されている。第

2ベアリングレスモータ（170）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 $B S 2$ との相互作用によって、同図に示す駆動トルク $T 2$ （すなわち、駆動軸（130）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 $F 2$ （すなわち、駆動軸（130）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。

[0131] 図6からわかるように、支持用磁束 $B S 2$ の磁路は、固定子（174）のバックヨーク部（175）およびティース部と、エアギャップと、回転子（171）の永久磁石（173）およびコア部（172）とを通る経路である。

[0132] 一方、第2ベアリングレスモータ（170）における永久磁石（173）の数は、第1ベアリングレスモータ（160）における永久磁石（163）の数よりも多い。このため、第2ベアリングレスモータ（170）は、第1ベアリングレスモータ（160）に比べて（図3を参照）、永久磁石（173）によって生じる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（170）は、第1ベアリングレスモータ（160）に比べて、インペラ（120）および駆動軸（130）を回転駆動するための駆動トルク $T 2$ をより大きく発生させることができる。

[0133] <ターボ圧縮機の運転領域>

図7は、ターボ圧縮機（101）の運転領域について説明するための図である。同図において、横軸は冷媒体積流量を、縦軸はヘッドをそれぞれ示す。ターボ圧縮機（101）は、電源部（191）によって所定の電流範囲内の電流が駆動支持部（本実施形態では、第1および第2ベアリングレスモータ（160, 170））に流れることにより、所定の運転領域において運転され得る。

[0134] この所定の運転領域は、主に、図7に太線で示すサージラインの内側の定常運転領域（A）、高負荷トルク領域（B）およびタービュランス領域（C）と、当該サージラインの外側のサージング領域（D）とを含む。本明細書では、定常運転領域（A）および高負荷トルク領域（B）においてターボ圧縮機（101）を運転する場合を「通常運転時」とも呼ぶ。また、タービュランス領域（C）のことを「旋回失速が生じる領域」とも呼ぶ。

[0135] 定常運転領域（A）は、図7に符号Aで示す領域であって、インペラ（120

) および駆動軸 (130) の負荷トルク (すなわち、インペラ (120) および駆動軸 (130) を回転駆動するための駆動トルク  $T_1$ ,  $T_2$ ) が比較的小さく、かつ駆動軸 (130) のラジアル荷重も比較的小さい領域である。

[0136] 高負荷トルク領域 (B) は、図7に符号Bで示す領域であって、インペラ (120) および駆動軸 (130) の負荷トルクが比較的大きく、かつ駆動軸 (130) のラジアル荷重も比較的大きい領域である。

[0137] ターボ圧縮機 (101) におけるインペラ (120) および駆動軸 (130) の負荷トルクは、この高負荷トルク領域 (B) のうち図7中で最も右上の点において最大となる。そして、この負荷トルクが最大となる点においてターボ圧縮機 (101) を運転するとき、駆動用磁束  $BM$  (すなわち、第1ベアリングレスモータ (160) の駆動用磁束  $BM_1$  と、第2ベアリングレスモータ (170) の駆動用磁束  $BM_2$  との和) の値がその最大値  $BM_{max}$  となる。この  $BM_{max}$  は、上記所定の運転領域における最大トルク負荷に対応する駆動トルクを発生させるために駆動支持部で生じる磁束である。また、駆動用磁束  $BM$  の値がその最大値  $BM_{max}$  となるときには、第1および第2ベアリングレスモータ (160, 170) の駆動用コイル (166a~166c, 176a~176c) に合計で最大トルク電流  $I_{BM_{max}}$  が流れる。

[0138] また、ターボ圧縮機 (101) におけるインペラ (120) および駆動軸 (130) の負荷トルクと駆動軸 (130) のラジアル荷重とは、この高負荷トルク領域 (B) のうち図7中で最も右上の点においてそれぞれ大きくなる (特に負荷トルクは最大となる)。そして、この高負荷トルク領域 (B) のうち図7中で最も右上の点においてターボ圧縮機 (101) を運転するとき、上記駆動用磁束  $BM$  と支持用磁束  $BS$  (すなわち、第1ベアリングレスモータ (160) の支持用磁束  $BS_1$  と、第2ベアリングレスモータ (170) の支持用磁束  $BS_2$  との和) との和がその最大値  $(BM+BS)_{max}$  となる。

[0139] タービュランス領域 (C) は、図7に符号Cで示す領域であって、インペラ (120) および駆動軸 (130) の負荷トルクは比較的小さい一方、駆動軸 (130) のラジアル荷重は比較的大きい領域である。このタービュランス領域 (

C) では、上述のように旋回失速が生じ得る。旋回失速とは、例えば、凝縮温度（すなわち、外気温）が比較的高い状態で冷凍負荷を下げてターボ圧縮機（101）を運転する場合に生じる現象である。そのような運転は、典型的には、ビルなどの多数の部屋を有する建物において、一部の部屋のみが空調が要求される場合に行われる。旋回失速が発生すると、インペラ（120）の複数の羽根の間で圧力の不均衡が生じ、それにより駆動軸（130）が振動する。この振動に起因して、タービュランス領域（C）では駆動軸（130）のラジアル荷重が比較的大きくなる。

[0140] サージング領域（D）は、図7に符号Dで示す領域であって、停電時などの非常の事態においてターボ圧縮機（101）がこのサージング領域（D）において一時的に運転されることがある。サージング領域（D）は、インペラ（120）および駆動軸（130）の負荷トルクは比較的小さい一方、駆動軸（130）のラジアル荷重は比較的大きい領域である。ターボ圧縮機（101）における駆動軸（130）のラジアル荷重は、このサージング領域（D）中の所定の点において最大となる。そして、このラジアル荷重が最大となる点においてターボ圧縮機（101）を運転するときに、上記支持用磁束  $B_S$  の値がその最大値  $B_{Smax}$  となる。この  $B_{Smax}$  は、上記所定の運転領域における駆動軸（130）の最大ラジアル荷重を非接触で支持するために駆動支持部で生じる磁束である。また、支持用磁束  $B_S$  の値がその最大値  $B_{Smax}$  となるときには、第1および第2ベアリングレスモータ（160, 170）の支持用コイル（167a~167c, 177a~177c）に合計で最大支持力電流  $I_{BSmax}$  が流れる。

[0141] ここで、第1および第2ベアリングレスモータ（160, 170）において最大負荷トルクおよび最大ラジアル荷重支持力との両方を同時に発生可能にするという通常の見え方にしたがうと、第1および第2ベアリングレスモータ（160, 170）に上記所定の電流範囲の上限値に相当する電流が流れることによって当該第1および第2ベアリングレスモータ（160, 170）で生じる磁束  $B_{max}$  が  $B_{Mmax} + B_{Smax}$  に一致する（ $B_{max} = B_{Mmax} + B_{Smax}$ ）ように第1および第2ベアリングレスモータ（160, 170）を構成することに

なる。

[0142] これに対し、本実施形態では、第1および第2ベアリングレスモータ（160, 170）に合計で所定の電流範囲の上限値に相当する電流が流れることによって当該第1および第2ベアリングレスモータ（160, 170）で生じる磁束  $B_{max}$  が、 $(BM + BS)_{max}$  以上であって  $BM_{max} + BS_{max}$  未満となる  $((BM + BS)_{max} \leq B_{max} < BM_{max} + BS_{max})$  ように第1および第2ベアリングレスモータ（160, 170）を構成する。

[0143] 具体的には、通常の見え方にしたがった構成に比べて、固定子（164, 174）の外径やティース部の周方向幅および回転子（161, 171）の外径、ならびに固定子（164, 174）および回転子（161, 171）の軸方向長さなどが小さくなるように第1および第2ベアリングレスモータ（160, 170）を構成する。すなわち、本実施形態の構成では、通常の見え方にしたがった構成に比べて、第1および第2ベアリングレスモータ（160, 170）において磁路を構成する部品である固定子（164, 174）および回転子（161, 171）を小型化することができる。

[0144] このことは、冷凍装置用のターボ圧縮機（101）において、最大駆動トルクが必要となる運転領域（すなわち、高負荷トルク領域（B））と、最大ラジアル荷重支持力が必要となる運転領域（すなわち、サージング領域（D））とが互いに異なるという事実を本願発明者が発見したことに基づく。つまり、第1および第2ベアリングレスモータ（160, 170）において最大駆動トルクと最大ラジアル荷重支持力との両方を同時に発生させる必要がないため、本実施形態によれば、 $(BM + BS)_{max} \leq B_{max} < BM_{max} + BS_{max}$  という関係が成立するように第1および第2ベアリングレスモータ（160, 170）を構成することによって、ターボ圧縮機（101）の機能と信頼性を損なうことなく当該第1および第2ベアリングレスモータ（160, 170）を小型化することができる。

[0145] <サージング領域などにおける制御部および電源部の動作>

制御部（190）は、ターボ圧縮機（101）をサージング領域（D）で運転する際には、同一回転速度で比較したとき、通常運転時に比べて、駆動用磁束

BM（すなわち、第1および第2ベアリングレスモータ（160,170）で生じる駆動用磁束の和 $BM1 + BM2$ ）を発生させるための電流 $I_M$ （すなわち、第1および第2ベアリングレスモータ（160,170）の駆動用コイル（166a~166c,176a~176c）に流れる電流の合計 $I_{M1} + I_{M2}$ ）に対する支持用磁束BSを発生させるための電流 $I_S$ （すなわち、第1および第2ベアリングレスモータ（160,170）の支持用コイル（167a~167c,177a~177c）に流れる電流の合計 $I_{S1} + I_{S2}$ ）の割合を増加させるよう電源部（191）にモータ指令値を送信する。

[0146] そのとき、電源部（191）は、制御部（190）から送信されたモータ指令値に基づいて、第1および第2ベアリングレスモータ（160,170）における駆動用コイル（166a~166c,176a~176c）に流れる電流 $I_M$ に対する支持用コイル（167a~167c,177a~177c）に流れる電流 $I_S$ の割合を増加させるように当該第1および第2ベアリングレスモータ（160,170）に電圧を供給する。

[0147] また、制御部（190）は、ターボ圧縮機（101）を旋回失速が生じる領域（すなわち、タービュランス領域（C））およびサージング領域（D）で運転する場合に冷媒体積流量が減るにつれて、同一回転速度で比較したとき、駆動用磁束BM（すなわち、第1および第2ベアリングレスモータ（160,170）で生じる駆動用磁束の和 $BM1 + BM2$ ）を発生させるための電流 $I_M$ に対する支持用磁束BSを発生させるための電流 $I_S$ の割合を増加させていくよう電源部（191）にモータ指令値を送信する。

[0148] そのとき、電源部（191）は、制御部（190）から送信されたモータ指令値に基づいて、第1および第2ベアリングレスモータ（160,170）における駆動用コイル（166a~166c,176a~176c）に流れる電流 $I_M$ に対する支持用コイル（167a~167c,177a~177c）に流れる電流 $I_S$ の割合を増加させていくように当該第1および第2ベアリングレスモータ（160,170）に電圧を供給する。

[0149] また、制御部（190）は、ターボ圧縮機（101）をサージング領域（D）で運転する場合または駆動軸（130）の回転運動を通常停止させる場合に、第1および第2ベアリングレスモータ（160,170）の駆動用コイル（166a~166c,1

76a~176c) に電流  $I_M$  を流さずに、第 1 および第 2 ベアリングレスモータ (160, 170) の支持用コイル (167a~167c, 177a~177c) に電流  $I_S$  を流すよう電源部 (191) にモータ指令値を送信する。

[0150] そのとき、電源部 (191) は、制御部 (190) から送信されたモータ指令値に基づいて、第 1 および第 2 ベアリングレスモータ (160, 170) の支持用コイル (167a~167c, 177a~177c) に電流  $I_S$  が流れるように当該第 1 および第 2 ベアリングレスモータ (160, 170) に電圧を供給する。

[0151] -実施形態 1 の効果-

本実施形態では、ターボ圧縮機 (101) に第 1 および第 2 ベアリングレスモータ (160, 170) を適用するにあたって通常の見方にしたがって当該第 1 および第 2 ベアリングレスモータ (160, 170) を構成する場合に比べて、第 1 および第 2 ベアリングレスモータ (160, 170) を小型化することができる。よって、ターボ圧縮機 (101) 全体としての小型化や、ターボ圧縮機 (101) の低コスト化などを図ることができる。

[0152] また、本実施形態では、第 1 および第 2 ベアリングレスモータ (160, 170) のみによって駆動軸 (130) のラジアル荷重を支持するので、従来のターボ圧縮機 (例えば、特許文献 1 を参照) において用いてきた 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 (120) および駆動軸 (130) を含む回転系を小型化することができる。よって、当該回転系の共振周波数が従来よりも高くなり、それによりターボ圧縮機 (101) を安全に運転できる運転領域を広めることができる。

[0153] また、本実施形態では、サージング領域 (D) においてターボ圧縮機 (101) を運転する場合に、通常運転時よりも駆動軸 (130) のラジアル荷重が大きくなることに伴って、駆動用磁束  $B_M$  を発生させるための電流  $I_M$  に対する支持用磁束  $B_S$  を発生させるための電流  $I_S$  の割合を、通常運転時に比べて増加させる。これにより、サージング領域 (D) でもターボ圧縮機 (101) を問題なく運転することが可能となる。

[0154] また、本実施形態では、ターボ圧縮機 (101) をタービュランス領域 (C)

およびサージング領域（D）で運転する場合に冷媒体積流量が減るにつれて、同一回転速度で比較すると冷媒体積流量の減少に伴って駆動軸（130）のラジアル荷重が大きくなることに対応して、駆動用磁束BMを発生させるための電流IMに対する支持用磁束BSを発生させるための電流ISの割合を増加させていく。これにより、タービュランス領域（C）およびサージング領域（D）でもターボ圧縮機（101）を問題なく運転することが可能となる。

[0155] ー実施形態1の変形例ー

実施形態1の変形例について説明する。本変形例は、所定の電流範囲の上限値に相当する電流が上記実施形態1のそれと異なる。

[0156] 本変形例では、所定の電流範囲の上限値に相当する電流が、最大トルク電流 $I_{BMmax}$ と最大支持力電流 $I_{BSmax}$ とを足し合わせた電流である。そして、本変形例では、第1および第2ベアリングレスモータ（160, 170）のコイル（166a~166c, 167a~167c, 176a~176c, 177a~177c）に、合計で最大トルク電流 $I_{BMmax}$ と最大支持力電流 $I_{BSmax}$ とを足し合わせた電流を流すことによって当該第1および第2ベアリングレスモータ（160, 170）で生じる磁束 $BMSmax$ が、 $BMSmax < BMmax + BSmax$ 未満となる（ $BMSmax < BMmax + BSmax$ ）ように第1および第2ベアリングレスモータ（160, 170）を構成する。なお、第1および第2ベアリングレスモータ（160, 170）で磁束 $BMSmax$ が生じるときには、駆動用磁束BMおよび支持用磁束BSの主磁路において磁気飽和が生じると考えられる。

[0157] 具体的には、上記実施形態1と同様に、通常の見え方にしがった構成に比べて、固定子（164, 174）の外径やティース部の周方向幅および回転子（161, 171）の外径、ならびに固定子（164, 174）および回転子（161, 171）の軸方向長さなどが小さくなるように第1および第2ベアリングレスモータ（160, 170）を構成する。すなわち、本変形例の構成でも、通常の見え方にしがった構成に比べて、第1および第2ベアリングレスモータ（160, 170）において磁路を構成する部品である固定子（164, 174）および回転子（161, 171）を小型化することができる。

[0158] 《発明の実施形態 2》

本発明の実施形態 2 について説明する。本実施形態のターボ圧縮機 (101) は、駆動支持部の構成が上記実施形態 1 のものと異なる。以下では、実施形態 1 と異なる点について主に説明する。

[0159] 図 8 に示すように、本実施形態のターボ圧縮機 (101) は、第 1 および第 2 ベアリングレスモータ (160, 170) ではなく、1 つのラジアル磁気軸受 (180) と、1 つのベアリングレスモータ (170) とを備えている。ラジアル磁気軸受 (180) およびベアリングレスモータ (170) は、駆動支持部を構成している。

[0160] ラジアル磁気軸受 (180) は、電動機室 (114) のうちインペラ (120) に近い側に配置され、ベアリングレスモータ (170) は、電動機室 (114) のうちインペラ (120) から遠い側に配置されている。ベアリングレスモータ (170) の構成は、例えば上記実施形態 1 の第 2 ベアリングレスモータ (170) の構成と同様である。なお、電動機室 (114) のうちインペラ (120) に近い側にラジアル磁気軸受 (180) が配置され、電動機室 (114) のうちインペラ (120) から遠い側にベアリングレスモータ (170) が配置されていてもよい。

[0161] 図 9 は、ラジアル磁気軸受 (180) の構成例を示す横断面図である。同図に示すように、ラジアル磁気軸受 (180) は、ヘテロポーラ型のラジアル磁気軸受を構成している。ラジアル磁気軸受 (180) は、バックヨーク部 (182) および複数のティース部 (183) を有する固定子 (181) と、ティース部 (183) に巻回された複数のコイル (184) とを有する。ラジアル磁気軸受 (180) は、電源部 (191) によって各コイル (184) に電流が流れることにより生じる電磁力によって駆動軸 (130) 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。なお、各コイル (184) に流れる電流の方向は、支持用磁束  $B_S$  1 が図 9 に示す方向に生じるように設定される。ラジアル磁気軸受 (180) は、ケーシング (110) の内周壁に固定されている。

[0162] 実施形態 2 では、インペラ (120) および駆動軸 (130) を回転駆動するためにベアリングレスモータ (170) およびラジアル磁気軸受 (180) で生じる

磁束である駆動用磁束BMは、ベアリングレスモータ（170）の駆動用磁束BM2である。また、駆動軸（130）のラジアル荷重を支持するためにベアリングレスモータ（170）およびラジアル磁気軸受（180）で生じる磁束である支持用磁束BSは、ラジアル磁気軸受（180）の支持用磁束BS1（図9を参照）と、ベアリングレスモータ（170）の支持用磁束BS2との和である。

[0163] 本実施形態においても、上記実施形態1と同様の効果を得ることができる。

[0164] 《発明の実施形態3》

本発明の実施形態3について説明する。

[0165] 〈空気調和機〉

図10は、実施形態による空気調和装置（300）の構成を例示している。空気調和装置（300）は、冷媒回路（310）を備えている。冷媒回路（310）は、ターボ圧縮機（210）と凝縮器（320）と膨張弁（330）と蒸発器（340）とを有し、冷媒が循環して冷凍サイクルが行われるように構成されている。例えば、凝縮器（320）および蒸発器（340）は、クロスフィン型の熱交換器により構成され、膨張弁（330）は、電動弁により構成されている。

[0166] 〈ターボ圧縮機〉

図11は、図10に示したターボ圧縮機（210）の構成を例示している。ターボ圧縮機（210）は、冷媒回路（310）に設けられて冷媒を圧縮するように構成されている。この例では、ターボ圧縮機（210）は、ケーシング（211）と、インペラ（221）と、電動機システム（230）とを備えている。電動機システム（230）は、駆動軸（240）と、ベアリングレスモータ（250）と、ラジアル磁気軸受（260）と、制御部（280）と、電源部（281）とを有している。また、この例では、電動機システム（230）は、第1タッチダウン軸受（231）と、第2タッチダウン軸受（232）と、スラスト磁気軸受（233）とをさらに有している。

[0167] なお、以下の説明において、「軸方向」とは、回転軸方向のことであって、駆動軸（240）の軸心の方向のことであり、「径方向」とは、駆動軸（240

)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(240)の軸心からより遠い側のことであり、「内周側」とは、駆動軸(240)の軸心により近い側のことである。

[0168]      －ケーシング－

ケーシング(211)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(211)内の空間は、壁部(211a)によって区画され、壁部(211a)よりも右側の空間がインペラ(221)を収容するインペラ室(S201)を構成し、壁部(211a)よりも左側の空間がベアリングレスモータ(250)を収容する電動機室(S202)を構成している。また、電動機室(S202)には、ベアリングレスモータ(250)とラジアル磁気軸受(260)と第1タッチダウン軸受(231)と第2タッチダウン軸受(232)とスラスト磁気軸受(233)が収容され、これらが電動機室(S202)の内周壁に固定されている。

[0169]      －駆動軸－

駆動軸(240)は、負荷(220)(この例ではインペラ(221))を回転駆動するために設けられている。この例では、駆動軸(240)は、ケーシング(211)内を軸方向に延びてインペラ(221)とベアリングレスモータ(250)とを連結している。具体的には、駆動軸(240)の一端部にインペラ(221)が固定され、駆動軸(240)の中間部にベアリングレスモータ(250)が配置されている。また、駆動軸(240)の他端部(すなわちインペラ(221)が固定された一端部とは反対側の端部)には、円盤状の部分(以下「円盤部(241)と記載」)が設けられている。なお、円盤部(241)は、磁性材料(例えば鉄)で構成されている。

[0170]      －インペラ(負荷)－

インペラ(221)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、駆動軸(240)の一端部に固定された状態で、インペラ室(S201)に収容されている。インペラ室(S201)には、吸入管(P201)と吐出管(P202)とが接続されている。吸入管(P201)は、冷媒(流体)を外部からインペ

ラ室 (S201) に導くために設けられている。吐出管 (P202) は、インペラ室 (S201) 内で圧縮された高圧の冷媒 (流体) を外部へ戻すために設けられている。すなわち、この例では、インペラ (221) とインペラ室 (S201) とによって圧縮機構が構成されている。

[0171]       ーベアリングレスモーター

ベアリングレスモータ (250) は、一对の回転子 (251) と固定子 (254) とを有して駆動軸 (240) を回転駆動し且つ駆動軸 (240) 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。回転子 (251) は、駆動軸 (240) に固定され、固定子 (254) は、ケーシング (211) の内周壁に固定されている。

[0172]    図 1 2 に示すように、この例では、ベアリングレスモータ (250) は、コンセクエントポール型のベアリングレスモータによって構成されている。

[0173]    ベアリングレスモータ (250) の回転子 (251) は、回転子コア (252) と、回転子コア (252) に埋設された複数 (この例では 4 つ) の永久磁石 (253) とを有している。回転子コア (252) は、磁性材料 (例えば積層鋼板) で構成され、円柱状に形成されている。回転子コア (252) の中央部には、駆動軸 (240) を挿通するためのシャフト孔が形成されている。

[0174]    複数の永久磁石 (253) は、回転子 (251) の周方向において所定の角度ピッチで配置されている。この例では、4 つの永久磁石 (253) が回転子 (251) の周方向において  $90^\circ$  の角度ピッチで配置されている。また、この例では、永久磁石 (253) は、回転子コア (252) の外周面の近傍 (外周部) に埋設され、回転子コア (252) の外周面に沿う形状 (円弧状) に形成されている。また、4 つの永久磁石 (253) は、互いに同形状となっている。そして、4 つの永久磁石 (253) の外周面側が N 極となっており、回転子コア (252) の外周面のうち回転子 (251) の周方向において 4 つの永久磁石 (253) の間に位置する部分が擬似的に S 極となっている。なお、4 つの永久磁石 (253) の外周面側が S 極となってもよい。この場合、回転子コア (252) の外周面のうち回転子 (251) の周方向において 4 つの永久磁石 (253) の間に位置す

る部分が擬似的にN極となる。

[0175] ベアリングレスモータ (250) の固定子 (254) は、磁性材料 (例えば積層鋼板) で構成され、バックヨーク部 (255) と、複数のティース部 (図示を省略) と、ティース部に巻回された駆動用コイル (256a, 256b, 256c) および支持用コイル (257a, 257b, 257c) とを有している。バックヨーク部 (255) は、円筒状に形成されている。駆動用コイル (256a, 256b, 256c) および支持用コイル (257a, 257b, 257c) 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 (256a, 256b, 256c) および支持用コイル (257a, 257b, 257c) は、各ティース部に集中巻方式で巻回されていてもよい。

[0176] 駆動用コイル (256a, 256b, 256c) 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 (256a, 256b, 256c) は、図 1 2 において太実線で囲んで示したU相駆動用コイル (256a) と、図 1 2 において太破線で囲んで示したV相駆動用コイル (256b) と、図 1 2 において細実線で囲んで示したW相駆動用コイル (256c) とから構成されている。

[0177] 支持用コイル (257a, 257b, 257c) 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 (257a, 257b, 257c) は、図 1 2 において太実線で囲んで示したU相支持用コイル (257a) と、図 1 2 において太破線で囲んで示したV相支持用コイル (257b) と、図 1 2 において細実線で囲んで示したW相支持用コイル (257c) とから構成されている。

[0178] 図 1 3 は、ベアリングレスモータ (250) において発生する磁石磁束 (永久磁石 (253) によって生じる磁石磁束  $\phi 1$ ) と駆動用磁束 (駆動軸 (240) を回転駆動するために生じる駆動用磁束  $B M 1$ ) とを例示している。駆動用磁束  $B M 1$  は、駆動用コイル (256a, 256b, 256c) を流れる電流に応じて発生する磁束である。ベアリングレスモータ (250) は、これらの磁石磁束  $\phi 1$  と駆動用磁束  $B M 1$  との相互作用によって、駆動軸 (240) を回転させるための駆動トルク (図 1 3 では駆動軸 (240) を反時計回り方向に回転させるための駆動トルク (T1)) を発生させるように構成されている。なお、図 1 3 には、駆動用コイル (256a, 256b, 256c) を流れる電流と等価の電流  $I M 1$  が示され

ている。

[0179] 図14は、ベアリングレスモータ(250)において発生する磁石磁束 $\phi 1$ と支持用磁束(駆動軸(240)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BS1)とを例示している。支持用磁束BS1は、支持用コイル(257a, 257b, 257c)を流れる電流に応じて発生する磁束である。ベアリングレスモータ(250)は、これらの磁石磁束 $\phi 1$ と支持用磁束BS1との相互作用によって、駆動軸(240)のラジアル荷重を非接触で支持するため支持力(図14では駆動軸(240)を右方向に作用する支持力(F1))を発生させるように構成されている。なお、図14には、支持用コイル(257a, 257b, 257c)を流れる電流と等価の電流IS1が示されている。

[0180] 図15は、ベアリングレスモータ(250)において発生する磁石磁束 $\phi 1$ と駆動用磁束BM1と支持用磁束BS1とを例示している。ベアリングレスモータ(250)は、これらの磁石磁束 $\phi 1$ と駆動用磁束BM1と支持用磁束BS1との相互作用によって、駆動トルク(T1)および支持力(F1)を同時に発生させるように構成されている。なお、図15には、駆動用コイル(256a, 256b, 256c)を流れる電流と等価の電流IM1と、支持用コイル(257a, 257b, 257c)を流れる電流と等価の電流IS1が示されている。

[0181] —ラジアル磁気軸受(磁気軸受)—

ラジアル磁気軸受(260)は、複数の電磁石(この例では第1~第4電磁石(261~264))を有して駆動軸(240)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。

[0182] 図16に示すように、この例では、ラジアル磁気軸受(260)は、ヘテロポーラ型のラジアル磁気軸受を構成している。第1および第2電磁石(261, 262)は、駆動軸(240)を挟んで互いに対向し、第1および第2電磁石(261, 262)の合成電磁力により駆動軸(240)を非接触に支持する。第3および第4電磁石(263, 264)は、駆動軸(240)を挟んで互いに対向し、第3および第4電磁石(263, 264)の合成電磁力により駆動軸(240)を非接触に支持する。第3および第4電磁石(263, 264)の対向方向(図16では右肩下がり方向

)は、平面視において第1および第2電磁石(261,262)の対向方向(図16では右肩上がり方向)と直交している。

[0183] 具体的には、ラジアル磁気軸受(260)は、磁気軸受コア(265)と、複数(この例では8つ)のコイル(268)とを備えている。磁気軸受コア(265)は、例えば、複数の電磁鋼板が積層されて構成され、バックヨーク(266)と複数(この例では8つ)のティース(267)とを有している。バックヨーク(266)は、円筒状に形成されている。8つのティース(267)は、バックヨーク(266)の内周面に沿うように所定間隔(この例では45°間隔)で周方向に配列され、それぞれがバックヨーク(266)の内周面から径方向内方へ向けて突出し、それぞれの内周面(突端面)が駆動軸(240)の外周面と所定のギャップを隔てて対向している。

[0184] 8つのコイル(268)は、磁気軸受コア(265)の8つのティース(267)にそれぞれ巻回されている。これにより、この例では、8つの電磁石部(第1～第8電磁石部(271～278))が構成されている。具体的には、図16における時計回り方向において、第1電磁石部(271)と第2電磁石部(272)と第7電磁石部(277)と第8電磁石部(278)と第3電磁石部(273)と第4電磁石部(274)と第5電磁石部(275)と第6電磁石部(276)とが順に配列されている。

[0185] 第1および第2電磁石部(271,272)は、それぞれのコイル(268)が直列に接続されて第1電磁石(261)を構成している。第3および第4電磁石部(273,274)は、それぞれのコイル(268)が直列に接続されて第2電磁石(262)を構成している。そして、第1電磁石(261)のコイル(すなわち第1および第2電磁石部(271,272)のコイル(268))に流れる電流と第2電磁石(262)のコイル(すなわち第3および第4電磁石部(273,274)のコイル(268))に流れる電流とを制御することにより、第1および第2電磁石(261,262)の合成電磁力を制御して第1および第2電磁石(261,262)の対向方向(すなわち径方向、図16では右肩上がり方向)における駆動軸(240)の位置を制御することができる。

[0186] 第5および第6電磁石部(275,276)は、それぞれのコイル(268)が直列に接続されて第3電磁石(263)を構成している。第7および第8電磁石部(278)は、それぞれのコイル(268)が直列に接続されて第4電磁石(264)を構成している。そして、第3電磁石(263)のコイル(すなわち第5および第6電磁石部(275,276)のコイル(268))に流れる電流と第4電磁石(264)のコイル(すなわち第7および第8電磁石部(278)のコイル(268))に流れる電流とを制御することにより、第3および第4電磁石(263,264)の合成電磁力を制御して第3および第4電磁石(263,264)の対向方向(すなわち第1および第2電磁石(261,262)の対向方向と直交する径方向、図16では右肩下がり方向)における駆動軸(240)の位置を制御することができる。

[0187] なお、コイル(268)の巻回方向およびコイル(268)に流れる電流の向きは、第1～第4電磁石(261～264)の各々に吸引力(すなわち駆動軸(240)を引き寄せる方向に作用する電磁力)が発生するように設定されている。具体的には、コイル(268)の巻回方向およびコイル(268)に流れる電流の向きは、図16に示した矢印の方向に磁束が発生するように設定されている。

[0188] ータッチダウン軸受ー

第1タッチダウン軸受(231)は、駆動軸(240)の一端部(図11では右端部)の近傍に設けられ、第2タッチダウン軸受(232)は、駆動軸(240)の他端部(図11では左端部)の近傍に設けられている。第1および第2タッチダウン軸受(231,232)は、ベアリングレスモータ(250)およびラジアル磁気軸受(260)が非通電であるとき(すなわち駆動軸(240)が浮上していないとき)に駆動軸(240)を支持するように構成されている。

[0189] ースラスト磁気軸受ー

スラスト磁気軸受(233)は、第1および第2スラスト電磁石(233a,233b)を有し、駆動軸(240)の円盤部(241)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。具体的には、第1および第2スラスト電磁石(233a,233b)は、それぞれが円環状に形成され、駆動軸(240)の円盤部(241)を挟んで互いに対向し、第1および第2スラスト電磁石(233a,233b)の合成

電磁力により駆動軸（240）の円盤部（241）を非接触に支持する。すなわち、第1および第2スラスト電磁石（233a, 233b）に流れる電流を制御することにより、第1および第2スラスト電磁石（233a, 233b）の合成電磁力を制御して第1および第2スラスト電磁石（233a, 233b）の対向方向（すなわち軸方向、図11では左右方向）における駆動軸（240）の位置を制御することができる。

[0190]        —各種センサー—

電動機システム（230）の各部には、位置センサや電流センサや回転速度センサなどの各種センサ（図示を省略）が設けられている。例えば、ベアリングレスモータ（250）には、回転子（251）のラジアル方向（径方向）における位置に応じた検出信号を出力する位置センサ（図示を省略）が設けられ、ラジアル磁気軸受（260）には、駆動軸（240）のラジアル方向における位置に応じた検出信号を出力する位置センサ（図示を省略）が設けられ、スラスト磁気軸受（233）には、駆動軸（240）のスラスト方向（軸方向）における位置に応じた検出信号を出力する位置センサ（図示を省略）が設けられている。これらの位置センサは、例えば、測定対象物との間のギャップ（距離）を検出する渦電流式の変位センサによって構成されている。

[0191]        —制御部—

制御部（280）は、駆動軸（240）が非接触で支持された状態で駆動軸（240）の回転速度が予め定められた目標回転速度となるように、電動機システム（230）の各部に設けられた各種センサからの検出信号や駆動軸（240）の目標回転速度などの情報に基づいて、モータ電圧指令値とラジアル電圧指令値とスラスト電圧指令値とを生成して出力するように構成されている。モータ電圧指令値は、ベアリングレスモータ（250）の固定子（254）のコイル（図示を省略）に供給される電圧を制御するための指令値である。ラジアル電圧指令値は、ラジアル磁気軸受（260）の第1～第4電磁石（261～264）のコイル（268）に供給される電圧を制御するための指令値である。スラスト電圧指令値は、スラスト磁気軸受（233）の第1および第2スラスト電磁石（233a, 2

33b) のコイル (図示を省略) に供給される電圧を制御するための指令値である。制御部 (280) は、例えば、CPUなどの演算処理部や、演算処理部を動作させるためのプログラムや情報を記憶するメモリなどの記憶部などによって構成されている。

[0192]       －電源部－

電源部 (281) は、制御部 (280) から出力されたモータ電圧指令値とラジアル電圧指令値とスラスト電圧指令値とに基づいて、ベアリングレスモータ (250) の固定子 (254) のコイル (具体的には駆動用コイル (256a, 256b, 256c) と支持用コイル (257a, 257b, 257c) ) とラジアル磁気軸受 (260) の第1～第4電磁石 (261～264) のコイル (268) とスラスト磁気軸受 (233) の第1および第2スラスト電磁石 (233a, 233b) のコイル (図示を省略) に電圧をそれぞれ供給するように構成されている。電源部 (281) は、例えば、PWM (Pulse Width Modulation) アンプによって構成されている。

[0193]       ベアリングレスモータ (250) の固定子 (254) のコイル (具体的には駆動用コイル (256a, 256b, 256c) と支持用コイル (257a, 257b, 257c) ) に印加される電圧を制御することにより、固定子 (254) のコイルを流れる電流を制御してベアリングレスモータ (250) において発生する磁束 (具体的には駆動用磁束  $B_{M1}$  と支持用磁束  $B_{S1}$  ) を制御することができる。また、ラジアル磁気軸受 (260) の第1～第4電磁石 (261～264) のコイル (268) に供給される電圧を制御することにより、第1～第4電磁石 (261～264) のコイル (268) を流れる電流を制御して第1～第4電磁石 (261～264) の合成電磁力を制御することができる。これと同様に、スラスト磁気軸受 (233) の第1および第2スラスト電磁石 (233a, 233b) のコイル (図示を省略) に供給される電圧を制御することにより、第1および第2スラスト電磁石 (233a, 233b) のコイルを流れる電流を制御して第1および第2スラスト電磁石 (233a, 233b) の合成電磁力を制御することができる。

[0194]       －ベアリングレスモータとラジアル磁気軸受の配置－

ラジアル磁気軸受 (260) は、駆動軸 (240) の軸方向において、ベアリン

グレスモータ (250) において支持されるラジアル荷重よりも大きいラジアル荷重が作用する位置に配置されている。この例では、駆動軸 (240) の一端部に負荷 (220) (この例ではインペラ (221)) が接続されている。そして、ラジアル磁気軸受 (260) は、駆動軸 (240) の軸方向においてベアリングレスモータ (250) よりも負荷 (220) に近い位置 (この例ではインペラ (221) に近い位置) に配置されている。なお、駆動軸 (240) の軸方向における位置が駆動軸 (240) の一端部 (すなわち負荷 (220)) に近くなるに連れて、その位置における駆動軸 (240) のラジアル荷重が大きくなる傾向にある。したがって、駆動軸 (240) の軸方向においてベアリングレスモータ (250) よりも負荷 (220) に近い位置にラジアル磁気軸受 (260) を配置することにより、駆動軸 (240) の一端部に負荷 (220) が接続された電動機システム (230) において、駆動軸 (240) のラジアル荷重が比較的に大きくなる位置にラジアル磁気軸受 (260) を配置し、駆動軸 (240) のラジアル荷重が比較的に小さくなる位置にベアリングレスモータ (250) を配置することができる。

[0195]     －実施形態3の効果－

以上のように、この実施形態による電動機システム (230) では、ベアリングレスモータ (250) とラジアル磁気軸受 (260) とを用いて駆動軸 (240) の回転駆動および非接触支持を行うことにより、ベアリングレスモータ (250) の代わりに駆動軸 (240) の回転駆動のみを行うモータと駆動軸 (240) の非接触支持のみを行う磁気軸受とが設けられている場合よりも、電動機システム (230) を小型化することができる。具体的には、駆動軸 (240) を短くすることができる。

[0196]     また、この実施形態による電動機システム (230) では、ラジアル磁気軸受 (260) において支持されるラジアル荷重は、ベアリングレスモータ (250) において支持されるラジアル荷重よりも大きくなっている。すなわち、駆動軸 (240) のラジアル荷重が比較的に大きくなる位置にラジアル磁気軸受 (260) が配置され、駆動軸 (240) のラジアル荷重が比較的に小さくなる位置にベアリングレスモータ (250) が配置されている。

[0197] なお、ベアリングレスモータ (250) では、電磁力を支持力 (駆動軸 (240) を非接触で支持するための力) と駆動力 (駆動軸 (240) を回転駆動させるための力) とに割り当てることになるが、ラジアル磁気軸受 (260) では、電磁力を全て支持力に割り当てるのが可能である。そのため、ラジアル磁気軸受 (260) は、ベアリングレスモータ (250) よりも大きな支持力を発生させることが可能である。

[0198] したがって、駆動軸 (240) のラジアル荷重が比較的に大きくなる位置にラジアル磁気軸受 (260) を配置し、駆動軸 (240) のラジアル荷重が比較的に小さくなる位置にベアリングレスモータ (250) を配置することにより、駆動軸 (240) の支持力 (駆動軸 (240) を非接触で支持するための力) を確保することができる。

[0199] また、駆動軸 (240) の支持力を確保しつつ電動機システム (230) を小型化することができるので、ターボ圧縮機 (210) を小型化することができる。

[0200] なお、電動機システム (230) では、負荷 (220) (この例ではインペラ (221)) と駆動軸 (240) とを含む回転系は、その軸方向長さが短くなるほど共振周波数が高くなる傾向にある。したがって、駆動軸 (240) を短くすることにより、負荷 (220) と駆動軸 (240) とを含む回転系の共振周波数を高くすることができる。これにより、電動機システム (230) を安全に運転することが可能な安全運転領域を拡張することができる。

[0201] 〈ベアリングレスモータの変形例〉

図17に示すように、ベアリングレスモータ (250) は、表面磁石型のベアリングレスモータによって構成されていてもよい。図17に示した表面磁石型のベアリングレスモータ (250) では、回転子 (251) は、回転子コア (252) と、回転子コア (252) の外周面に設けられた複数 (この例では8つ) の永久磁石 (253) と、複数の永久磁石 (253) の外周を囲う保護部材 (258) とを有している。複数の永久磁石 (253) は、回転子 (251) の周方向において所定の角度ピッチで配置されている。この例では、8つの永久磁石 (253) が回転子 (251) の周方向において45°の角度ピッチで配置されている。また、

永久磁石 (253) は、回転子コア (252) の外周面に沿う形状 (円弧状) に形成されている。なお、8つの永久磁石 (253) は、互いに同形状となっている。そして、8つの永久磁石 (253) は、それぞれの外周面および内周面が磁極面 (S極面/N極面) となり回転子 (251) の周方向に異なる磁極 (S極/N極) が交互に並ぶように構成されている。保護部材 (258) は、円筒状に形成され、複数の永久磁石 (253) の外周に設けられている。

[0202] 図18は、図17に示した表面磁石型のベアリングレスモータ (250) において発生する磁石磁束  $\phi_1$  と駆動用磁束  $B_{M1}$  と支持用磁束  $B_{S1}$  とを例示している。図12に示したコンセクエントポール型のベアリングレスモータ (250) と同様に、図17および図18に示した表面磁石型のベアリングレスモータ (250) は、これらの磁石磁束  $\phi_1$  と駆動用磁束  $B_{M1}$  と支持用磁束  $B_{S1}$  との相互作用によって、駆動トルク (T1) および支持力 (F1) を同時に発生させるように構成されている。

[0203] また、図17および図18に示すように、表面磁石型のベアリングレスモータ (250) における永久磁石 (253) の数 (この例では8つ) は、図12に示したコンセクエントポール型のベアリングレスモータ (250) における永久磁石 (253) の数 (図12の例では4つ) よりも多くなっている。そのため、表面磁石型のベアリングレスモータ (250) は、コンセクエントポール型のベアリングレスモータ (250) よりも、磁石磁束  $\phi_1$  の磁束密度が高くなっている。したがって、表面磁石型のベアリングレスモータ (250) は、コンセクエントポール型のベアリングレスモータ (250) よりも、大きな駆動トルク (T1) を発生させることができる。

[0204] また、この例では、図17に示した表面磁石型のベアリングレスモータ (250) は、図12に示したコンセクエントポール型のベアリングレスモータ (250) よりも、回転子 (251) の周方向における複数の永久磁石 (253) の間隔が狭くなっている。具体的には、図12に示したコンセクエントポール型のベアリングレスモータ (250) では、回転子 (251) の周方向における複数の永久磁石 (253) の間隔が永久磁石 (253) の周方向長さと同等となっている

が、図17に示した表面磁石型のベアリングレスモータ(250)では、回転子(251)の周方向における複数の永久磁石(253)の間隔が永久磁石(253)の周方向長さよりも狭くなっており、複数の永久磁石(253)が回転子コア(252)のほぼ全周を覆っている。

[0205] 以上のように、ベアリングレスモータ(250)を表面磁石型のベアリングレスモータによって構成することにより、コンセクエントポール型のベアリングレスモータによってベアリングレスモータ(250)を構成する場合よりも、ベアリングレスモータ(250)における駆動力(駆動軸(240)を回転駆動させるための力)を大きくすることができる。

[0206] 《発明の実施形態4》

本発明の実施形態4について説明する。

[0207] 〈空気調和機〉

図19は、実施形態による空気調和装置(500)の構成を例示している。空気調和装置(500)は、冷媒回路(510)を備えている。冷媒回路(510)は、ターボ圧縮機(410)と凝縮器(520)と膨張弁(530)と蒸発器(540)とを有し、冷媒が循環して冷凍サイクルが行われるように構成されている。例えば、凝縮器(520)および蒸発器(540)は、クロスフィン型の熱交換器により構成され、膨張弁(530)は、電動弁により構成されている。

[0208] 〈ターボ圧縮機〉

図20は、図19に示したターボ圧縮機(410)の構成を例示している。ターボ圧縮機(410)は、冷媒回路(510)に設けられて冷媒を圧縮するように構成されている。この例では、ターボ圧縮機(410)は、ケーシング(411)と、インペラ(421)と、電動機システム(430)とを備えている。電動機システム(430)は、駆動軸(440)と、ベアリングレスモータ(450)と、ラジアル磁気軸受(460)と、制御部(480)と、電源部(481)とを有している。また、この例では、電動機システム(430)は、第1タッチダウン軸受(431)と、第2タッチダウン軸受(432)と、スラスト磁気軸受(433)とをさらに有している。

[0209] なお、以下の説明において、「軸方向」とは、回転軸方向のことであって、駆動軸（440）の軸心の方向のことであり、「径方向」とは、駆動軸（440）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（440）の軸心からより遠い側のことであり、「内周側」とは、駆動軸（440）の軸心により近い側のことである。

[0210]     －ケーシング－

ケーシング（411）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（411）内の空間は、壁部（411a）によって区画され、壁部（411a）よりも右側の空間がインペラ（421）を収容するインペラ室（S401）を構成し、壁部（411a）よりも左側の空間がベアリングレスモータ（450）を収容する電動機室（S402）を構成している。また、電動機室（S402）には、ベアリングレスモータ（450）とラジアル磁気軸受（460）と第1タッチダウン軸受（431）と第2タッチダウン軸受（432）とスラスト磁気軸受（433）が収容され、これらが電動機室（S402）の内周壁に固定されている。

[0211]     －駆動軸－

駆動軸（440）は、インペラ（421）を回転駆動するために設けられている。この例では、駆動軸（440）は、ケーシング（411）内を軸方向に延びてインペラ（421）とベアリングレスモータ（450）とを連結している。具体的には、駆動軸（440）の一端部にインペラ（421）が固定され、駆動軸（440）の中間部にベアリングレスモータ（450）が配置されている。また、駆動軸（440）の他端部（すなわちインペラ（421）が固定された一端部とは反対側の端部）には、円盤状の部分（以下「円盤部（441）」と記載）が設けられている。なお、円盤部（441）は、磁性材料（例えば鉄）で構成されている。

[0212]     －インペラ－

インペラ（421）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、駆動軸（440）の一端部に固定された状態で、インペラ室（S401）に収容されている。インペラ室（S401）には、吸入管（P401）と吐出管（P402

）とが接続されている。吸入管（P401）は、冷媒（流体）を外部からインペラ室（S401）に導くために設けられている。吐出管（P402）は、インペラ室（S401）内で圧縮された高圧の冷媒（流体）を外部へ戻すために設けられている。すなわち、この例では、インペラ（421）とインペラ室（S401）とによって圧縮機構が構成されている。

[0213]       ーベアリングレスモーター

ベアリングレスモータ（450）は、一对の回転子（451）と固定子（454）とを有して駆動軸（440）を回転駆動し且つ駆動軸（440）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。回転子（451）は、駆動軸（440）に固定され、固定子（454）は、ケーシング（411）の内周壁に固定されている。

[0214]       図21に示すように、この例では、ベアリングレスモータ（450）は、コンセクエントポール型のベアリングレスモータによって構成されている。

[0215]       ベアリングレスモータ（450）の回転子（451）は、回転子コア（452）と、回転子コア（452）に埋設された複数（この例では4つ）の永久磁石（453）とを有している。回転子コア（452）は、磁性材料（例えば積層鋼板）で構成され、円柱状に形成されている。回転子コア（452）の中央部には、駆動軸（440）を挿通するためのシャフト孔が形成されている。

[0216]       複数の永久磁石（453）は、回転子（451）の周方向において所定の角度ピッチで配置されている。この例では、4つの永久磁石（453）が回転子（451）の周方向において90°の角度ピッチで配置されている。また、この例では、永久磁石（453）は、回転子コア（452）の外周面の近傍（外周部）に埋設され、回転子コア（452）の外周面に沿う形状（円弧状）に形成されている。また、4つの永久磁石（453）は、互いに同形状となっている。そして、4つの永久磁石（453）の外周面側がN極となっており、回転子コア（452）の外周面のうち回転子（451）の周方向において4つの永久磁石（453）の間に位置する部分が擬似的にS極となっている。なお、4つの永久磁石（453）の外周面側がS極となってもよい。この場合、回転子コア（452）の外周面

のうち回転子（451）の周方向において4つの永久磁石（453）の間に位置する部分が擬似的にN極となる。

[0217] ベアリングレスモータ（450）の固定子（454）は、磁性材料（例えば積層鋼板）で構成され、バックヨーク部（455）と、複数のティース部（図示を省略）と、ティース部に巻回された駆動用コイル（456b, 456b, 456c）および支持用コイル（457a, 457b, 457c）とを有している。バックヨーク部（455）は、円筒状に形成されている。駆動用コイル（456b, 456b, 456c）および支持用コイル（457a, 457b, 457c）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（456b, 456b, 456c）および支持用コイル（457a, 457b, 457c）は、各ティース部に集中巻方式で巻回されていてもよい。

[0218] 駆動用コイル（456b, 456b, 456c）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（456b, 456b, 456c）は、図21において太実線で囲んで示したU相駆動用コイル（456b）と、図21において太破線で囲んで示したV相駆動用コイル（456b）と、図21において細実線で囲んで示したW相駆動用コイル（456c）とから構成されている。

[0219] 支持用コイル（457a, 457b, 457c）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（457a, 457b, 457c）は、図21において太実線で囲んで示したU相支持用コイル（457a）と、図21において太破線で囲んで示したV相支持用コイル（457b）と、図21において細実線で囲んで示したW相支持用コイル（457c）とから構成されている。

[0220] 図22は、ベアリングレスモータ（450）において発生する磁石磁束（永久磁石（453）によって生じる磁石磁束 $\phi 1$ ）と駆動用磁束（駆動軸（440）を回転駆動するために生じる駆動用磁束 $B M 1$ ）とを例示している。駆動用磁束 $B M 1$ は、駆動用コイル（456b, 456b, 456c）を流れる電流に応じて発生する磁束である。ベアリングレスモータ（450）は、これらの磁石磁束 $\phi 1$ と駆動用磁束 $B M 1$ との相互作用によって、駆動軸（440）を回転させるための駆動トルク（図22では駆動軸（440）を反時計回り方向に回転させるための駆動トルク（ $T1$ ））を発生させるように構成されている。なお、図22には、

駆動用コイル（456b, 456b, 456c）を流れる電流と等価の電流  $I_{M1}$  が示されている。

[0221] 図23は、ベアリングレスモータ（450）において発生する磁石磁束  $\phi 1$  と支持用磁束（駆動軸（440）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  $B_{S1}$ ）とを例示している。支持用磁束  $B_{S1}$  は、支持用コイル（457a, 457b, 457c）を流れる電流に応じて発生する磁束である。ベアリングレスモータ（450）は、これらの磁石磁束  $\phi 1$  と支持用磁束  $B_{S1}$  との相互作用によって、駆動軸（440）のラジアル荷重を非接触で支持するため支持力（図23では駆動軸（440）を右方向に作用する支持力（ $F1$ ））を発生させるように構成されている。なお、図23には、支持用コイル（457a, 457b, 457c）を流れる電流と等価の電流  $I_{S1}$  が示されている。

[0222] 図24は、ベアリングレスモータ（450）において発生する磁石磁束  $\phi 1$  と駆動用磁束  $B_{M1}$  と支持用磁束  $B_{S1}$  とを例示している。ベアリングレスモータ（450）は、これらの磁石磁束  $\phi 1$  と駆動用磁束  $B_{M1}$  と支持用磁束  $B_{S1}$  との相互作用によって、駆動トルク（ $T1$ ）および支持力（ $F1$ ）を同時に発生させるように構成されている。なお、図24には、駆動用コイル（456b, 456b, 456c）を流れる電流と等価の電流  $I_{M1}$  と、支持用コイル（457a, 457b, 457c）を流れる電流と等価の電流  $I_{S1}$  が示されている。

[0223] —ラジアル磁気軸受（磁気軸受）—

ラジアル磁気軸受（460）は、複数の電磁石（この例では第1～第4電磁石（461～464））を有して駆動軸（440）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。

[0224] 図25に示すように、この例では、ラジアル磁気軸受（460）は、ヘテロポーラ型のラジアル磁気軸受を構成している。第1および第2電磁石（461, 462）は、駆動軸（440）を挟んで互いに対向し、第1および第2電磁石（461, 462）の合成電磁力により駆動軸（440）を非接触で支持する。第3および第4電磁石（463, 464）は、駆動軸（440）を挟んで互いに対向し、第3および第4電磁石（463, 464）の合成電磁力により駆動軸（440）を非接触で支持する

。第3および第4電磁石(463,464)の対向方向(図25では右肩下がり方向)は、平面視において第1および第2電磁石(461,462)の対向方向(図25では右肩上がり方向)と直交している。

[0225] 具体的には、ラジアル磁気軸受(460)は、磁気軸受コア(465)と、複数(この例では8つ)のコイル(468)とを備えている。磁気軸受コア(465)は、例えば、複数の電磁鋼板が積層されて構成され、バックヨーク(466)と複数(この例では8つ)のティース(467)とを有している。バックヨーク(466)は、円筒状に形成されている。8つのティース(467)は、バックヨーク(466)の内周面に沿うように所定間隔(この例では45°間隔)で周方向に配列され、それぞれがバックヨーク(466)の内周面から径方向内方へ向けて突出し、それぞれの内周面(突端面)が駆動軸(440)の外周面と所定のギャップを隔てて対向している。

[0226] 8つのコイル(468)は、磁気軸受コア(465)の8つのティース(467)にそれぞれ巻回されている。これにより、この例では、8つの電磁石部(第1～第8電磁石部(471～478))が構成されている。具体的には、図25における時計回り方向において、第1電磁石部(471)と第2電磁石部(472)と第7電磁石部(477)と第8電磁石部(478)と第3電磁石部(473)と第4電磁石部(474)と第5電磁石部(475)と第6電磁石部(476)とが順に配列されている。

[0227] 第1および第2電磁石部(471,472)は、それぞれのコイル(468)が直列に接続されて第1電磁石(461)を構成している。第3および第4電磁石部(473,474)は、それぞれのコイル(468)が直列に接続されて第2電磁石(462)を構成している。そして、第1電磁石(461)のコイル(すなわち第1および第2電磁石部(471,472)のコイル(468))に流れる電流と第2電磁石(462)のコイル(すなわち第3および第4電磁石部(473,474)のコイル(468))に流れる電流とを制御することにより、第1および第2電磁石(461,462)の合成電磁力を制御して第1および第2電磁石(461,462)の対向方向(すなわち径方向、図25では右肩上がり方向)における駆動軸(440)の位置を

制御することができる。

[0228] 第5および第6電磁石部(475,476)は、それぞれのコイル(468)が直列に接続されて第3電磁石(463)を構成している。第7および第8電磁石部(477,478)は、それぞれのコイル(468)が直列に接続されて第4電磁石(464)を構成している。そして、第3電磁石(463)のコイル(すなわち第5および第6電磁石部(475,476)のコイル(468))に流れる電流と第4電磁石(464)のコイル(すなわち第7および第8電磁石部(477,478)のコイル(468))に流れる電流とを制御することにより、第3および第4電磁石(463,464)の合成電磁力を制御して第3および第4電磁石(463,464)の対向方向(すなわち第1および第2電磁石(461,462)の対向方向と直交する径方向、図25では右肩下がり方向)における駆動軸(440)の位置を制御することができる。

[0229] なお、コイル(468)の巻回方向およびコイル(468)に流れる電流の向きは、第1～第4電磁石(461～464)の各々に吸引力(すなわち駆動軸(440)を引き寄せる方向に作用する電磁力)が発生するように設定されている。具体的には、コイル(468)の巻回方向およびコイル(468)に流れる電流の向きは、図25に示した矢印の方向に磁束が発生するように設定されている。

[0230] ータッチダウン軸受ー

第1タッチダウン軸受(431)は、駆動軸(440)の一端部(図20では右端部)の近傍に設けられ、第2タッチダウン軸受(432)は、駆動軸(440)の他端部(図20では左端部)の近傍に設けられている。第1および第2タッチダウン軸受(431,432)は、ベアリングレスモータ(450)およびラジアル磁気軸受(460)が非通電であるとき(すなわち駆動軸(440)が浮上していないとき)に駆動軸(440)を支持するように構成されている。

[0231] ースラスト磁気軸受ー

スラスト磁気軸受(433)は、第1および第2スラスト電磁石(433a,433b)を有し、駆動軸(440)の円盤部(441)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。具体的には、第1および第2スラスト電磁石(433

a, 433b) は、それぞれが円環状に形成され、駆動軸 (440) の円盤部 (441) を挟んで互いに対向し、第 1 および第 2 スラスト電磁石 (433a, 433b) の合成電磁力により駆動軸 (440) の円盤部 (441) を非接触で支持する。すなわち、第 1 および第 2 スラスト電磁石 (433a, 433b) に流れる電流を制御することにより、第 1 および第 2 スラスト電磁石 (433a, 433b) の合成電磁力を制御して第 1 および第 2 スラスト電磁石 (433a, 433b) の対向方向 (すなわち軸方向、図 20 では左右方向) における駆動軸 (440) の位置を制御することができる。

[0232]        —各種センサー—

電動機システム (430) の各部には、位置センサや電流センサや回転速度センサなどの各種センサ (図示を省略) が設けられている。例えば、ベアリングレスモータ (450) には、回転子 (451) のラジアル方向 (径方向) における位置に応じた検出信号を出力する位置センサ (図示を省略) が設けられ、ラジアル磁気軸受 (460) には、駆動軸 (440) のラジアル方向における位置に応じた検出信号を出力する位置センサ (図示を省略) が設けられ、スラスト磁気軸受 (433) には、駆動軸 (440) のスラスト方向 (軸方向) における位置に応じた検出信号を出力する位置センサ (図示を省略) が設けられている。これらの位置センサは、例えば、測定対象物との間のギャップ (距離) を検出する渦電流式の変位センサによって構成されている。

[0233]        —制御部—

制御部 (480) は、駆動軸 (440) が非接触で支持された状態で駆動軸 (440) の回転速度が予め定められた目標回転速度となるように、電動機システム (430) の各部に設けられた各種センサからの検出信号や駆動軸 (440) の目標回転速度などの情報に基づいて、モータ電圧指令値とラジアル電圧指令値とスラスト電圧指令値とを生成して出力するように構成されている。モータ電圧指令値は、ベアリングレスモータ (450) の固定子 (454) のコイル (図示を省略) に供給される電圧を制御するための指令値である。ラジアル電圧指令値は、ラジアル磁気軸受 (460) の第 1 ~ 第 4 電磁石 (461 ~ 464) のコイ

ル（468）に供給される電圧を制御するための指令値である。スラスト電圧指令値は、スラスト磁気軸受（433）の第1および第2スラスト電磁石（433a, 433b）のコイル（図示を省略）に供給される電圧を制御するための指令値である。制御部（480）は、例えば、CPUなどの演算処理部や、演算処理部を動作させるためのプログラムや情報を記憶するメモリなどの記憶部などによって構成されている。

[0234]        —電源部—

電源部（481）は、制御部（480）から出力されたモータ電圧指令値とラジアル電圧指令値とスラスト電圧指令値とに基づいて、ベアリングレスモータ（450）の固定子（454）のコイル（具体的には駆動用コイル（456b, 456b, 456c）と支持用コイル（457a, 457b, 457c））とラジアル磁気軸受（460）の第1～第4電磁石（461～464）のコイル（468）とスラスト磁気軸受（433）の第1および第2スラスト電磁石（433a, 433b）のコイル（図示を省略）に電圧をそれぞれ供給するように構成されている。電源部（481）は、例えば、PWM（Pulse Width Modulation）アンプによって構成されている。

[0235]        ベアリングレスモータ（450）の固定子（454）のコイル（具体的には駆動用コイル（456b, 456b, 456c）と支持用コイル（457a, 457b, 457c））に印加される電圧を制御することにより、固定子（454）のコイルを流れる電流を制御してベアリングレスモータ（450）において発生する磁束（具体的には駆動用磁束BM1と支持用磁束BS1）を制御することができる。また、ラジアル磁気軸受（460）の第1～第4電磁石（461～464）のコイル（468）に供給される電圧を制御することにより、第1～第4電磁石（461～464）のコイル（468）を流れる電流を制御して第1～第4電磁石（461～464）の合成電磁力を制御することができる。これと同様に、スラスト磁気軸受（433）の第1および第2スラスト電磁石（433a, 433b）のコイル（図示を省略）に供給される電圧を制御することにより、第1および第2スラスト電磁石（433a, 433b）のコイルを流れる電流を制御して第1および第2スラスト電磁石（433a, 433b）の合成電磁力を制御することができる。

[0236]      －ターボ圧縮機の運転領域－

次に、図7を参照して、ターボ圧縮機(410)の運転領域について説明する。図7において、横軸は冷媒体積流量を示し、縦軸はヘッドを示している。図7に示すように、ターボ圧縮機(410)の運転領域は、主に、通常運転領域(A)と高負荷トルク領域(B)とタービュランス領域(C)とサージング領域(D)とに大別される。通常運転領域(A)と高負荷トルク領域(B)とタービュランス領域(C)は、図7において太線で示したサージラインの内側に位置する領域であり、サージング領域(D)は、サージラインの外側に位置する領域である。すなわち、停電時などの非常の事態においてターボ圧縮機(410)がサージング領域(D)において一時的に運転されることがある。なお、タービュランス領域(C)は、ターボ圧縮機(410)の旋回失速が生じる領域である。

[0237]      通常運転領域(A)では、駆動軸(440)の負荷トルク(駆動軸(440)を回転駆動させるために必要となるトルク)が比較的小さくなり、駆動軸(440)のラジアル荷重も比較的小さくなる。高負荷トルク領域(B)では、駆動軸(440)の負荷トルクが比較的大きくなり、駆動軸(440)のラジアル荷重も比較的大きくなる。なお、駆動軸(440)の負荷トルクは、高負荷トルク領域(B)内の所定の点(具体的には図7の右上の頂点)において最大となる。タービュランス領域(C)では、駆動軸(440)の負荷トルクが比較的小さくなる一方で、駆動軸(440)のラジアル荷重が比較的大きくなる。サージング領域(D)では、駆動軸(440)の負荷トルクが小さくなる一方で、駆動軸(440)のラジアル荷重が比較的大きくなる。なお、駆動軸(440)のラジアル荷重がサージング領域(D)内の所定の点において最大となる。

[0238]      このように、冷媒回路(510)に設けられて冷媒を圧縮するターボ圧縮機(410)では、駆動軸(440)の負荷トルクが最大となる運転領域(この例ではサージング領域(D))と駆動軸(440)のラジアル荷重が最大となる運転領域(この例では高負荷トルク領域(B))とが互いに異なっている。そして

、駆動軸（440）のラジアル荷重が比較的に大きくなる運転領域（この例ではタービュランス領域（C）とサージング領域（D））では、駆動軸（440）の負荷トルクが比較的に小さくなる。すなわち、駆動軸（440）のラジアル荷重が比較的に大きくなる運転領域（特に駆動軸（440）のラジアル荷重が最大となる運転領域）では、駆動軸（440）の負荷トルクが比較的に小さくなるので、ベアリングレスモータ（450）の電磁力を支持力（駆動軸（440）を非接触で支持するための力）に十分に割り当てることが可能である。なお、これらの知見は、本願発明者の鋭意研究の結果得られたものである。

[0239]      －ベアリングレスモータとラジアル磁気軸受の配置－

ベアリングレスモータ（450）は、駆動軸（440）の軸方向において、ラジアル磁気軸受（460）において支持されるラジアル荷重よりも大きいラジアル荷重が作用する位置に配置されている。この例では、駆動軸（440）の一端部にインペラ（421）が接続されている。そして、ベアリングレスモータ（450）は、駆動軸（440）の軸方向においてラジアル磁気軸受（460）よりもインペラ（421）に近い位置に配置されている。なお、駆動軸（440）の軸方向における位置が駆動軸（440）の一端部（すなわちインペラ（421））に近くなるに連れて、その位置における駆動軸（440）のラジアル荷重が大きくなる傾向にある。したがって、駆動軸（440）の軸方向においてラジアル磁気軸受（460）よりもインペラ（421）に近い位置にベアリングレスモータ（450）を配置することにより、駆動軸（440）の一端部にインペラ（421）が接続されたターボ圧縮機（410）において、駆動軸（440）のラジアル荷重が比較的に大きくなる位置にベアリングレスモータ（450）を配置し、駆動軸（440）のラジアル荷重が比較的に小さくなる位置にラジアル磁気軸受（460）を配置することができる。

[0240]      －実施形態4の効果－

以上のように、この実施形態によるターボ圧縮機（410）では、ベアリングレスモータ（450）と磁気軸受（460）とを用いて駆動軸（440）の回転駆動および非接触支持を行うことにより、ベアリングレスモータ（450）の代わりに

駆動軸（440）の回転駆動のみを行うモータと駆動軸（440）の非接触支持のみを行う2つの磁気軸受とが設けられている場合よりも、ターボ圧縮機（410）を小型化することができる。

[0241] また、この実施形態によるターボ圧縮機（410）では、駆動軸（440）のラジアル荷重が比較的に大きくなる位置にベアリングレスモータ（450）が配置され、駆動軸（440）のラジアル荷重が比較的に小さくなる位置に磁気軸受（460）が配置されている。すなわち、磁気軸受（460）は、ベアリングレスモータ（450）において支持されるラジアル荷重よりも小さいラジアル荷重が作用する位置に配置されている。なお、磁気軸受（460）において発生する電磁力は、磁気軸受（460）のサイズ（特に軸長やロータ径）に依存しており、磁気軸受（460）のサイズが大きくなるほど磁気軸受（460）において発生する電磁力が大きくなる傾向にある。そのため、ベアリングレスモータ（450）において支持されるラジアル荷重よりも小さいラジアル荷重が作用する位置に磁気軸受（460）を配置することにより、ベアリングレスモータ（450）において支持されるラジアル荷重よりも大きいラジアル荷重が作用する位置に磁気軸受（460）を配置する場合よりも、磁気軸受（460）のサイズ（特に軸長やロータ径）を小さくすることができる。これにより、ターボ圧縮機（410）をさらに小型化することができる。

[0242] また、冷媒回路（510）に設けられて冷媒を圧縮するターボ圧縮機（410）では、駆動軸（440）の負荷トルク（駆動軸（440）を回転駆動させるために必要となるトルク）が最大となる運転領域と駆動軸（440）のラジアル荷重が最大となる運転領域とが互いに異なり、駆動軸（440）のラジアル荷重が比較的に大きくなる運転領域（特に駆動軸（440）のラジアル荷重が最大となる運転領域）では、駆動軸（440）の負荷トルクが比較的に小さくなる。そのため、駆動軸（440）のラジアル荷重が比較的に大きくなる運転領域では、ベアリングレスモータ（450）の電磁力を支持力（駆動軸（440）を非接触で支持するための力）に十分に割り当てることができる。これにより、駆動軸（440）のラジアル負荷が比較的に大きくなる運転領域において駆動軸（440）の支持

力を確保することができる。

[0243] 〈ベアリングレスモータの変形例1〉

図26に示すように、ベアリングレスモータ(450)は、表面磁石型のベアリングレスモータによって構成されていてもよい。図26に示した表面磁石型のベアリングレスモータ(450)では、回転子(451)は、回転子コア(452)と、回転子コア(452)の外周面に設けられた複数(この例では8つ)の永久磁石(453)と、複数の永久磁石(453)の外周を囲う保護部材(458)とを有している。複数の永久磁石(453)は、回転子(451)の周方向において所定の角度ピッチで配置されている。この例では、8つの永久磁石(453)が回転子(451)の周方向において $45^\circ$ の角度ピッチで配置されている。また、永久磁石(453)は、回転子コア(452)の外周面に沿う形状(円弧状)に形成されている。なお、8つの永久磁石(453)は、互いに同形状となっている。そして、8つの永久磁石(453)は、それぞれの外周面および内周面が磁極面(S極面/N極面)となり回転子(451)の周方向に異なる磁極(S極/N極)が交互に並ぶように構成されている。保護部材(458)は、円筒状に形成され、複数の永久磁石(453)の外周に設けられている。

[0244] 図27は、図26に示した表面磁石型のベアリングレスモータ(450)において発生する磁石磁束 $\phi_1$ と駆動用磁束 $B_{M1}$ と支持用磁束 $B_{S1}$ とを例示している。図21に示したコンセクエントポール型のベアリングレスモータ(450)と同様に、図26および図27に示した表面磁石型のベアリングレスモータ(450)は、これらの磁石磁束 $\phi_1$ と駆動用磁束 $B_{M1}$ と支持用磁束 $B_{S1}$ との相互作用によって、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。

[0245] 〈ベアリングレスモータの変形例2〉

また、図28に示すように、ベアリングレスモータ(450)は、埋込磁石型のベアリングレスモータによって構成されていてもよい。図28に示した埋込磁石型のベアリングレスモータ(450)は、回転子(451)は、回転子コア(452)と、回転子コア(452)に埋設された複数(この例では8つ)の永久

磁石（453）とを有している。複数の永久磁石（453）は、回転子（451）の周方向において所定の角度ピッチで配置されている。この例では、8つの永久磁石（453）が回転子（451）の周方向において45°の角度ピッチで配置されている。また、永久磁石（453）は、回転子コア（452）の外周面に沿う形状（円弧状）に形成されている。なお、8つの永久磁石（453）は、互いに同形状となっている。そして、8つの永久磁石（453）は、それぞれの外周面および内周面が磁極面（S極面/N極面）となり回転子（451）の周方向に異なる磁極（S極/N極）が交互に並ぶように構成されている。

[0246] 図29は、図28に示した埋込磁石型のベアリングレスモータ（450）において発生する磁石磁束 $\phi 1$ と駆動用磁束BM1と支持用磁束BS1とを例示している。図21に示したコンセクエントポール型のベアリングレスモータ（450）と同様に、図28および図29に示した埋込磁石型のベアリングレスモータ（450）は、これらの磁石磁束 $\phi 1$ と駆動用磁束BM1と支持用磁束BS1との相互作用によって、駆動トルク（T1）および支持力（F1）を同時に発生させるように構成されている。

[0247] 〈各種ベアリングレスモータの比較〉

なお、ベアリングレスモータ（450）は、コンセクエントポール型のベアリングレスモータまたは埋込磁石型のベアリングレスモータによって構成されていることが好ましい。

[0248] コンセクエントポール型のベアリングレスモータ（450）と表面磁石型のベアリングレスモータ（450）とを比較すると、図26および図27に示した表面磁石型のベアリングレスモータ（450）では、支持用磁束BS1の磁路が永久磁石（453）を通過する経路となっているが、図21～図24に示したコンセクエントポール型のベアリングレスモータ（450）では、支持用磁束BS1の磁路が永久磁石（453）を通過しない経路となっている。なお、永久磁石（453）における磁気抵抗は、回転子コア（452）の磁気抵抗よりも高くなっている。そのため、コンセクエントポール型のベアリングレスモータ（450）は、表面磁石型のベアリングレスモータ（450）よりも、支持用磁束BS1の磁

路における磁気抵抗が低くなっている。したがって、コンセクエントポール型のベアリングレスモータ（450）は、表面磁石型のベアリングレスモータ（450）よりも大きな支持力（駆動軸（440）を非接触で支持するための力）を発生させることができる。

[0249] 埋込磁石型のベアリングレスモータ（450）と表面磁石型のベアリングレスモータ（450）とを比較すると、図26および図27に示した表面磁石型のベアリングレスモータ（450）には、保護部材（458）が設けられているが、図28および図29に示した埋込磁石型のベアリングレスモータ（450）には、保護部材（458）が設けられていない。そのため、埋込磁石型のベアリングレスモータ（450）は、表面磁石型のベアリングレスモータ（450）よりも、支持用磁束BS1の磁路における磁気抵抗が低くなっている。したがって、埋込磁石型のベアリングレスモータ（450）は、表面磁石型のベアリングレスモータ（450）よりも大きな支持力（駆動軸（440）を非接触で支持するための力）を発生させることができる。

[0250] 以上のように、ベアリングレスモータ（450）をコンセクエントポール型のベアリングレスモータまたは埋込磁石型のベアリングレスモータによって構成することにより、表面磁石型のベアリングレスモータによってベアリングレスモータ（450）を構成する場合よりも、ベアリングレスモータ（450）における支持力（駆動軸（440）を非接触で支持するための力）を大きくすることができる。

[0251] 《発明の実施形態5》

本発明の実施形態5について説明する。本実施形態では、磁気軸受を備えたターボ圧縮機について説明する。図30に、本発明の実施形態5に係るターボ圧縮機（601）の構成例を示す。このターボ圧縮機（601）は、冷媒が循環して冷凍サイクル運転動作を行う冷媒回路（図示省略）に接続され、冷媒（流体）を圧縮する。図30に示すように、ターボ圧縮機（601）は、ケーシング（602）、圧縮機構（603）、及び電動機システム（610）を備えている。

[0252] 〈ケーシング〉

ケーシング (602) 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 (602) 内の空間は、壁部 (602a) によって区画され、壁部 (602a) よりも右側の空間がインペラ (603a) (後述) を収容するインペラ室 (S601) を構成し、壁部 (602a) よりも左側の空間が、ベアリングレスモータ (640) (後述) を収容する電動機室 (S602) を構成している。そして、ケーシング (602) 内を軸方向に延びる駆動軸 (605) が圧縮機構 (603) とベアリングレスモータ (640) とを連結している。

[0253] <圧縮機構>

圧縮機構 (603) は、インペラ室 (S601) とインペラ (603a) とで構成され、圧縮機構 (603) は、流体 (この例では冷媒) を圧縮する。インペラ (603a) 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、駆動軸 (605) の一端に固定されている。圧縮機構 (603) は、本発明の負荷の一例である。

[0254] <電動機システム>

電動機システム (610) は、タッチダウン軸受 (606)、ベアリングレスモータ (640)、電源 (635)、2つのラジアル磁気軸受 (621)、スラスト磁気軸受 (622)、複数 (この例では、5つ) の変位センサ (631, 632)、及び制御器 (690) を備えている。

[0255] -ベアリングレスモーター

ベアリングレスモータ (640) は、電動機室 (S602) に配置されている。ベアリングレスモータ (640) は、電磁力によって駆動軸 (605) を回転駆動し、かつ駆動軸 (605) 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。ベアリングレスモータ (640) は、一对の回転子 (641) と固定子 (644) を有する。回転子 (641) は駆動軸 (605) に固定され、固定子 (644) はケーシング (602) の内周壁に固定されている。

[0256] 図31は、ベアリングレスモータ (640) の構成例を示す横断面図である。同図に示すように、ベアリングレスモータ (640) 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。ベアリングレスモータ（640）の固定子（644）は、バックヨーク部（645）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（646a～646c）および支持用コイル（647a～647c）とを有する。ベアリングレスモータ（640）の回転子（641）は、コア部（642）と、このコア部（642）に埋設された複数（この例では、4つ）の永久磁石（643）とを有する。

[0257] 固定子（644）は、磁性材料（例えば、積層鋼板）で構成されている。固定子（644）のバックヨーク部（645）は、円筒状に形成されている。駆動用コイル（646a～646c）および支持用コイル（647a～647c）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（646a～646c）および支持用コイル（647a～647c）は、各ティース部に集中巻方式で巻回されていてもよい。

[0258] 駆動用コイル（646a～646c）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（646a～646c）は、図31において太線で囲んで示すU相駆動用コイル（646a）と、太破線で囲んで示すV相駆動用コイル（646b）と、細線で囲んで示すW相駆動用コイル（646c）とから構成されている。

[0259] 支持用コイル（647a～647c）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（647a～647c）は、図31において太線で囲んで示すU相支持用コイル（647a）と、太破線で囲んで示すV相支持用コイル（647b）と、細線で囲んで示すW相支持用コイル（647c）とから構成されている。

[0260] 回転子（641）のコア部（642）は、円筒状に形成されている。コア部（642）の中央部には駆動軸（605）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（642）は、磁性材料（例えば、積層鋼板）で構成されている。コア部（642）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（643）が、回転子（641）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（643）は、互いに同形

状である。各永久磁石（643）の外周面側はN極となっており、各永久磁石（643）の間のコア部（642）の外周面は擬似的にS極となっている。なお、各永久磁石（643）の外周面側がS極となってもよい。

[0261] 図32には、ベアリングレスモータ（640）において、各永久磁石（643）によって生じる磁石磁束 $\phi 1$ と、インペラ（603a）および駆動軸（605）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。ベアリングレスモータ（640）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（605）を図32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（646a~646c）に流れる電流と等価の電流 $I M 1$ が示されている。

[0262] 図33には、ベアリングレスモータ（640）において、各永久磁石（643）によって生じる磁石磁束 $\phi 1$ と、駆動軸（605）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。ベアリングレスモータ（640）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（605）を図33で右方向に押す力）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（647a~647c）に流れる電流と等価の電流 $I S 1$ が示されている。

[0263] 図33からわかるように、支持用磁束 $B S 1$ の磁路は、固定子（644）のバックヨーク部（645）およびティース部と、エアギャップと、回転子（641）のコア部（642）とを通る経路である。バックヨーク部（645）、ティース部およびコア部（642）の磁気抵抗は、永久磁石（643）の磁気抵抗よりも小さい。

[0264] 図34には、ベアリングレスモータ（640）において、各永久磁石（643）によって生じる磁石磁束 $\phi 1$ と、インペラ（603a）および駆動軸（605）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（605）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。ベアリングレスモータ（640）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  $B_{S1}$  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 (646a~646c) および支持用コイル (647a~647c) に流れる電流と等価の電流  $I_{M1}$ ,  $I_{S1}$  が示されている。

[0265] ーラジアル磁気軸受ー

電動機システム (610) は、2つのラジアル磁気軸受 (621) を有し、これらのラジアル磁気軸受 (621) は、ベアリングレスモータ (640) の軸方向両側にそれぞれ配置されている。それぞれのラジアル磁気軸受 (621) は、被支持体 (具体的には駆動軸 (605)) を挟んで互いに対向する電磁石 (671~678) を有し、電磁石 (671~678) の電磁力を合成力 (合成電磁力 (F)) により、ラジアル方向の力を被支持体に作用させるように構成されている。ラジアル磁気軸受 (621) では、これらの電磁石 (671~678) に流れる電流を制御することにより、その電磁石 (671~678) の合成電磁力 (F) を制御して、電磁石 (671~678) の対向方向における被支持体の位置を制御することができる。なお、以下の説明において、2つのラジアル磁気軸受 (621) を区別する必要がある場合には、参照符合に枝番を付けて識別する場合がある (具体的には、621-1、621-2)。

[0266] 図35は、ラジアル磁気軸受 (621) の構成例を示す横断面図である。また、図36は、ラジアル磁気軸受 (621) の構成例を示す縦断面図である。このラジアル磁気軸受 (621) は、ヘテロポーラ型のラジアル磁気軸受であり、磁気軸受コア (661) と、8つのコイル (665) とを備えている。磁気軸受コア (661) は、例えば、複数の電磁鋼板が積層されて構成され、バックヨーク (662) と8つのティース (663) とを有している。バックヨーク (662) は、円筒状に形成されている。8つのティース (663) は、バックヨーク (662) の内周面に沿うように所定間隔 (この例では、45° 間隔) で周方向に配列され、それぞれがバックヨーク (662) の内周面から径方向内方へ向けて突出し、それぞれの内周面 (突端面) が駆動軸 (605) の被支持部の外周面と所定のギャップを隔てて対向する。

- [0267] 8つのコイル(665)は、磁気軸受コア(661)の8つのティース(663)にそれぞれ巻回されている。これにより、ラジアル磁気軸受(621)には、8つの電磁石(第1～第8電磁石(671～678))が構成されている。具体的にラジアル磁気軸受(621)では、第1電磁石(671)、第2電磁石(672)、第7電磁石(677)、第8電磁石(678)、第3電磁石(673)、第4電磁石(674)、第5電磁石(675)、及び第6電磁石(676)が、この順に、図35における時計回り方向に順に配列されている。なお、各電磁石(671～678)におけるコイル(665)の巻回方向、及び各コイル(665)に流れる電流の向きは、図35に示した矢印の方向に磁束が発生するように設定されている。
- [0268] それぞれのラジアル磁気軸受(621)では、図35および図36に示すように、第1電磁石(671)と第2電磁石(672)とが直列に結線されて第1電磁石対(651)が構成され、第3電磁石(673)と第4電磁石(674)とが直列に結線されて第2電磁石対(652)が構成されている。また、第5電磁石(675)と第6電磁石(676)とが直列に結線されて第3電磁石対(653)が構成され、第7電磁石(677)と第8電磁石(678)とが直列に結線されて第4電磁石対(654)が構成されている。
- [0269] 第1および第2電磁石対(651,652)は、図35に示すように、駆動軸(605)の被支持部を挟んで互いに対向し、第1および第2電磁石対(651,652)の合成電磁力(F)により駆動軸(605)の被支持部を非接触に支持する。同様に、第3および第4電磁石対(653,654)も、駆動軸(605)の被支持部を挟んで互いに対向し、第3および第4電磁石対(653,654)の合成電磁力(F)により駆動軸(605)の被支持部を非接触に支持する。なお、第3および第4電磁石対(653,654)の対向方向(図35では、左右方向)は、平面視において第1および第2電磁石対(651,652)の対向方向(図35では、上下方向)と直交している。
- [0270] 電動機システム(610)では、2つのラジアル磁気軸受(621)は、電磁石対(651～654)同士が互いに結線されている。図37に、2つのラジアル磁気軸受(621)間の結線の状態を示す。電動機システム(610)では、図37

に示すように、一方のラジアル磁気軸受（621-1）における第1電磁石対（651）と、もう一方のラジアル磁気軸受（621-2）における第2電磁石対（652）とが直列に結線されている。また、一方のラジアル磁気軸受（621-1）における第2電磁石対（652）と、もう一方のラジアル磁気軸受（621-2）における第1電磁石対（651）とが直列に結線されている。

[0271] なお、図37では図示を省略しているが、電動機システム（610）では、一方のラジアル磁気軸受（621-1）における第3電磁石対（653）と、もう一方のラジアル磁気軸受（621-2）における第4電磁石対（654）とが直列に結線されている。更に、一方のラジアル磁気軸受（621-1）における第3電磁石対（653）と、もう一方のラジアル磁気軸受（621-2）における第4電磁石対（654）とが直列に結線されている。すなわち、電動機システム（610）では、直列接続された電磁石対（651～654）が4組存在することになる。直列接続された4組の電磁石対（651～654）には、電源（635）の別個の出力系統（後述）から直流が供給される。なお、図37では、電源（635）の出力を2系統のみを図示してある。

[0272] スラスト磁気軸受

電動機システム（610）には、1つのスラスト磁気軸受（622）が設けられている。スラスト磁気軸受（622）は、被支持体（具体的には後述の円盤部（605a））を挟んで互いに対向する電磁石対を有し、電磁石対の合成電磁力（F）により被支持体を非接触に支持するように構成されている。

[0273] 具体的には、図30に示すように、スラスト磁気軸受（622）は、第1および第2電磁石（681,682）を有している。また、駆動軸（605）には、その他端部（インペラ（603a）が固定された一端部とは反対側の端部）に円盤状の部分（以下、円盤部（605a））がある。第1および第2電磁石（681,682）は、駆動軸（605）の被支持部である円盤部（605a）を挟んで互いに対向し、第1および第2電磁石（681,682）の合成電磁力により駆動軸（605）の被支持部（円盤部（605a））を非接触に支持する。すなわち、第1および第2電磁石（681,682）に流れる電流を制御することによって、第1および第2電磁石

(681, 682) の対向方向（すなわち軸方向（以下、スラスト方向とも呼ぶ）であり、図30では、左右方向）における駆動軸（605）の被支持部（円盤部（605a））の位置を制御することができる。

[0274] ー電源（635）ー

電源（635）は、各磁気軸受（621, 622）が備える電磁石（671～678, 681, 682）に直流を供給するものである。この例では、電源（635）は、ラジアル磁気軸受（621）用に、4系統の出力を備えている。すなわち、電源（635）は、直列接続された4組の電磁石対（651～654）のそれぞれの組に別個に直流を供給する。また、電源（635）は、スラスト磁気軸受（622）用に2系統の出力を備えている。具体的には、電源（635）は、第1電磁石（681）用の出力系統と、第2電磁石（682）用の出力系統を備えている。この電源（635）では、各出力系統の電圧を別個に制御可能に構成されている。電源（635）に限定はなく、種々の構成の電源装置を採用できる。

[0275] ータッチダウン軸受ー

タッチダウン軸受（606）は、電動機システム（610）が非通電であるとき（すなわち、駆動軸（605）が浮上していないとき）に駆動軸（605）を、ラジアル方向及びスラスト方向のそれぞれの方向について支持するように構成されている。

[0276] ー変位センサー

図30に示すように、このターボ圧縮機（601）には、ラジアル変位センサー（631）とスラスト変位センサー（632）の2種類の変位センサーが設けられている。この例では、ラジアル変位センサー（631）及びスラスト変位センサー（632）は、何れも渦電流式の変位センサーである。これらの変位センサー（631, 632）は、被支持体（この例では、駆動軸（605））を挟んで互いに対向する2つの電磁石対（例えば、第1および第2電磁石対（651, 652）の組）に対応（隣接）して設けられ、変位センサー（631, 632）の取付位置において、該変位センサー（631, 632）に対する駆動軸（605）のギャップ（g）を検出するように構成されている。

[0277] 電動機システム (610) では、ラジアル変位センサ (631) は、各ラジアル磁気軸受 (621) に2つずつ設けられている。つまり、ターボ圧縮機 (601) には、4つのラジアル変位センサ (631) がある。これらのラジアル変位センサ (631) は、該ラジアル変位センサ (631) に対する駆動軸 (605) のギャップ (g) を検出するものである。各ラジアル磁気軸受 (621) では、一方のラジアル変位センサ (631) が第1電磁石対 (651) と第2電磁石対 (652) の対向方向 (以下、Y方向) のギャップ (g) を検出する。Y方向はラジアル磁気軸受 (621) の径方向であって、図35では、上下方向である。また、もう一方のラジアル変位センサ (631) は、第3電磁石対 (653) と第4電磁石対 (654) の対向方向 (すなわち、Y方向と直交する径方向 (以下、X方向と呼ぶ) ) であり、図35では、左右方向) におけるギャップ (g) を検出する。

[0278] スラスト変位センサ (632) は、ターボ圧縮機 (601) に1つのみ設けられている。このスラスト変位センサ (632) は、スラスト磁気軸受 (622) における第1電磁石 (681) と第2電磁石 (682) の対向方向 (すなわち、駆動軸 (605) における軸方向であり、図30では、左右方向) のギャップ (g) を検出するものである。なお、以下では、駆動軸 (605) における軸方向をZ方向とも呼ぶ場合がある。

[0279] ー制御器ー

制御器 (690) は、被支持体 (この例では、駆動軸 (605) の被支持部) が非接触に支持されるように、ベアリングレスモータ (640) 、及び各磁気軸受 (621, 622) を制御する。具体的は、制御器 (690) は、ベアリングレスモータ (640) 及び磁気軸受 (621, 622) の電磁力を制御することによって、駆動軸 (605) の浮上制御を行う。なお、制御器 (690) は、具体的には、マイクロコンピュータと、それを動作させるためのソフトウェアを格納したメモリデバイスなどを用いて構成することができる。

[0280] <駆動軸の位置制御>

本実施形態では、ベアリングレスモータ (640) が、主に駆動軸 (605) のラジアル方向 (X方向及びY方向、以下では並進方向と呼ぶ場合もある) に

おける変位の制御（以下、ラジアル方向制御と呼ぶ）を分担し、2つのラジアル磁気軸受（621）は、主に駆動軸（605）のチルト方向における変位（X軸回り又はY軸回りの回転方向の変位）の制御（以下、チルト方向制御と呼ぶ）を分担する。なお、ここでは、X軸は、前記X方向に沿い、且つ、ベアリングレスモータ（640）を含む回転系全体の重心を通る軸であり、Y軸は、前記Y方向に沿い、且つ前記重心を通る軸である。チルト方向に変位する際の回転中心は、ベアリングレスモータ（640）を含む回転系全体の重心であると考えて差し支えない。

[0281] 本実施形態におけるラジアル方向制御では、制御器（690）は、X方向のギャップ（g）及びY方向のギャップ（g）をラジアル変位センサ（631）から読み取る。例えば、制御器（690）は、一方のラジアル磁気軸受（621）に対応するX方向用のラジアル変位センサ（631）の検出値と、もう一方のラジアル磁気軸受（621）に対応するX方向用のラジアル変位センサ（631）の検出値とから、ベアリングレスモータ（640）の回転子（641）位置における、駆動軸（605）のラジアル方向の変位（ここではX方向の変位）を算出する。同様に、制御器（690）は、駆動軸（605）のY方向の変位も算出する。

[0282] そして、制御器（690）は、フィードバック制御（例えば、いわゆるPID制御）などのアルゴリズムを用いて、求めたX方向の変位に応じて、ベアリングレスモータ（640）において、X方向の電磁力（詳しくは支持用磁束BS1）の制御を行うことによって、駆動軸（605）のX方向（ラジアル方向）の位置を目標位置に制御する。目標位置は、例えばベアリングレスモータ（640）の固定子（644）におけるX方向の中心である。制御器（690）は、Y方向（ラジアル方向）についても、同様に、ベアリングレスモータ（640）において、Y方向の電磁力の制御を行って、駆動軸（605）のY方向（ラジアル方向）の位置を目標位置に制御する。

[0283] また、制御器（690）は、駆動軸（605）のチルト方向の変位制御も行う。チルト方向制御に際して、制御器（690）は、チルト方向の変位を求める。ここで、チルト方向の変位とは、回転中心回りの変位角度であり、以下ではチ

ルト変位角とも呼ぶ。以下に示す式(1)は、制御器(690)が、X軸回りのチルト変位角( $\theta_x$ )を求める際に使用する式である。

[0284]  $\theta_x = (g_1 - g_2) / L \dots \dots$  式(1)

式(1)において、 $g_1$ は、一方のラジアル磁気軸受(621)に対応する、Y方向用のラジアル変位センサ(631)の検出値である。また、 $g_2$ は、もう一方のラジアル磁気軸受(621)に対応する、Y方向用のラジアル変位センサ(631)の検出値である。また、 $L$ は、Y方向用の2つのラジアル変位センサ(631)の間のZ方向の距離(全長 $L$ と呼ぶ)である。

[0285] 図38に、チルト変位角( $\theta_x$ )、各センサで検出されたギャップ( $g_1, g_2$ )、及び全長 $L$ の関係を示す。図38から分かるように、 $g_1$ 及び $g_2$ が $L$ と比べて非常に小さい場合には、 $\tan(\theta_x) = \theta_x$ と近似できるので、式(1)が成立するのである。同様に、制御器(690)は、Y軸回りのチルト変位角( $\theta_y$ )も算出する。Y軸回りのチルト変位角( $\theta_y$ )は、一方のラジアル磁気軸受(621)に対応するX方向用のラジアル変位センサ(631)の検出値と、もう一方のラジアル磁気軸受(621)に対応するX方向用のラジアル変位センサ(631)の検出値、X方向用の2つのラジアル変位センサ(631)の間のZ方向の距離(すなわち、全長 $L$ )を用いて求めることができる。チルト変位角( $\theta_y$ )の算出も式(1)と同様の近似式で行うことができる。

[0286] 制御器(690)は、チルト変位角( $\theta_x$ )が求まると、チルト変位角( $\theta_x$ )の目標値(例えばゼロ度)と、求めたチルト変位角( $\theta_x$ )との偏差に応じて、フィードバック制御(例えば、いわゆるPID制御)などのアルゴリズムを用いて、それぞれのラジアル磁気軸受(621)の第1および第2電磁石対(651, 652)、より詳しくは、第1から第4電磁石(671, 672, 673, 674)を制御する。この電動機システム(610)では、図37に示すように、一方のラジアル磁気軸受(621)における第1電磁石対(651)と、もう一方のラジアル磁気軸受(621)における第2電磁石対(652)とが直列に結線されている。そのため、フィードバック制御の過程において、2つのラジアル磁気軸受(621)は、Y方向に関して互いに逆位相の合成電磁力( $F$ )を発生させることにな

る。すなわち、一方のラジアル磁気軸受（621）における駆動軸（605）のY方向の変位と、もう一方のラジアル磁気軸受（621）における駆動軸（605）のY方向の変位とは互いに逆となり、駆動軸（605）はチルト方向（X軸回り）に変位（回転）する。

[0287] 同様に、制御器（690）は、チルト変位角（ $\theta_y$ ）の目標値（例えばゼロ度）と、求めたチルト変位角（ $\theta_y$ ）との偏差に応じて、例えばフィードバック制御のアルゴリズムを用いて、第3および第4電磁石対（653, 654）、すなわち、第5から第8電磁石（675, 676, 677, 678）を制御する。この電動機システム（610）では、もう一方のラジアル磁気軸受（621）における第3電磁石対（653）と、一方のラジアル磁気軸受（621）における第4電磁石対（654）とが直列に結線されているので、フィードバック制御の過程において、2つのラジアル磁気軸受（621）は、X方向に関して互いに逆位相の合成電磁力（F）を発生させることになる。そのため、一方のラジアル磁気軸受（621）における駆動軸（605）のX方向の変位と、もう一方のラジアル磁気軸受（621）における駆動軸（605）のX方向の変位とは互いに逆となり、駆動軸（605）はチルト方向（Y軸回り）に変位（回転）する。

[0288] なお、電動機システム（610）では、制御器（690）によってスラスト磁気軸受（622）が制御されて、スラスト方向の変位制御も行われるが、ここでは説明を省略する。

[0289] ー実施形態5の効果ー

以上のように、本実施形態では、ベアリングレスモータ（640）において、ラジアル方向の変位制御を分担するようにした。そのため、ラジアル磁気軸受（621）において負担するラジアル方向の加重が低減する。それにより、本実施形態では、ラジアル磁気軸受のみで駆動軸を支持する装置と比べ、ラジアル磁気軸受（621）を小型化することが可能になる。ラジアル磁気軸受（621）を小型化できると、電動機システム（610）を大型化することなく、ベアリングレスモータ（640）を含む回転系全体の重心から、各ラジアル磁気軸受（621）までの距離を伸ばすことが可能になる。このように、重心からラジア

ル磁気軸受（621）までの距離（すなわち力の作用点から重心までの距離）を大きくできると、チルト変位制御において優位である。すなわち、本実施形態では、電動機システム（610）の大型化を抑制しつつ、駆動軸（605）のチルト方向の変位を低減することが可能になる。

[0290] なお、負荷（圧縮機構（603））から各磁気軸受（621）までの各距離が互いに異なる場合には、前記負荷により近い方のラジアル磁気軸受（621）が、もう一方のラジアル磁気軸受（621）よりも大きな合成電磁力（F）を発生するように、各電磁石（671～678）を構成するのが望ましい。こうすることで、チルト変位角を低減させるための力をバランスよく発生させることが可能になる。

[0291] ー実施形態5の様々な変形例ー

本実施形態では、合成電磁力（F）の大きさを両磁気軸受（621）で互いに異ならせるには、例えば、コイル（665）の巻数、各コイル（665）に流す電流の大きさ、磁気回路の磁気抵抗の大きさ、電磁石のサイズの少なくとも1つを変更して各電磁石（671～678）の起磁力を調整することで実現できる。例えば、前記負荷（603）により近い方のラジアル磁気軸受（621）が有する電磁石（671～678）のコイル（665）の巻数の方を、もう一方のラジアル磁気軸受（621）が有する電磁石（671～678）のコイル（665）の巻数よりも多くすることが考えられる。また、磁気回路の磁気抵抗の大きさを変えるには、磁路の幅を変えることが考えられる。

[0292] また、本実施形態では、負荷（603）により近い方の磁気軸受（621）の軸方向長さを、もう一方の磁気軸受（621）の軸方向長さよりも長くすることでも、負荷（603）により近い方の磁気軸受（621）の合成電磁力（F）の方をより大きくできる。

[0293] また、本実施形態では、駆動軸（605）において、負荷（603）により近い方の磁気軸受（621）に面する部分の方の直径を、もう一方の磁気軸受（621）に面する部分の直径よりも大きくすることでも、負荷（603）により近い方の磁気軸受（621）の合成電磁力（F）の方をより大きくできる。

[0294] また、本実施形態では、ラジアル磁気軸受（621）においてラジアル方向の支持力も発生させてもよい。

[0295] また、本実施形態では、電動機システム（610）を、圧縮機構（603）以外の負荷の駆動に用いてもよい。

[0296] また、本実施形態では、ベアリングレスモータ（640）用の制御器と、磁気軸受（621）用の制御器とは、それぞれ別個に設けてもよい。

[0297] 《発明の実施形態6》

本発明の実施形態6について説明する。本実施形態のターボ圧縮機（701）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39に示すように、ターボ圧縮機（701）は、ケーシング（710）と、インペラ（720）と、駆動軸（730）と、タッチダウン軸受（740,741）と、スラスト磁気軸受（750）と、制御部（790）と、電源部（791）と、第1ベアリングレスモータ（760）と、第2ベアリングレスモータ（770）と、第1動圧気体軸受（780）と、第2動圧気体軸受（782）とを備えている。第1ベアリングレスモータ（760）と第2ベアリングレスモータ（770）とは、駆動軸（730）の軸方向に並んで配置されている。第1および第2ベアリングレスモータ（760,770）と、第1および第2動圧気体軸受（780,782）とは、駆動支持部を構成している。

[0298] 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（730）の軸心方向のことであり、「径方向」とは、駆動軸（730）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（730）の軸心からより遠い側のことであり、「内周側」とは、駆動軸（730）の軸心により近い側のことであり、

[0299] ケーシング

ケーシング（710）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（710）内の空間は、壁部（711）によって区画され、壁部（711）よりも右側の空間がインペラ（720）を収容するインペラ室（712）を構成し、壁部（711）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(760,770)を収容する電動機室(714)を構成している。そして、ケーシング(710)内を軸方向に延びる駆動軸(730)がインペラ(720)と第1および第2ベアリングレスモータ(760,770)とを連結している。第1および第2ベアリングレスモータ(760,770)は、駆動支持部を構成している。

[0300]      ーインペラー

インペラ(720)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(720)は、駆動軸(730)の一端に固定された状態で、インペラ室(712)に收容されている。インペラ室(712)には、吸入管(715)および吐出管(716)が接続され、インペラ室(712)の外周部には、圧縮空間(713)が形成されている。吸入管(715)は、冷媒を外部からインペラ室(712)内に導くために設けられ、吐出管(716)は、インペラ室(712)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。

[0301]      ータッチダウン軸受ー

ターボ圧縮機(701)には2つのタッチダウン軸受(740,741)が設けられている。一方のタッチダウン軸受(740)は駆動軸(730)の一端部(図39の右側端部)近傍に設けられ、他方のタッチダウン軸受(741)は駆動軸(730)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(740,741)は、第1および第2ベアリングレスモータ(760,770)が非通電であるとき(すなわち、駆動軸(730)が浮上していないとき)に駆動軸(730)を支持するように構成されている。

[0302]      ースラスト磁気軸受ー

図39に示すように、スラスト磁気軸受(750)は、第1および第2電磁石(751,752)を有していて、駆動軸(730)の他端部(すなわち、インペラ(720)が固定された一端部とは反対側の端部)に設けられた円盤状の部分(以下、円盤部(731))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(750)は、第1および第2電磁石(751,752)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(751,752)の

対向方向（すなわち、軸方向、図39では左右方向）における駆動軸（730）の被支持部（円盤部（731））の位置を制御することができる。

[0303]      －制御部－

制御部（790）は、駆動軸（730）の位置が所望の位置となるように、円盤部（731）とスラスト磁気軸受（750）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（760, 770）における固定子（764, 774）と回転子（761, 771）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（720）および駆動軸（730）の目標回転速度の情報に基づいて、スラスト磁気軸受（750）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（760, 770）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（790）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。

[0304]      －電源部－

電源部（791）は、制御部（790）からのスラスト電圧指令値およびモータ電圧指令値に基づいて、スラスト磁気軸受（750）ならびに第1および第2ベアリングレスモータ（760, 770）に電圧をそれぞれ供給する。例えば、電源部（791）は、PWM（Pulse Width Modulation）アンプによって構成することが可能である。電源部（791）は、電気回路を構成している。

[0305]      －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（760）は、電動機室（714）のうちインペラ（720）に近い側に配置されている。第1ベアリングレスモータ（760）は、電磁力によって駆動軸（730）を回転駆動しかつ駆動軸（730）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（760）は、一对の回転子（761）と固定子（764）を有する。回転子（761）は駆動軸（730）に固定され、固定子（764）はケーシング（710）の内周壁に固定されている。

[0306] 回転子 (761) は、複数の永久磁石 (図示せず) が埋設されて円筒状に形成されている。回転子 (761) の直径は、駆動軸 (730) の直径と実質的に等しい。回転子 (761) は、駆動軸 (730) に形成された第 1 小径部 (732) (すなわち、駆動軸 (730) において周囲よりも直径が小さい部分) に固定されている。なお、回転子 (761) の直径は、駆動軸 (730) の直径と異なってもよい。

[0307] 固定子 (762) は、回転子 (761) の外周側に配置されて円筒状に形成されている。固定子 (762) には、所定の電流範囲内の電流が流れるコイル (763) が巻回されている。なお、コイル (763) は、分布巻方式で巻回されていてもよく、集中巻方式で巻回されていてもよい。

[0308] 固定子 (762) のコイルエンド部 (764) (すなわち、固定子 (762) のコア部よりもコイル (763) が軸方向に突出した部分) は、第 1 モールド樹脂 (765) でモールドされている。この第 1 モールド樹脂 (765) のうち固定子 (762) の中心部と反対側の内周面には、固定子 (762) の中心部と反対側に開放された例えばリング状の第 1 凹部 (766) が形成されている。

[0309] ー第 1 動圧気体軸受ー

図 39 および図 40 に示すように、上記第 1 凹部 (766) には、第 1 動圧気体軸受 (780) が嵌め込まれている。この第 1 動圧気体軸受 (780) は、例えば熱伝導率が比較的高い樹脂からなる円筒状のスリーブ (780) によって構成されている。第 1 動圧気体軸受 (780) の外周部には、例えば 2 つの O リング (781) が装着されている。第 1 動圧気体軸受 (780) は、当該 O リング (781) を介して第 1 モールド樹脂 (765) に固定されている。そして、第 1 動圧気体軸受 (780) は、全体がコイルエンド部 (764) と駆動軸 (730) の径方向に重なっている。なお、第 1 動圧気体軸受 (780) は、その一部がコイルエンド部 (764) と駆動軸 (730) の径方向に重なっていてもよい。

[0310] 第 1 動圧気体軸受 (780) は、インペラ (720) および駆動軸 (730) が回転するときに、当該駆動軸 (730) のラジアル荷重を非接触で支持する。この場合の支持力は、インペラ (720) および駆動軸 (730) の回転速度が大きくな

るにつれて大きくなる。

[0311] 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(770)は、電動機室(714)のうちインペラ(720)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(770)は、電磁力によって駆動軸(730)を回転駆動しかつ駆動軸(730)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(770)は、一对の回転子(771)と固定子(772)を有する。回転子(771)は駆動軸(730)に固定され、固定子(772)はケーシング(710)に固定されている。

[0312] 回転子(771)は、複数の永久磁石(図示せず)が埋設されて円筒状に形成されている。回転子(771)の直径は、駆動軸(730)の直径と実質的に等しい。回転子(771)は、駆動軸(730)に形成された第2小径部(733)(すなわち、駆動軸(730)において周囲よりも直径が小さい部分)に固定されている。なお、回転子(771)の直径は、駆動軸(730)の直径と異なってもよい。

[0313] 固定子(772)は、回転子(771)の外周側に配置されて円筒状に形成されている。固定子(772)には、所定の電流範囲内の電流が流れるコイル(773)が巻回されている。なお、コイル(773)は、分布巻方式で巻回されていてもよく、集中巻方式で巻回されていてもよい。

[0314] 固定子(772)のコイルエンド部(764)(すなわち、固定子(772)のコア部よりもコイル(773)が軸方向に突出した部分)は、第2モールド樹脂(775)でモールドされている。この第2モールド樹脂(775)のうち固定子(772)の中心部と反対側の内周面には、固定子(772)の中心部と反対側に開放された例えばリング状の第2凹部(776)が形成されている。

[0315] ー第2動圧気体軸受

図39および図40に示すように、上記第2凹部(776)には、第2動圧気体軸受(782)が嵌め込まれている。なお、図40では、第2動圧気体軸受(782)を図39の状態から左右反転させて示してある。第2動圧気体軸受(78

2) は、例えば熱伝導率が比較的高い樹脂からなる円筒状のスリーブ (782) によって構成されている。第2動圧気体軸受 (782) の外周部には、例えば2つのOリング (783) が装着されている。第2動圧気体軸受 (782) は、当該Oリング (783) を介して第2モールド樹脂 (775) に固定されている。そして、第2動圧気体軸受 (782) は、全体がコイルエンド部 (774) と駆動軸 (730) の径方向に重なっている。なお、第2動圧気体軸受 (782) は、その一部がコイルエンド部 (774) と駆動軸 (730) の径方向に重なっていてもよい。

[0316] 第2動圧気体軸受 (782) は、インペラ (720) および駆動軸 (730) が回転するとき、当該駆動軸 (730) のラジアル荷重を非接触で支持する。この場合の支持力は、インペラ (720) および駆動軸 (730) の回転速度が大きくなるにつれて大きくなる。

[0317] ー実施形態6の効果ー

本実施形態では、第1および第2動圧気体軸受 (780, 782) で駆動軸 (730) のラジアル荷重の少なくとも一部を支持することにより、第1および第2ベアリングレスモータ (760, 770) が受け持つラジアル荷重を減少させることができる。このため、第1および第2ベアリングレスモータ (760, 770) の駆動トルク出力を高めることが可能となる。

[0318] また、本実施形態では、第1および第2ベアリングレスモータ (760, 770) と、第1および第2動圧気体軸受 (780, 782) と、駆動軸 (730) とを含む回転系の軸方向長さを小さく設定することができる。よって、ターボ圧縮機 (701) を安全に運転可能な領域を広げることができる。

[0319] また、本実施形態では、第1および第2動圧気体軸受 (780, 782) の全体が、固定子 (762, 772) のコイルエンド部 (764, 774) と駆動軸 (730) の径方向に重なっている。このため、当該気体軸受 (780, 782) を単体で設ける場合に比べて回転系の軸方向長さを小さくすることができ、よってターボ圧縮機 (701) を安全に運転可能な領域を広げることができる。

[0320] 《発明の実施形態7》

本発明の実施形態7について説明する。本実施形態のターボ圧縮機 (701)

は、気体軸受の構成が上記実施形態6のものと異なる。以下では、実施形態6と異なる点について主に説明する。

[0321] 図4 1 および図4 2 に示すように、第1ベアリングレスモータ(760)の固定子(762)の第1凹部(766)には、第1静圧気体軸受(784)が嵌め込まれている。この第1静圧気体軸受(784)は、例えば熱伝導率が比較的高い樹脂からなる円筒状のスリーブ(784)によって構成されている。第1静圧気体軸受(784)は、内周部が多孔質体(784a)で構成され、外周部が中実体(784b)で構成されている。当該内周部と外周部との間には、好ましくは全周にわたって第1冷媒用空洞(785)が形成されている。

[0322] 第1冷媒用空洞(785)には、第1静圧気体軸受(784)の外周部を径方向に貫通する貫通孔を介して、第1冷媒導入路(786)がつながっている。この第1冷媒導入路(786)は、ケーシング(710)および第1ベアリングレスモータ(760)のコイルエンド部(764)を径方向に貫通している。第1冷媒導入路(786)は、例えばターボ圧縮機(701)が設けられる冷媒回路(図示せず)が有する凝縮器に連通していて、第1冷媒用空洞(785)に高圧のガス冷媒を導入する。

[0323] 第1静圧気体軸受(784)の外周部には、例えば2つのリング(781)が装着されている。第1静圧気体軸受(784)は、当該リング(781)を介して第1モールド樹脂(765)に固定されている。そして、第1静圧気体軸受(784)は、全体がコイルエンド部(764)と駆動軸(730)の径方向に重なっている。なお、第1静圧気体軸受(784)は、その一部がコイルエンド部(764)と駆動軸(730)の径方向に重なっていてもよい。

[0324] 同様に、図4 1 および図4 2 に示すように、第2ベアリングレスモータ(770)の固定子(772)の第2凹部(776)には、第2静圧気体軸受(787)が嵌め込まれている。なお、図4 2 では、第2静圧気体軸受(787)を図4 1 の状態から左右反転させて示してある。第2静圧気体軸受(787)は、例えば熱伝導率が比較的高い樹脂からなる円筒状のスリーブ(787)によって構成されている。第2静圧気体軸受(787)は、内周部が多孔質体(787a)で構成され、

外周部が中実体（787b）で構成されている。当該内周部と外周部との間には、好ましくは全周にわたって第2冷媒用空洞（788）が形成されている。

[0325] 第2冷媒用空洞（788）には、第2静圧気体軸受（787）の外周部を径方向に貫通する貫通孔を介して、第2冷媒導入路（789）がつながっている。この第2冷媒導入路（789）は、ケーシング（710）および第2ベアリングレスモータ（770）のコイルエンド部（774）を径方向に貫通している。第2冷媒導入路（789）は、例えばターボ圧縮機（701）が設けられる冷媒回路が有する凝縮器に連通していて、第2冷媒用空洞（788）に高圧のガス冷媒を導入する。

[0326] 第2静圧気体軸受（787）の外周部には、例えば2つのリング（783）が装着されている。第2静圧気体軸受（787）は、当該リング（783）を介して第2モールド樹脂（775）に固定されている。そして、第2静圧気体軸受（787）は、全体がコイルエンド部（774）と駆動軸（730）の径方向に重なっている。なお、第2静圧気体軸受（787）は、その一部がコイルエンド部（774）と駆動軸（730）の径方向に重なっていてもよい。

[0327] 第1および第2静圧気体軸受（784,787）は、第1および第2冷媒用空洞（785,788）に導入されるガス冷媒の圧力を利用して駆動軸（730）のラジアル荷重を非接触で支持する。

[0328] 本実施形態においても、上記実施形態6と同様の効果を得ることができる。

[0329] 《発明の実施形態8》

本発明の実施形態8について説明する。

[0330] （空気調和装置）

図43は、実施形態8の空気調和装置（810）の構成を例示している。空気調和装置（810）は、冷媒回路（811）を備える。冷媒回路（811）は、ターボ圧縮機（812）と、凝縮器（813）と、膨張弁（814）と、蒸発器（815）とを有していて、冷媒が循環して冷凍サイクルが行われるように構成されている。例えば、凝縮器（813）および蒸発器（815）は、クロスフィン型の熱交換

器により構成され、膨張弁（814）は、電動弁により構成されている。

[0331]       （ターボ圧縮機）

図44は、図43に示したターボ圧縮機（812）の構成を例示している。ターボ圧縮機（812）は、冷媒回路（811）に設けられて後述のインペラ（821）によって冷媒を圧縮するように構成されている。この例では、ターボ圧縮機（812）は、ケーシング（820）と、インペラ（821）と、電動機システム（830）とを備える。電動機システム（830）は、駆動軸（831）と、第1および第2ベアリングレスモータ（840,850）と、制御部（860）と、第1および第2電源部（861,862）とを有する。また、この例では、電動機システム（830）は、第1および第2タッチダウン軸受（871,872）と、スラスト磁気軸受（873）とをさらに有する。

[0332]       なお、以下の説明において、「軸方向」とは、回転軸方向のことであって、駆動軸（831）の軸心の方向のことであり、「径方向」とは、駆動軸（831）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（831）の軸心からより遠い側のことであり、「内周側」とは、駆動軸（831）の軸心により近い側のことである。

[0333]       〔ケーシング〕

ケーシング（820）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（820）内の空間は、壁部（820a）によって区画され、壁部（820a）よりも右側の空間がインペラ（821）を収容するインペラ室（S801）を構成し、壁部（820a）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（840,850）を収容する電動機室（S802）を構成している。また、電動機室（S802）には、第1および第2ベアリングレスモータ（840,850）と、第1および第2タッチダウン軸受（871,872）と、スラスト磁気軸受（873）とが収容され、これらが電動機室（S802）の内周壁に固定されている。

[0334]       〔駆動軸〕

駆動軸（831）は、負荷（821）（この例では、インペラ（821））を回転駆

動するために設けられている。この例では、駆動軸（831）は、ケーシング（820）内を軸方向に延びてインペラ（821）と第1および第2ベアリングレスモータ（840,850）とを連結している。具体的には、駆動軸（831）の一端部にインペラ（821）が固定され、駆動軸（831）の中間部に第1および第2ベアリングレスモータ（840,850）が配置されている。また、駆動軸（831）の他端部（すなわち、インペラ（821）が固定された一端部とは反対側の端部）には、円盤状の部分（以下、円盤部（831a）とも言う）が設けられている。なお、円盤部（831a）は、磁性材料（例えば、鉄）で構成されている。

[0335]       〔インペラ（負荷）〕

インペラ（821）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、駆動軸（831）の一端部に固定された状態で、インペラ室（S801）に収容されている。インペラ室（S801）には、吸入管（P801）および吐出管（P802）が接続されている。吸入管（P801）は、冷媒（流体）を外部からインペラ室（S801）に導くために設けられている。吐出管（P802）は、インペラ室（S801）内で圧縮された高圧の冷媒（流体）を外部へ戻すために設けられている。すなわち、この例では、インペラ（821）とインペラ室（S801）とによって圧縮機構が構成されている。

[0336]       〔ベアリングレスモータ〕

第1および第2ベアリングレスモータ（840,850）は、互いに同じ構成を有する。このため、ここでは、第1ベアリングレスモータ（840）の構成のみを説明する。

[0337]       第1ベアリングレスモータ（840）は、一對の回転子（841）と固定子（844）とを有して駆動軸（831）を回転駆動しかつ駆動軸（831）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。回転子（841）は、駆動軸（831）に固定され、固定子（844）は、ケーシング（820）の内周壁に固定されている。

[0338]       図45に示すように、この例では、第1ベアリングレスモータ（840）は、コンセクエントポール型のベアリングレスモータによって構成されている。

- [0339] 第1ベアリングレスモータ(840)の回転子(841)は、回転子コア(842)と、回転子コア(842)に埋設された複数(この例では、4つ)の永久磁石(843)とを有する。回転子コア(842)は、磁性材料(例えば、積層鋼板)で構成され、円柱状に形成されている。回転子コア(842)の中央部には、駆動軸(831)を挿通するためのシャフト孔が形成されている。
- [0340] 複数の永久磁石(843)は、回転子(841)の周方向において所定の角度ピッチ(この例では、90°の角度ピッチ)で配置されている。そして、4つの永久磁石(843)の外周面側がN極となっており、回転子コア(842)の外周面のうち回転子(841)の周方向において4つの永久磁石(843)の間に位置する部分が擬似的にS極となっている。なお、4つの永久磁石(843)の外周面側がS極となってもよい。
- [0341] 第1ベアリングレスモータ(840)の固定子(844)は、磁性材料(例えば、積層鋼板)で構成されていて、バックヨーク部(845)と、複数のティース部(図示せず)と、ティース部に巻回された電機子巻線(846a~846c)および支持巻線(847a~847c)とを有する。バックヨーク部(845)は、円筒状に構成されている。電機子巻線(846a~846c)および支持巻線(847a~847c)は、各ティース部に分布巻方式で巻回されている。なお、電機子巻線(846a~846c)および支持巻線(847a~847c)は、各ティース部に集中巻方式で巻回されていてもよい。
- [0342] 電機子巻線(846a~846c)は、ティース部のうち内周側に巻回された巻線である。電機子巻線(846a~846c)は、図45において太実線で囲んで示したU相電機子巻線(846a)と、図45において太破線で囲んで示したV相電機子巻線(846b)と、図45において細実線で囲んで示したW相電機子巻線(846c)とから構成されている。
- [0343] 支持巻線(847a~847c)は、ティース部のうち外周側に巻回された巻線である。支持巻線(847a~847c)は、図45において太実線で囲んで示したU相支持巻線(847a)と、図45において太破線で囲んで示したV相支持巻線(847b)と、図45において細実線で囲んで示したW相支持巻線(847c)と

から構成されている。

[0344]       〔タッチダウン軸受〕

第1タッチダウン軸受(871)は、駆動軸(831)の一端部(図43における右端部)の近傍に設けられ、第2タッチダウン軸受(872)は、駆動軸(831)の他端部の近傍に設けられている。第1および第2タッチダウン軸受(871,872)は、第1および第2ベアリングレスモータ(840,850)が非通電であるとき(すなわち、駆動軸(831)が浮上していないとき)に駆動軸(831)を支持するように構成されている。

[0345]       〔スラスト磁気軸受〕

スラスト磁気軸受(873)は、第1および第2スラスト電磁石(874a,874b)を有し、駆動軸(831)の円盤部(831a)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。具体的には、第1および第2スラスト電磁石(874a,874b)は、それぞれが円環状に形成され、駆動軸(831)の円盤部(831a)を挟んで互いに対向し、第1および第2スラスト電磁石(874a,874b)の合成電磁力により駆動軸(831)の円盤部(831a)を非接触に支持する。

[0346]       〔各種センサ〕

電動機システム(830)の各部には、位置センサや電流センサや回転速度センサなどの各種センサ(図示を省略)が設けられている。例えば、第1および第2ベアリングレスモータ(840,850)には、回転子(841,851)のラジアル方向(径方向)における位置に応じた検出信号を出力する位置センサ(図示を省略)が設けられ、スラスト磁気軸受(873)には、駆動軸(831)のスラスト方向(軸方向)における位置に応じた検出信号を出力する位置センサ(図示を省略)が設けられている。これらの位置センサは、例えば、測定対象物との間のギャップ(距離)を検出する渦電流式の変位センサによって構成されている。

[0347]       〔制御部〕

制御部(860)は、駆動軸(831)が非接触で支持された状態で駆動軸(831)の回転速度が予め定められた目標回転速度となるように、電動機システム

(830) の各部に設けられた各種センサからの検出信号や駆動軸 (831) の目標回転速度などの情報に基づいて、電機子電圧指令値および支持電圧指令値と、スラスト電圧指令値とを生成して出力するように構成されている。電機子電圧指令値は、第1および第2ベアリングレスモータ (840, 850) の電機子巻線 (846a~846c, 856a~856c) に供給される電圧を制御するための指令値である。支持電圧指令値は、第1および第2ベアリングレスモータ (840, 850) の支持巻線 (847a~847c, 857a~857c) に供給される電圧を制御するための指令値である。スラスト電圧指令値は、スラスト磁気軸受 (873) の第1および第2スラスト電磁石 (874a, 874b) の巻線 (図示せず) に供給される電圧を制御するための指令値である。制御部 (860) は、例えば、CPUなどの演算処理部や、演算処理部を動作させるためのプログラムや情報を記憶するメモリなどの記憶部などによって構成されている。

[0348]           〔電源部〕

第1電源部 (861) は、制御部 (860) から出力された電機子電圧指令値に基づいて、第1および第2ベアリングレスモータ (840, 850) の電機子巻線 (846a~846c, 856a~856c) に電圧を供給するように構成されている。第2電源部 (862) は、制御部 (860) から出力された支持電圧指令値に基づいて、第1および第2ベアリングレスモータ (840, 850) の支持巻線 (847a~847c, 857a~857c) に電圧を供給するように構成されている。第1および第2ベアリングレスモータ (840, 850) の電機子巻線 (846a~846c, 856a~856c) および支持巻線 (847a~847c, 857a~857c) に印加される電圧を制御することにより、各巻線 (846a~846c, 856a~856c, 847a~847c, 857a~857c) を流れる電流を制御して第1および第2ベアリングレスモータ (840, 850) が発生するトルクおよび支持力を制御することができる。第1および第2電源部 (861, 862) は、例えば、PWM (Pulse Width Modulation) アンプによって構成されている。第1および第2電源部 (861, 862) は、電源部を構成している。

[0349]           〔ターボ圧縮機の運転領域〕

図7は、ターボ圧縮機 (812) の運転領域について説明するための図である

。同図において、横軸は冷媒体積流量を、縦軸はヘッドをそれぞれ示す。ターボ圧縮機（812）は、第1および第2電源部（861,862）によって電力を供給されることにより、所定の運転領域において運転され得る。

[0350] この所定の運転領域は、主に、図7に太線で示すサージラインの内側の定常運転領域（A）、高負荷トルク領域（B）およびタービュランス領域（C）と、当該サージラインの外側のサージング領域（D）とを含む。本明細書では、高負荷トルク領域（B）のことを、「ターボ圧縮機（812）の最大駆動トルクが必要となる領域」とも呼ぶ。また、タービュランス領域（C）のことを「旋回失速が生じる領域」とも呼ぶ。

[0351] 定常運転領域（A）は、図7に符号Aで示す領域であって、インペラ（821）および駆動軸（831）の負荷トルク（すなわち、インペラ（821）および駆動軸（831）を回転駆動するためのトルク）が比較的小さく、かつ駆動軸（831）のラジアル荷重も比較的小さい領域である。

[0352] 高負荷トルク領域（B）は、図7に符号Bで示す領域であって、インペラ（821）および駆動軸（831）の負荷トルクが比較的大きく、かつ駆動軸（831）のラジアル荷重も比較的大きい領域である。ターボ圧縮機（812）におけるインペラ（821）および駆動軸（831）の負荷トルクは、この高負荷トルク領域（B）のうち図7中で最も右上の点において最大となる。ただし、ターボ圧縮機（812）における駆動軸（831）のラジアル荷重は、高負荷トルク領域（B）では最大にはならない。

[0353] タービュランス領域（C）は、図7に符号Cで示す領域であって、インペラ（821）および駆動軸（831）の負荷トルクは比較的小さい一方、駆動軸（831）のラジアル荷重は比較的大きい領域である。

[0354] サージング領域（D）は、図7に符号Dで示す領域であって、停電時などの非常の事態においてターボ圧縮機（812）がこのサージング領域（D）において一時的に運転されることがある。サージング領域（D）は、インペラ（821）および駆動軸（831）の負荷トルクは比較的小さい一方、駆動軸（831）のラジアル荷重は比較的大きい領域である。ターボ圧縮機（812）における駆

動軸（831）のラジアル荷重は、このサージング領域（D）中の所定の点において最大となる。

[0355] （制御部および電源部の動作）

制御部（860）および第1および第2電源部（861,862）の動作について説明する。制御部（860）は、ターボ圧縮機（812）の状態に応じたラジアル荷重を支持するためのラジアル支持力を出力するよう、第1および第2ベアリングレスモータ（840,850）の電機子巻線（846a~846c,856a~856c）と支持巻線（847a~847c,857a~857c）に電圧を供給し、電機子電流  $I_A$  と支持電流  $I_S$  を流す。

[0356] ここで、ラジアル支持力は、支持電流  $I_S$  に起因するラジアル支持力と、電機子電流  $I_A$  と支持電流  $I_S$  の両方に起因するラジアル支持力（本明細書では、電機子電流  $I_A$  に起因するラジアル支持力とも言う）との和である。電機子電流  $I_A$  と支持電流  $I_S$  の両方に起因するラジアル支持力は、電機子電流  $I_A$  の d 軸成分（以下、d 軸電流）を増加させると増加し、d 軸電流を減少させると減少し、電機子電流  $I_A$  の q 軸成分（以下、q 軸電流）の絶対値を増加させると増加し、q 軸電流の絶対値を減少させると減少する。

[0357] 制御部（860）は、例えば定常運転領域（A）において、電機子巻線（846a~846c,856a~856c）に対し、電機子電流  $I_A$  に対して最も効率的にトルクを発生させるように第1電源部（861）を制御し（いわゆる、最大トルク／電流制御）、支持巻線（847a~847c,857a~857c）に対してはターボ圧縮機（812）の状態に応じたラジアル支持力を出力するよう第2電源部（862）を制御する。なお、定常運転領域（A）での第1電源部（861）の制御方法は、最大トルク／電流制御以外であってもよく、例えば最大効率制御（損失を最小とする制御）や、力率1制御（力率を実質的に1とする制御）を採用してもよい。

[0358] また、制御部（860）は、例えば定常運転領域（A）以外の領域において、第1および第2ベアリングレスモータ（840,850）の電機子巻線（846a~846c,856a~856c）にかかる電圧である電機子電圧  $V_A$  と、支持巻線（847a~847c

, 857a~857c) に流れる電流である支持電流  $I_S$  との一方を増大させかつ他方を低減させるように第1および第2電源部 (861, 862) を制御する。以下、そのような制御のいくつかの例について説明する。

[0359] [強め磁束制御]

制御部 (860) は、例えば、負荷トルクが比較的小さい一方でラジアル荷重が大きくなるタービュランス領域 (C) およびサージング領域 (D)、ターボ圧縮機 (812) の運転終了時、ならびにターボ圧縮機 (812) の始動時において、電機子巻線 (846a~846c, 856a~856c) の強め磁束制御 (すなわち、正の d 軸電流を流す制御) を行う。

[0360] ここで、制御部 (860) は、第1電源部 (861) に対する電機子電圧指令値を増大させて第1および第2ベアリングレスモータ (840, 850) における電機子電圧  $V_A$  を増大させると共に、第2電源部 (862) に対する支持電圧指令値を低減させて第1および第2ベアリングレスモータ (840, 850) における支持電流  $I_S$  を低減させる。また、制御部 (860) は、第1および第2ベアリングレスモータ (840, 850) における支持電流  $I_S$  が所定の第1上限値 (例えば、第2電源部 (862) の電源容量によって定まる) を超えないように第1および第2電源部 (861, 862) を制御する。これにより、支持電流  $I_S$  を増大させるのではなく、電機子巻線 (846a~846c, 856a~856c) に流れる電流である電機子電流  $I_A$  を増大させてラジアル支持力を増大させることができる。よって、第1および第2ベアリングレスモータ (840, 850) によって発生可能な最大ラジアル支持力に対して、第2電源部 (862) の電源容量を比較的小さく設定することが可能となる。

[0361] また、制御部 (860) は、例えば、支持巻線 (847a~847c, 857a~857c) の温度が所定の基準値以上になった場合に、第1電源部 (861) で強め磁束制御を行うと共に、第2電源部 (862) で支持電流  $I_S$  を低減させてもよい。これにより、ラジアル支持力を維持しつつ、支持巻線 (847a~847c, 857a~857c) での銅損を低減してその過剰な温度上昇を抑止することができ、よってターボ圧縮機 (812) の信頼性を向上させることができる。

[0362] また、制御部 (860) は、例えば、第1および第2ベアリングレスモータ (840, 850) の回転速度が比較的小さく、そのために電機子電圧  $V_A$  が小さい場合に、第1電源部 (861) で強め磁束制御を行うと共に、第2電源部 (862) で支持電流  $I_S$  を低減させてもよい。これにより、ラジアル支持力を維持しつつ電機子電圧  $V_A$  を増大させることができ、電機子電圧  $V_A$  の出力精度の向上を通じて第1および第2ベアリングレスモータ (840, 850) の制御性を向上させることができる。

[0363] また、制御部 (860) は、第1および第2ベアリングレスモータ (840, 850) における回転子 (841, 851) と固定子 (844, 854) との間のアギャップに油が存在する場合に、第1電源部 (861) で強め磁束制御を行うと共に、第2電源部 (862) で支持電流  $I_S$  を低減させてもよい。これにより、電機子巻線 (846a~846c, 856a~856c) における銅損および鉄損を増大させてその発熱によってアギャップ内の油を温め、当該油の粘性を低くし、よって第1および第2ベアリングレスモータ (840, 850) の回転損失を低減することができる。

[0364] また、制御部 (860) は、空気調和装置 (810) が暖房運転を行う場合に、第1電源部 (861) で強め磁束制御を行うと共に、第2電源部 (862) で支持電流  $I_S$  を低減させてもよい。これにより、電機子巻線 (846a~846c, 856a~856c) における銅損および鉄損を増大させてその発熱によって電動機室 (S802) 内に存在する冷媒を加熱することができる。当該加熱によって冷媒に蓄えられた熱は、凝縮器 (813) において対象空間の空気中に放出される。したがって、空気調和装置 (810) の暖房能力を向上させることができる。

[0365] また、制御部 (860) は、第1および第2ベアリングレスモータ (840, 850) の永久磁石 (843, 853) の減磁耐力が小さい場合に、第1電源部 (861) で強め磁束制御を行うと共に、第2電源部 (862) で支持電流  $I_S$  を低減させてもよい。支持電流  $I_S$  が作る磁束は永久磁石 (843, 853) の減磁を生じさせるおそれがあるが、このような制御を行うことによって減磁を生じさせにくくすることができる。したがって、保磁力の小さな永久磁石 (843, 853) を利用

できるため低コスト化が可能となると同時に、第1および第2ベアリングレスモータ(840,850)の設計自由度を高めることができる。

[0366] [弱め磁束制御]

制御部(860)は、例えば、高速運転領域において、電機子巻線(846a~846c,856a~856c)の弱め磁束制御(すなわち、負のd軸電流を流す制御)を行う。なお、高速運転領域とは、弱め磁束制御を行わない場合に電機子電圧VAが所定の第2上限値(例えば、第1電源部(861)の電源容量によって定まる)に達する回転速度を上回る回転速度での運転を行う領域を言う。また、弱め磁束制御を行う場合にはそれを行わない場合よりも電機子電流IAが増大する。

[0367] ここで、制御部(860)は、第2電源部(862)に対する支持電圧指令値を増大させて第1および第2ベアリングレスモータ(840,850)における支持電流ISを増大させると共に、第1電源部(861)に対する電機子電圧指令値を低減させて第1および第2ベアリングレスモータ(840,850)における電機子電圧VAを低減させる。また、制御部(860)は、第1および第2ベアリングレスモータ(840,850)における電機子電圧VAが上記第2上限値を超えないように第1および第2電源部(861,862)を制御する。これにより、電機子電圧VAを増大させることなく高速運転領域でターボ圧縮機(812)を運転することができると共に、支持電流ISの増大によって弱め磁束制御に伴うラジアル支持力の低下を補うことができる。よって、ターボ圧縮機(812)の運転速度領域の広さに対して、第1電源部(861)の電源容量を比較的小さく設定することができる。

[0368] また、制御部(860)は、例えば、ターボ圧縮機(812)の始動時において弱め磁束制御を行ってもよい。ターボ圧縮機(812)の始動時には、駆動軸(831)が第1および第2タッチダウン軸受(871,872)で支持されているため、第1および第2ベアリングレスモータ(840,850)の永久磁石(843,853)の磁力に起因して比較的大きなラジアル支持力が必要となるところ、弱め磁束制御によって永久磁石(843,853)の磁力を擬似的に弱め、必要なラジアル

支持力を低減させ、よって第1および第2ベアリングレスモータ(840,850)の制御性を向上させることができる。

[0369] また、制御部(860)は、第1および第2ベアリングレスモータ(840,850)における回転子(841,851)と固定子(844,854)との間のエアギャップに油が存在する場合に、弱め磁束制御を行うと共に支持電流 $I_S$ を増大させてもよい。これにより、支持巻線(847a~847c,857a~857c)における銅損を増大させてその発熱によってエアギャップ内の油を温め、当該油の粘性を低くし、よって第1および第2ベアリングレスモータ(840,850)の回転損失を低減することができる。

[0370] また、制御部(860)は、空気調和装置(810)が暖房運転を行う場合に、弱め磁束制御を行うと共に支持電流 $I_S$ を増大させてもよい。これにより、支持巻線(847a~847c,857a~857c)における銅損を増大させてその発熱によって電動機室(S802)内に存在する冷媒を加熱することができる。当該加熱によって冷媒に蓄えられた熱は、凝縮器(813)において対象空間の空気中に放出される。したがって、空気調和装置(810)の暖房能力を向上させることができる。

[0371] [回生制御]

制御部(860)は、例えば、ラジアル荷重が大きくなる運転終了時において、回生制御(すなわち、負の $q$ 軸電流を流す制御)を行う。

[0372] ここで、制御部(860)は、第1電源部(861)に対する電機子電圧指令値を増大させて第1および第2ベアリングレスモータ(840,850)における電機子電圧 $V_A$ を増大させると共に、第2電源部(862)に対する支持電圧指令値を低減させて第1および第2ベアリングレスモータ(840,850)における支持電流 $I_S$ を低減させる。また、制御部(860)は、第1および第2ベアリングレスモータ(840,850)における支持電流 $I_S$ が上記第1上限値を超えないように第1および第2電源部(861,862)を制御する。これにより、支持電流 $I_S$ を増大させるのではなく、電機子電流 $I_A$ を増大させてラジアル支持力を増大させることができる。よって、第1および第2ベアリングレスモータ(8

40, 850) によって発生可能な最大ラジアル支持力に対して、第2電源部(862)の電源容量を比較的小さく設定することが可能となる。また、回転エネルギーを回生することによってターボ圧縮機(812)の省エネルギー化を図ると共に、回転を停止するための時間を短縮することができる。

[0373] また、制御部(860)は、第1電源部(861)で正のq軸電流を流しながら第1および第2ベアリングレスモータ(840, 850)を制御している場合にラジアル荷重が急激に大きくなったとき、当該正のq軸電流よりも絶対値の大きい負のq軸電流を流す回生制御を行ってもよい。これにより、第2電源部(862)で支持電流I<sub>S</sub>を増大させることなく、ラジアル支持力を増大させることができる。なお、同様の効果を奏するものとして、正のq軸電流の絶対値を極性の反転なく大きくすることも考えられる。

[0374] ー実施形態8の効果ー

本実施形態の電動機システム(830)は、電機子巻線(846a~846c, 856a~856c)にかかる電圧である電機子電圧V<sub>A</sub>と、支持巻線(847a~847c, 857a~857c)に流れる電流である支持電流I<sub>S</sub>との一方を増大させかつ他方を低減させるように、第1および第2電源部(861, 862)を制御する制御部(860)とを備える。したがって、電機子電圧V<sub>A</sub>と支持電流I<sub>S</sub>の一方を増大させかつ他方を低減させることにより、電動機システム(830)が適用されるアプリケーションの動作状況に応じて、第1および第2電源部(861, 862)の各々の電源容量の範囲内で電機子電圧V<sub>A</sub>および支持電流I<sub>S</sub>を調節することができる。すなわち、第1電源部(861)および第2電源部(862)の電源容量がそれぞれ限られているところ、第1および第2ベアリングレスモータ(840, 850)において所望の出力を得るために一方の電源部(861, 862)の電源容量が不足する場合に、他方の電源部(861, 862)によってこの不足分を補うことができる。

[0375] また、本実施形態の電動機システム(830)は、上記制御部(860)が、上記電機子電圧V<sub>A</sub>を増大させて上記支持電流I<sub>S</sub>が低減するように、または、上記支持電流I<sub>S</sub>を増大させて上記電機子電圧V<sub>A</sub>が低減するように、上

記第1および第2電源部(861,862)を制御する。このような制御によると、電動機システム(830)の運転領域を広げることができる。

[0376] また、本実施形態の電動機システム(830)は、制御部(860)が、電機子電圧 $V_A$ を増大させて支持電流 $I_S$ が所定の第1上限値を超えないように、第1および第2電源部(861,862)を制御する。したがって、支持電流 $I_S$ が第1上限値を超えないようにできる一方、電機子巻線(846a~846c,856a~856c)に流れる電流である電機子電流 $I_A$ に起因するラジアル支持力を増大させることができる。このことは、例えば第1電源部(861)で強め磁束制御を行う場合に相当する。支持電流 $I_S$ が第1上限値またはその近傍に達した状態でラジアル支持力を増大させる場合に特に効果的である。

[0377] また、本実施形態の電動機システム(830)は、制御部(860)が、支持電流 $I_S$ を増大させて電機子電圧 $V_A$ が所定の第2上限値を超えないように、第1および第2電源部(861,862)を制御する。したがって、電機子電圧 $V_A$ が第2上限値を超えないようにできるが、例えば第1および第2ベアリングレスモータ(840,850)の回転速度を上昇させていくと電機子電流 $I_A$ に起因するラジアル支持力が低下するおそれがある。このことは、例えば第1電源部(861)で弱め磁束制御を行う場合に相当する。これに対し、第2電源部(862)で支持電流 $I_S$ を増大させることによってそれに起因するラジアル支持力で当該低下を補うことができる。

[0378] また、本実施形態の電動機システム(830)は、制御部(860)が、電機子電圧 $V_A$ を低減させて支持電流 $I_S$ が増大するように、または、支持電流 $I_S$ を低減させて電機子電圧 $V_A$ が増大するように、第1および第2電源部(861,862)を制御する。このような制御によると、例えば、電機子巻線(846a~846c,856a~856c)または支持巻線(847a~847c,857a~857c)における発熱を必要に応じて利用することができる。

[0379] また、本実施形態の電動機システム(830)は、制御部(860)が、電機子電圧 $V_A$ を低減させて支持電流 $I_S$ が所定の第1下限値を超えるように、第1および第2電源部(861,862)を制御する。したがって、支持電流 $I_S$ が第

1 下限値を超えるようにすることができる。これにより、例えば、支持巻線 (847a~847c, 857a~857c) における発熱を必要に応じて利用したり、支持電流  $I_S$  の検出精度の向上を通じて第1および第2ベアリングレスモータ (840, 850) の制御性を向上させることができる。

[0380] また、本実施形態の電動機システム (830) は、制御部 (860) が、支持電流  $I_S$  を低減させて電機子電圧  $V_A$  が所定の第2下限値を超えるように、第1および第2電源部 (861, 862) を制御する。したがって、電機子電圧  $V_A$  が第2下限値を超えるようにすることができる。これにより、例えば、電機子巻線 (846a~846c, 856a~856c) における発熱を必要に応じて利用したり、電機子電圧  $V_A$  の出力精度の向上を通じて第1および第2ベアリングレスモータ (840, 850) の制御性を向上させることができる。

[0381] また、本実施形態のターボ圧縮機 (812) は、本実施形態の電動機システム (830) と、電動機システム (830) の駆動軸 (831) に連結された負荷 (821) としてインペラ (821) とを備える。したがって、ターボ圧縮機 (812) において、第1および第2ベアリングレスモータ (840, 850) によりインペラ (821) が回転駆動される。

[0382] また、本実施形態のターボ圧縮機 (812) は、冷凍サイクルを行う冷媒回路 (811) に設けられてインペラ (821) によって冷媒を圧縮するように構成され、ターボ圧縮機 (812) を旋回失速が生じる領域 (C) またはサージング領域 (D) で運転する場合、制御部 (860) は、電機子電圧  $V_A$  を増大させて支持電流  $I_S$  が所定の第1上限値を超えないように、第1および第2電源部 (861, 862) を制御する。したがって、第1および第2ベアリングレスモータ (840, 850) の負荷トルクが小さい一方で必要なラジアル支持力が大きい場合に、電機子電流  $I_A$  に起因するラジアル支持力を増大させることができる。したがって、支持電流  $I_S$  を第1上限値以下に抑制していても、電機子電流  $I_A$  の増大によって第1および第2ベアリングレスモータ (840, 850) のラジアル支持力を増大させることができる。

[0383] 《発明の実施形態9》

本発明の実施形態9について説明する。図46に示すように、本実施形態の冷凍装置(900)は、互いに接続された冷媒回路(911)および水回路(920)を備え、空調設備用機器を構成している。冷媒回路(911)には冷媒が充填され、水回路(920)には水(または、不凍液)が充填されている。冷凍装置(900)は、後述の四路切換弁(912)の状態を切り替えることにより、空調対象空間の冷房および暖房の両方を行うことができる。なお、冷凍装置(900)は、四路切換弁(912)を備えない冷房専用または暖房専用のものであってもよい。

[0384] ここで、空調対象空間の例として、特定の建造物(例えば、ビルや船舶)において互いに仕切られた複数の部屋や、特定の大型施設(例えば、ドームや総合競技場)における比較的大きな空間の一部を挙げることができる。そして、当該複数の部屋の各々に後述の利用ユニット(921)が1つずつ設けられていてもよいし、2つ以上設けられていてもよい。また、当該比較的大きな空間に設けられる利用ユニット(921)の数も任意に選択可能である。冷凍装置(900)は、各利用ユニット(921)に対応する空調対象空間ごとに個別に温度調節できるように構成されていることが好ましい。

[0385] 冷媒回路(911)は、熱源ユニット(910)に収容されている。冷媒回路(911)は、上記実施形態1~8のいずれかのターボ圧縮機(101,210,410,601,701,812)と、四路切換弁(912)と、利用側熱交換器(922)と、膨張弁(914)と、水/冷媒熱交換器(915)とを有する。熱源側熱交換器(913)の近傍には、これに空気を送るための熱源側ファン(916)が設けられている。冷媒回路(911)は、ターボ圧縮機(101,210,410,601,701,812)と、四路切換弁(912)と、利用側熱交換器(922)と、膨張弁(914)と、水/冷媒熱交換器(915)とが互いに冷媒配管で接続され、ターボ圧縮機(101,210,410,601,701,812)および熱源側ファン(916)を運転して冷凍サイクルを行うように構成されている。

[0386] 水回路(920)は、互いに並列接続された複数(この例では、3つ)の利用側熱交換器(922)と、各利用側熱交換器(922)に対して1つずつ設けられ

、利用側熱交換器（922）に対する水の流量を調節するための流量調節弁（923）と、水回路（920）で水を循環させるためのポンプ（924）とを有する。各利用側熱交換器（922）の近傍には、これに空気を送るための利用側ファン（925）が設けられている。利用側熱交換器（922）、流量調節弁（923）、および利用側ファン（925）は、利用ユニット（921）（例えば、ファンコイルユニット）に收容されている。各利用ユニット（921）は、空調対象空間に配置されている。水回路（920）は、複数の利用側熱交換器（922）と、ポンプ（924）と、水／冷媒熱交換器（915）とが互いに水配管で接続され、ポンプ（924）および利用側ファン（925）を運転して空調対象空間の空気調和を行うように構成されている。

[0387] <冷凍装置の運転動作>

冷凍装置（900）は、四路切換弁（912）の状態を切り替えることによって、暖房運転および冷房運転を行うことができる。ここで、暖房運転を行うための四路切換弁（912）の状態を第1状態（図46に破線で示す状態）とし、冷房運転を行うための四路切換弁（912）の状態を第2状態（図46に実線で示す状態）とする。

[0388] 冷凍装置（900）は、四路切換弁（912）を第1状態に切り替えると共に、ターボ圧縮機（101, 210, 410, 601, 701, 812）、熱源側ファン（916）、ポンプ（924）、および利用側ファン（925）を運転することで空調対象空間の暖房運転を行う。このとき、水／冷媒熱交換器（915）では、ターボ圧縮機（101, 210, 410, 601, 701, 812）から吐出された高圧のガス冷媒から水に熱が伝えられ、熱を受け取った水は各利用側熱交換器（922）において、利用側ファン（925）によって送られてきた空調対象空間の空気を加熱する。これにより、空調対象空間の暖房が行われる。なお、熱源側熱交換器（913）では、熱源側ファン（916）によって送られてきた空気（例えば、室外空気）から低圧の液冷媒に熱が伝えられる。

[0389] また、冷凍装置（900）は、四路切換弁（912）を第2状態に切り替えると共に、ターボ圧縮機（101, 210, 410, 601, 701, 812）、熱源側ファン（916）、

ポンプ（924）、および利用側ファン（925）を運転することで空調対象空間の冷房運転を行う。このとき、水／冷媒熱交換器（915）では、膨張弁（914）で減圧された低圧の液冷媒が水から熱を奪い、熱を奪われた水は各利用側熱交換器（922）において、利用側ファン（925）によって送られてきた空調対象空間の空気を冷却する。これにより、空調対象空間の冷房が行われる。なお、熱源側熱交換器（913）では、熱源側ファン（916）によって送られてきた空気（例えば、室外空気）に対して高圧のガス冷媒から熱が伝えられる。

[0390] 本実施形態の冷凍装置（900）は、例えば、凝縮温度（すなわち、外気温）が比較的高い状態で冷凍負荷を下げてターボ圧縮機（101, 210, 410, 601, 701, 812）を運転する場合があります、ターボ圧縮機（101, 210, 410, 601, 701, 812）がタービュランス領域（図7に符号Cで示す領域）で運転されることがある。そのような運転は、典型的には、ビルなどの多数の部屋を有する建物において、一部の部屋のみでの空調（すなわち、一部の利用ユニット（921）のみの温度調整）が要求される場合に行われる。本実施形態では、実施形態1と同様に、タービュランス領域（C）でもターボ圧縮機（101, 210, 410, 601, 701, 812）を問題なく運転することが可能である。これにより、ターボ圧縮機（101, 210, 410, 601, 701, 812）を有する熱源ユニット（910）全体としての小型化や、冷凍装置（900）の低コスト化などを図ることができる。また、複数台の利用ユニット（921）を設け、複数の空調対象空間の空気調和を行う冷凍装置（900）において、一部の利用ユニット（921）のみを運転している状態であっても、ターボ圧縮機（101, 210, 410, 601, 701, 812）を問題なく運転することができる。

[0391] なお、冷凍装置（900）は、空調設備用機器の他に、例えば、家庭用エアコンまたは業務用エアコンを構成していてもよい。冷凍装置（900）の用途としては、住宅、店舗、商業施設、または船舶といった各種建造物を例として挙げることができる。

[0392] 《その他の実施形態》

上記各実施形態では、ターボ圧縮機（101, 210, 410, 601, 701, 812）は、1つまたは2つのベアリングレスモータ（160, 170, 250, 450, 640, 760, 770, 840, 850）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。

[0393] また、上記各実施形態では、各ベアリングレスモータ（160, 170, 250, 450, 640, 760, 770, 840, 850）はコンセクエントポール型または埋込磁石型のベアリングレスモータであるが、各ベアリングレスモータ（160, 170, 250, 450, 640, 760, 770, 840, 850）の種類はこれらに限られるものではない。例えば、回転子の表面に永久磁石を貼り付けた表面磁石型（SPM: Surface Permanent Magnet）、インセット型などのベアリングレスモータを挙げることができる。

[0394] また、上記各実施形態では、各ベアリングレスモータ（160, 170, 250, 450, 640, 760, 770, 840, 850）が駆動用コイル（166a~166c, 176a~176c, 256a~256c, 456a~456c, 646a~646c）および支持用コイル（167a~167c, 177a~177c, 257a~257c, 457a~457c, 647a~647c）を備えているが、両コイル（166a~166c, 176a~176c, 256a~256c, 456a~456c, 646a~646c, 167a~167c, 177a~177c, 257a~257c, 457a~457c, 647a~647c）の機能を併せ持つ共通のコイルを備えていてもよい。

[0395] また、上記各実施形態では、回転子（161, 171, 251, 451, 641, 761, 771, 841, 851）および固定子（164, 174, 254, 454, 644, 762, 772, 844, 854）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（161, 171, 251, 451, 641, 761, 771, 841, 851）および固定子（164, 174, 254, 454, 644, 762, 772, 844, 854）を構成してもよい。

[0396] また、上記各実施形態では、ターボ圧縮機（101, 210, 410, 601, 701, 812）は1つだけのインペラ（120, 221, 421, 603a, 720, 821）を備えているが、2つ以上のインペラ（120, 221, 421, 603a, 720, 821）を備えていてもよい。例えば、駆動軸（130, 240, 440, 605, 730, 831）の両端にインペラ（120, 221, 421, 603a, 720, 821）が1つずつ取り付けられていてもよい。

[0397] また、以上の説明では、ベアリングレスモータ（160, 170, 250, 450, 640, 760

, 770, 840, 850) の回転子 (161, 171, 251, 451, 641, 761, 771, 841, 851) に設けられた複数の永久磁石 (163, 173, 253, 453, 643, 843, 853) が互いに同形状となっている場合を例に挙げたが、これらの複数の永久磁石 (163, 173, 253, 453, 643, 843, 853) は、互いに異なる形状となってもよい。

### 産業上の利用可能性

[0398] 以上説明したように、本発明は、ターボ圧縮機について有用である。

### 符号の説明

- [0399] 101 ターボ圧縮機  
120 インペラ  
160 第1ベアリングレスモータ (駆動支持部)  
161 回転子  
164 固定子  
166a~166c 駆動用コイル (コイル)  
167a~167c 支持用コイル (コイル)  
170 第2ベアリングレスモータ (駆動支持部)  
171 回転子  
174 固定子  
176a~176c 駆動用コイル (コイル)  
177a~177c 支持用コイル (コイル)  
180 ラジアル磁気軸受 (駆動支持部)  
190 制御部  
191 電源部  
210 ターボ圧縮機  
211 ケーシング  
220 負荷  
221 インペラ  
230 電動機システム  
240 駆動軸

- 241 円盤部
- 250 ベアリングレスモータ（駆動支持部）
- 251 回転子
- 254 固定子
- 260 ラジアル磁気軸受（磁気軸受、駆動支持部）
- 261 第1電磁石
- 262 第2電磁石
- 263 第3電磁石
- 264 第4電磁石
- 280 制御部
- 281 電源部
- 300 空気調和装置
- 310 冷媒回路
- 320 凝縮器
- 330 膨張弁
- 340 蒸発器
- 410 ターボ圧縮機
- 411 ケーシング
- 421 インペラ
- 430 電動機システム
- 440 駆動軸
- 441 円盤部
- 450 ベアリングレスモータ（駆動支持部）
- 451 回転子
- 454 固定子
- 460 ラジアル磁気軸受（磁気軸受、駆動支持部）
- 461 第1電磁石
- 462 第2電磁石

- 463 第3電磁石
- 464 第4電磁石
- 480 制御部
- 481 電源部
- 500 空気調和装置
- 510 冷媒回路
- 520 凝縮器
- 530 膨張弁
- 540 蒸発器
- 601 ターボ圧縮機
- 603 圧縮機構（負荷）
- 603a インペラ
- 605 駆動軸
- 610 電動機システム
- 621 ラジアル磁気軸受（磁気軸受、駆動支持部）
- 640 ベアリングレスモータ（駆動支持部）
- 671～678 電磁石
- 701 ターボ圧縮機
- 720 インペラ
- 730 駆動軸
- 760 第1ベアリングレスモータ（駆動支持部）
- 761 回転子
- 762 固定子
- 763 コイル
- 764 コイルエンド部
- 765 第1モールド樹脂（モールド樹脂）
- 770 第2ベアリングレスモータ（駆動支持部）
- 771 回転子

- 772 固定子
- 773 コイル
- 774 コイルエンド部
- 775 第2 モールド樹脂 (モールド樹脂)
- 780 第1 動圧気体軸受、スリーブ (気体軸受、駆動支持部)
- 782 第2 動圧気体軸受、スリーブ (気体軸受、駆動支持部)
- 784 第1 静圧気体軸受、スリーブ (気体軸受、駆動支持部)
- 787 第2 静圧気体軸受、スリーブ (気体軸受、駆動支持部)
- 811 冷媒回路
- 812 ターボ圧縮機
- 821 インペラ (負荷)
- 830 電動機システム
- 831 駆動軸
- 840 第1 ベアリングレスモータ (駆動支持部)
- 841 回転子
- 844 固定子
- 846a~846c 電機子巻線
- 847a~847c 支持巻線
- 850 第2 ベアリングレスモータ (駆動支持部)
- 851 回転子
- 854 固定子
- 856a~856c 電機子巻線
- 857a~857c 支持巻線
- 860 制御部
- 861 第1 電源部 (電源部)
- 862 第2 電源部 (電源部)
- 900 冷凍装置
- 910 熱源ユニット

921 利用ユニット

## 請求の範囲

- [請求項1] 冷凍サイクルを行う冷媒回路に設けられて冷媒を圧縮するターボ圧縮機（101, 210, 410, 601, 701, 812）であって、  
インペラ（120, 221, 421, 603a, 720, 821）と、  
駆動軸（130, 240, 440, 605, 730, 831）と、  
所定の電流範囲内の電流が流れることによって生じる電磁力により上記駆動軸（130, 240, 440, 605, 730, 831）を回転駆動しかつ上記駆動軸（130, 240, 440, 605, 730, 831）のラジアル荷重を非接触で支持する駆動支持部（160, 170, 180, 250, 260, 450, 460, 621, 640, 760, 770, 780, 782, 840, 850）とを備え、  
上記駆動支持部（160, 170, 180, 250, 260, 450, 460, 621, 640, 760, 770, 780, 782, 840, 850）は、一对の回転子（161, 171, 251, 451, 641, 761, 771, 841, 851）と固定子（164, 174, 254, 454, 644, 762, 772, 844, 854）を有して上記駆動軸（130, 240, 440, 605, 730, 831）を回転駆動しかつ上記駆動軸（130, 240, 440, 605, 730, 831）のラジアル荷重を非接触で支持するベアリングレスモータ（160, 170, 250, 450, 640, 760, 770, 840, 850）を少なくとも1つ有することを特徴とするターボ圧縮機。
- [請求項2] 請求項1において、  
上記インペラ（120）および上記駆動軸（130）を回転駆動するために上記駆動支持部（160, 170, 180）で生じる磁束を駆動用磁束BMとし、  
上記駆動軸（130）のラジアル荷重を支持するために上記駆動支持部（160, 170, 180）で生じる磁束を支持用磁束BSとして、  
上記駆動支持部（160, 170, 180）に電流を流すための電源部（191）と、  
上記ターボ圧縮機（101）を旋回失速が生じる領域およびサージング領域で運転する際には、同一回転速度で比較したとき、通常運転時

に比べて、上記駆動用磁束  $B_M$  を発生させるための電流  $I_M$  に対する上記支持用磁束  $B_S$  を発生させるための電流  $I_S$  の割合を増加させるように上記電源部 (191) を制御する制御部 (190) とを備えていることを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項3]

請求項1において、

上記インペラ (120) および上記駆動軸 (130) を回転駆動するために上記駆動支持部 (160, 170, 180) で生じる磁束を駆動用磁束  $B_M$  とし、

上記駆動軸 (130) のラジアル荷重を支持するために上記駆動支持部 (160, 170, 180) で生じる磁束を支持用磁束  $B_S$  として、

上記駆動支持部 (160, 170, 180) に電流を流すための電源部 (191) と、

上記ターボ圧縮機 (101) を旋回失速が生じる領域およびサージング領域で運転する場合に冷媒体積流量が減るにつれて、同一回転速度で比較したとき、上記駆動用磁束  $B_M$  を発生させるための電流  $I_M$  に対する上記支持用磁束  $B_S$  を発生させるための電流  $I_S$  の割合を増加させていくように上記電源部 (191) を制御する制御部 (190) とを備えている

ことを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項4]

請求項1において、

上記インペラ (120) および上記駆動軸 (130) を回転駆動するために上記駆動支持部 (160, 170, 180) で生じる磁束を駆動用磁束  $B_M$  とし、

上記駆動軸 (130) のラジアル荷重を支持するために上記駆動支持部 (160, 170, 180) で生じる磁束を支持用磁束  $B_S$  とし、

上記ターボ圧縮機 (101) の所定の運転領域における上記駆動用磁束  $B_M$  と上記支持用磁束  $B_S$  との和の最大値を  $(B_M + B_S)_{max}$  とし、

上記所定の運転領域における最大トルク負荷に対応する駆動トルクを発生させるために上記駆動支持部（160, 170, 180）で生じる磁束を  $B M_{max}$  とし、

上記所定の運転領域における上記駆動軸（130）の最大ラジアル荷重を支持するために上記駆動支持部（160, 170, 180）で生じる磁束を  $B S_{max}$  とし、

上記駆動支持部（160, 170, 180）に流れる電流が上記所定の電流範囲の上限値であるときに該駆動支持部（160, 170, 180）で生じる磁束を  $B_{max}$  としたときに、

上記駆動支持部（160, 170, 180）は、 $(B M + B S)_{max} \leq B_{max}$   
 $B_{max} < B M_{max} + B S_{max}$  の関係が成り立つように構成されている

ことを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項5]

請求項1において、

上記駆動支持部（160, 170, 180）は、上記所定の電流範囲内の電流が流れるコイル（166a~166c, 167a~167c, 176a~176c, 177a~177c, 184）を有し、

上記インペラ（120）および上記駆動軸（130）を回転駆動するために上記駆動支持部（160, 170, 180）で生じる磁束を駆動用磁束  $B M$  とし、

上記駆動軸（130）のラジアル荷重を支持するために上記駆動支持部（160, 170, 180）で生じる磁束を支持用磁束  $B S$  とし、

上記ターボ圧縮機（101）の所定の運転領域に最大トルク負荷に対応する駆動トルクを発生させるときに上記駆動支持部（160, 170, 180）で生じる磁束を  $B M_{max}$  とし、かつそのときに上記コイル（166a~166c, 167a~167c, 176a~176c, 177a~177c, 184）に流れる電流を最大トルク電流  $I B M_{max}$  とし、

上記所定の運転領域における上記駆動軸（130）の最大ラジアル荷

重を支持するとき上記駆動支持部（160, 170, 180）で生じる磁束を  $B S m a x$  とし、かつそのときに上記コイル（166a~166c, 167a~167c, 176a~176c, 177a~177c, 184）に流れる電流を最大支持力電流  $I B S m a x$  とし、

上記最大トルク電流  $I B M m a x$  と上記最大支持力電流  $I B S m a x$  とを足し合わせた電流を上記コイル（166a~166c, 167a~167c, 176a~176c, 177a~177c, 184）に流すことによって上記駆動支持部（160, 170, 180）で生じる磁束を  $B M S m a x$  としたときに、

上記駆動支持部（160, 170, 180）は、 $B M S m a x < B M m a x + B S m a x$  の関係が成り立つように構成されていることを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項6] 請求項1において、

上記駆動支持部（160, 170, 180）に電流を流すための電源部（191）と、

サージング領域で運転する場合または上記駆動軸（130）の回転運動を通常停止させる場合に、上記駆動支持部（160, 170, 180）に駆動トルクに寄与する電流を流さずに上記駆動軸（130）のラジアル荷重を非接触で支持するための電流のみを流すように上記電源部（191）を制御する制御部（190）とを備えていることを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項7] 請求項1~6のいずれか1項において、

上記駆動支持部（160, 170, 180）は、上記ベアリングレスモータ（160, 170）のみで構成されていることを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項8] 請求項1~6のいずれか1項において、

上記駆動支持部（160, 170, 180）は、上記ベアリングレスモータ（160, 170）と、上記駆動軸（130）の軸方向において上記ベアリングレスモータ（160, 170）と並んで配置され、複数の電磁石を有して上記

駆動軸（130）のラジアル荷重を非接触で支持する磁気軸受（180）とで構成されている

ことを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項9] 請求項8において、

上記磁気軸受（260）は、上記駆動軸（240）の軸方向において、上記ベアリングレスモータ（250）において支持されるラジアル荷重よりも大きいラジアル荷重が作用する位置に配置されている

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、

上記駆動軸（240）の一端部に上記インペラ（220）が接続され、

上記磁気軸受（260）は、上記駆動軸（240）の軸方向において上記ベアリングレスモータ（250）よりも上記インペラ（220）に近い位置に配置されている

ことを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項11] 請求項9または10において、

上記ベアリングレスモータ（250）は、表面磁石型のベアリングレスモータによって構成されている

ことを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項12] 請求項8において、

上記ベアリングレスモータ（450）は、上記駆動軸（440）の軸方向において、上記磁気軸受（460）において支持されるラジアル荷重よりも大きいラジアル荷重が作用する位置に配置されている

ことを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項13] 請求項12において、

上記駆動軸（440）の一端部に上記インペラ（421）が接続され、

上記ベアリングレスモータ（450）は、上記駆動軸（440）の軸方向において上記磁気軸受（460）よりも上記インペラ（421）に近い位置に配置されている

ことを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項14]

請求項12または13において、

上記ベアリングレスモータ(450)は、コンセクエントポール型のベアリングレスモータまたは埋込磁石型のベアリングレスモータによって構成されている

ことを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項15]

請求項8において、

上記磁気軸受(621)は、上記ベアリングレスモータ(640)の軸方向両側にそれぞれ配置され、かつ上記複数の電磁石(671~678)によって上記駆動軸(605)に合成電磁力(F)を付与するように構成されており、

それぞれの磁気軸受(621)は、互いに逆位相の合成電磁力(F)を発生させる

ことを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項16]

請求項15において、

一方の磁気軸受(621)のそれぞれの電磁石(671~678)は、当該電磁石(671~678)とは逆位相の電磁力を他方の磁気軸受(621)において発生させる電磁石(671~678)と結線されている

ことを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項17]

請求項15または16において、

上記ベアリングレスモータ(640)で並進方向の変位を制御し、上記磁気軸受(621)でチルト方向の変位を制御する

ことを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項18]

請求項17において、

上記ベアリングレスモータ(640)用の制御器と、上記磁気軸受(621)用の制御器を個別に有する

ことを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項19]

請求項15~18のいずれか1項において、

上記インペラ (603a) により近い磁気軸受 (621) の方が、もう一方の磁気軸受 (621) よりも大きな上記合成電磁力 (F) を発生するように、各電磁石 (671~678) の巻線の巻数、各巻線に流す電流の大きさ、磁気回路の磁気抵抗、電磁石のサイズが設定されていることを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項20]

請求項19において、

上記インペラ (603a) により近い方の磁気軸受 (621) が有する各電磁石 (671~678) の方が、もう一方の磁気軸受 (621) が有する各電磁石 (671~678) よりも巻線の巻数が多いことを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項21]

請求項19または20において、

上記インペラ (603a) により近い磁気軸受 (621) の方が、もう一方の磁気軸受 (621) よりも、軸方向長さが長いことを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項22]

請求項19~21のいずれか1項において、

上記駆動軸 (605) は、上記インペラ (603a) により近い方の磁気軸受 (621) に面する部分の方が、もう一方の磁気軸受 (621) に面する部分よりも直径が大きいことを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項23]

請求項1~22のいずれか1項において、

上記駆動支持部 (760, 770, 780, 782, 784, 787) は、上記ベアリングレスモータ (760, 770) に組み込まれて上記駆動軸 (730) のラジアル荷重を非接触で支持する気体軸受 (780, 782, 784, 787) を有することを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項24]

請求項23において、

上記ベアリングレスモータ (760, 770) は、上記所定の電流範囲内の電流が流れるコイル (763, 773) が巻回された固定子 (762, 772) を有し、

上記気体軸受（780, 782, 784, 787）の少なくとも一部は、上記固定子（762, 772）のコイルエンド部（764, 774）と上記駆動軸（730）の径方向に重なっている

ことを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項25]

請求項24において、

上記気体軸受（780, 782, 784, 787）は、上記コイルエンド部（764, 774）のモールド樹脂（765, 775）に嵌め込まれたスリーブ（780, 782, 784, 787）によって構成されている

ことを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項26]

請求項23～25のいずれか1項において、

上記気体軸受（780, 782）は、動圧気体軸受であることを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項27]

請求項23～25のいずれか1項において、

上記気体軸受（784, 787）は、静圧気体軸受であることを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項28]

請求項1～27のいずれか1項において、

ベアリングレスモータ（840, 850）の上記固定子（844, 854）に設けられた電機子巻線（846a～846c, 856a～856c）および支持巻線（847a～847c, 857a～857c）と、

上記電機子巻線（846a～846c, 856a～856c）および上記支持巻線（847a～847c, 857a～857c）に電圧を印加するための電源部（861, 862）と、

上記電機子巻線（846a～846c, 856a～856c）にかかる電圧である電機子電圧 $V_A$ と、上記支持巻線（847a～847c, 857a～857c）に流れる電流である支持電流 $I_S$ との一方を増大させかつ他方を低減させるように、上記電源部（861, 862）を制御する制御部（860）とを備えることを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項29]

請求項28において、

上記制御部（860）は、上記電機子電圧VAを増大させて上記支持電流ISが低減するように、または、上記支持電流ISを増大させて上記電機子電圧VAが低減するように、上記電源部（861,862）を制御する

ことを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項30] 請求項28または29において、

上記制御部（860）は、上記電機子電圧VAを増大させて上記支持電流ISが所定の第1上限値を超えないように、上記電源部（861,862）を制御する

ことを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項31] 請求項28～30のいずれか1項において、

上記制御部（860）は、上記支持電流ISを増大させて上記電機子電圧VAが所定の第2上限値を超えないように、上記電源部（861,862）を制御する

ことを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項32] 請求項28～31のいずれか1項において、

上記制御部（860）は、上記電機子電圧VAを低減させて上記支持電流ISが増大するように、または、上記支持電流ISを低減させて上記電機子電圧VAが増大するように、上記電源部（861,862）を制御する

ことを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項33] 請求項28～32のいずれか1項において、

上記制御部（860）は、上記電機子電圧VAを低減させて上記支持電流ISが所定の第1下限値を超えるように、上記電源部（861,862）を制御する

ことを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項34] 請求項28～33のいずれか1項において、

上記制御部（860）は、上記支持電流ISを低減させて上記電機子

電圧VAが所定の第2下限値を超えるように、上記電源部(861,862)を制御する

ことを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項35] 請求項28～34のいずれか1項において、

上記ターボ圧縮機(812)は、冷凍サイクルを行う冷媒回路(811)に設けられて上記インペラ(821)によって冷媒を圧縮するように構成され、

上記ターボ圧縮機(812)を旋回失速が生じる領域またはサージング領域で運転する場合、上記制御部(860)は、上記電機子電圧VAを増大させて上記支持電流ISが所定の第1上限値を超えないように、上記電源部(861,862)を制御する

ことを特徴とするターボ圧縮機。

[請求項36] 請求項1～35のいずれか1項に記載のターボ圧縮機(101,210,410,601,701,812)を有する熱源ユニット(910)と、

利用ユニット(921)とを備える

ことを特徴とする冷凍装置。

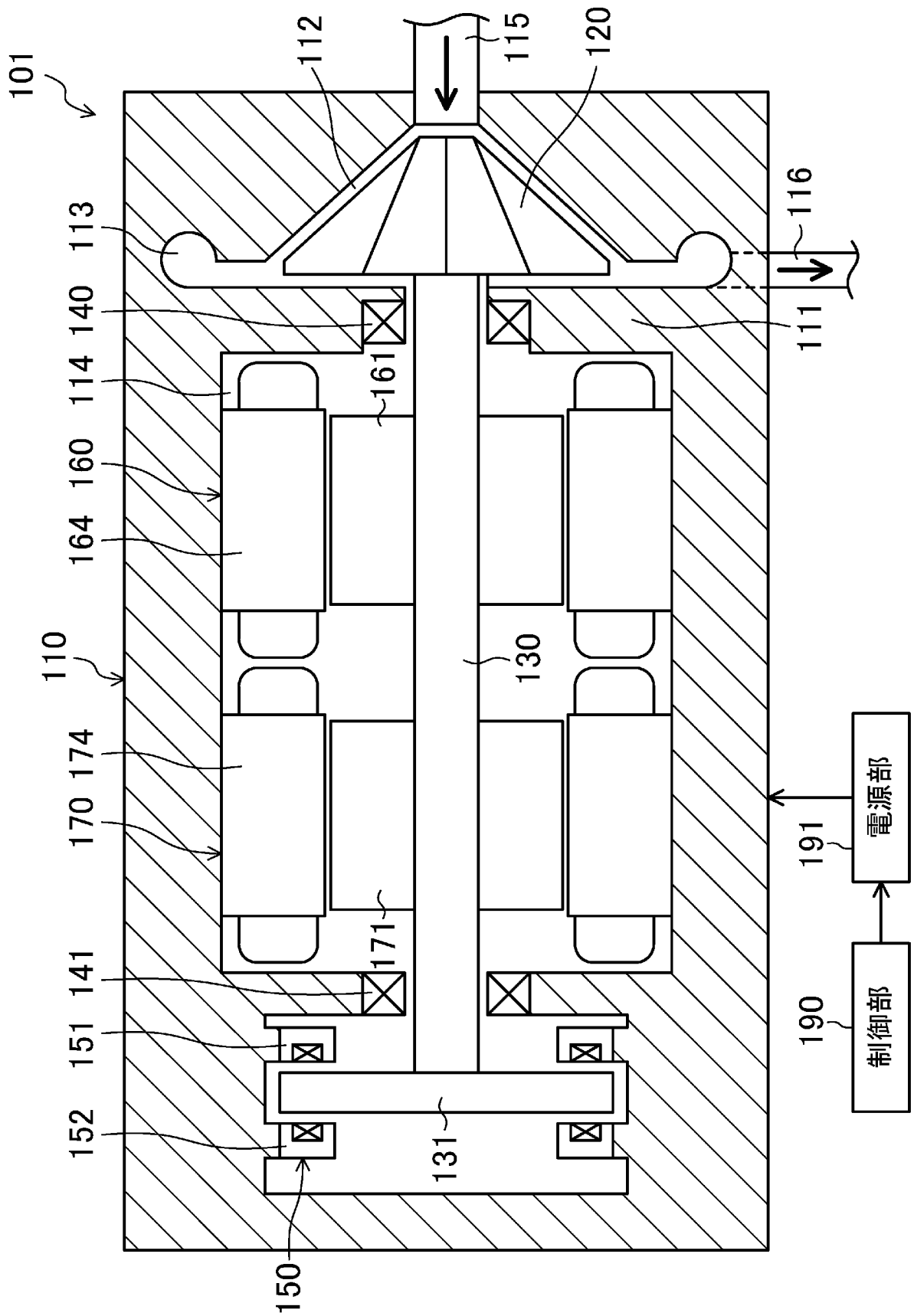
[請求項37] 請求項36において、

上記利用ユニット(921)は、複数台設けられ、

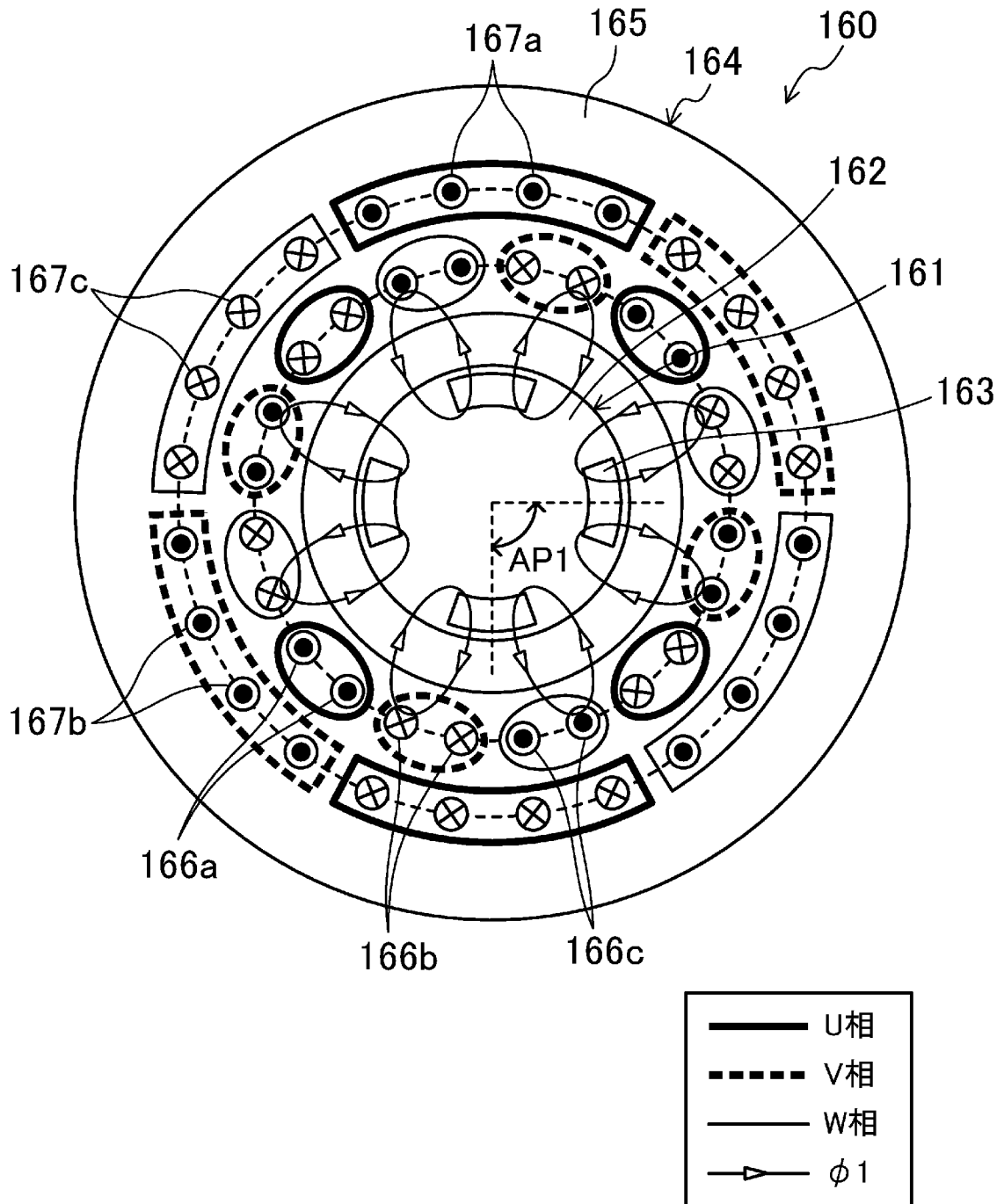
複数台の上記利用ユニット(921)は、複数の空調対象空間の空気調和を行う

ことを特徴とする冷凍装置。

[図1]

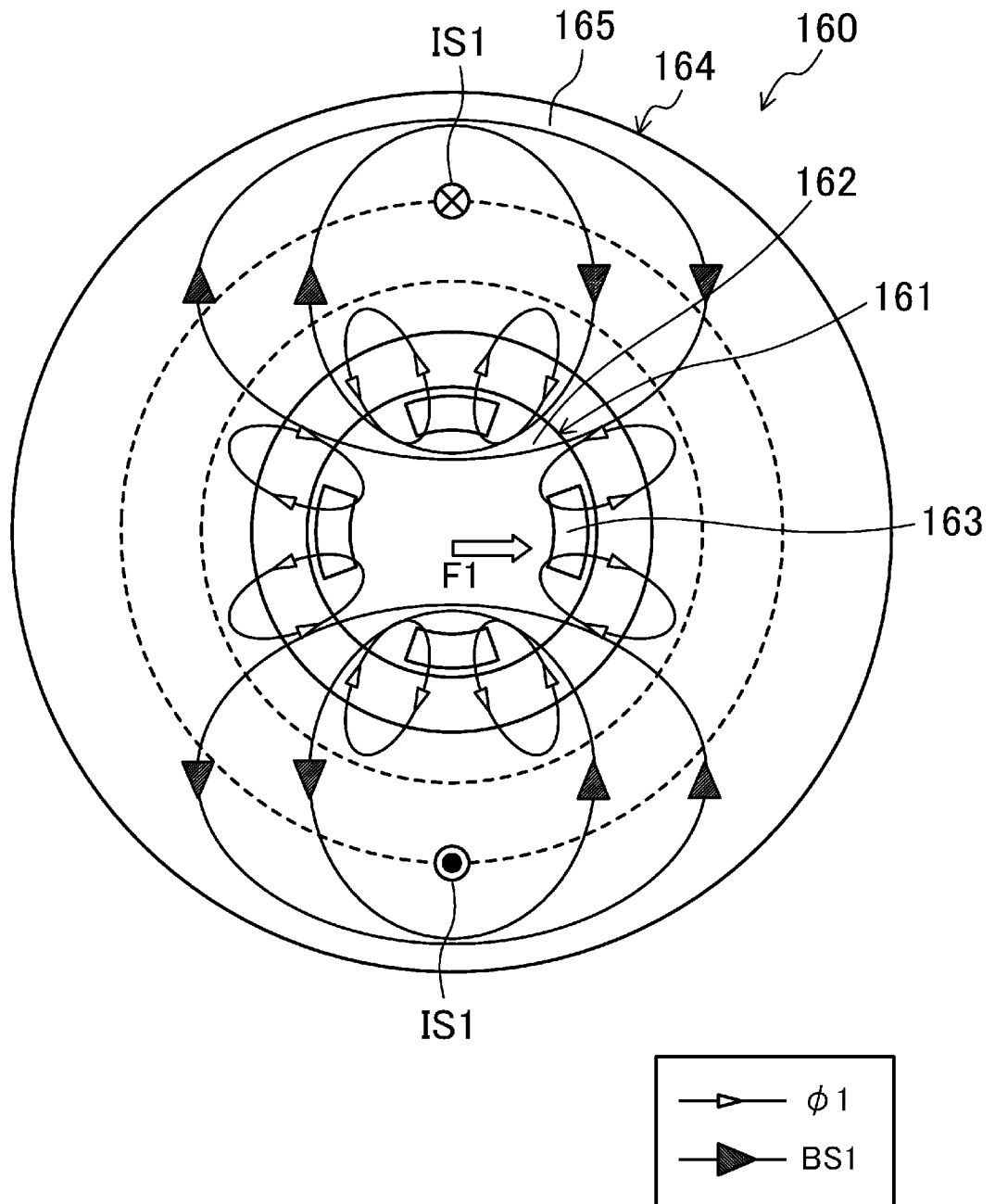


[図2]

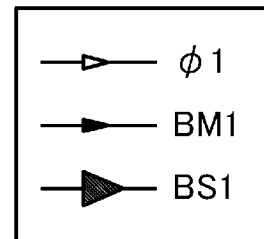
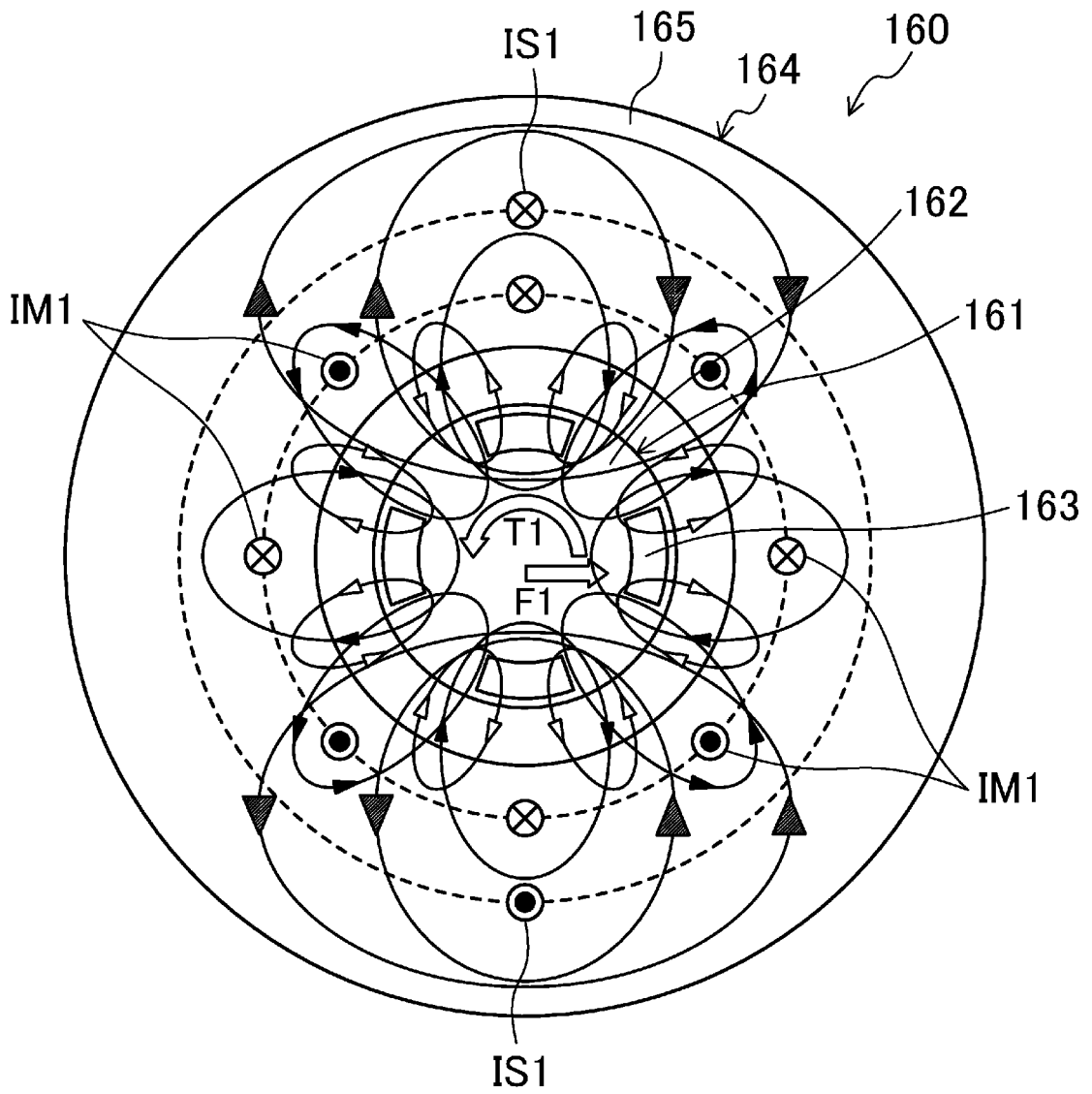




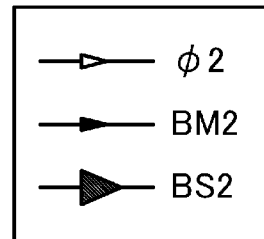
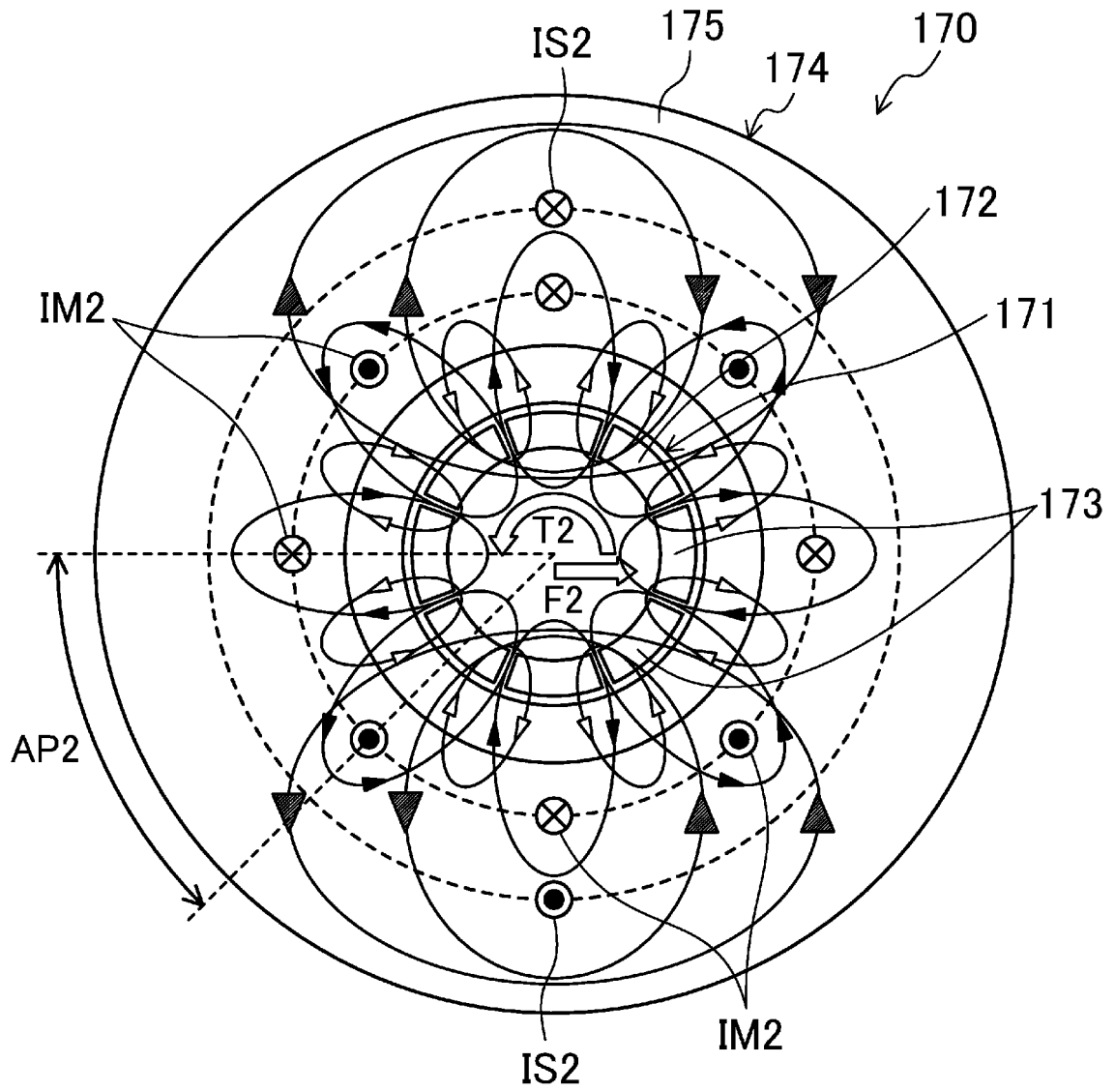
[図4]



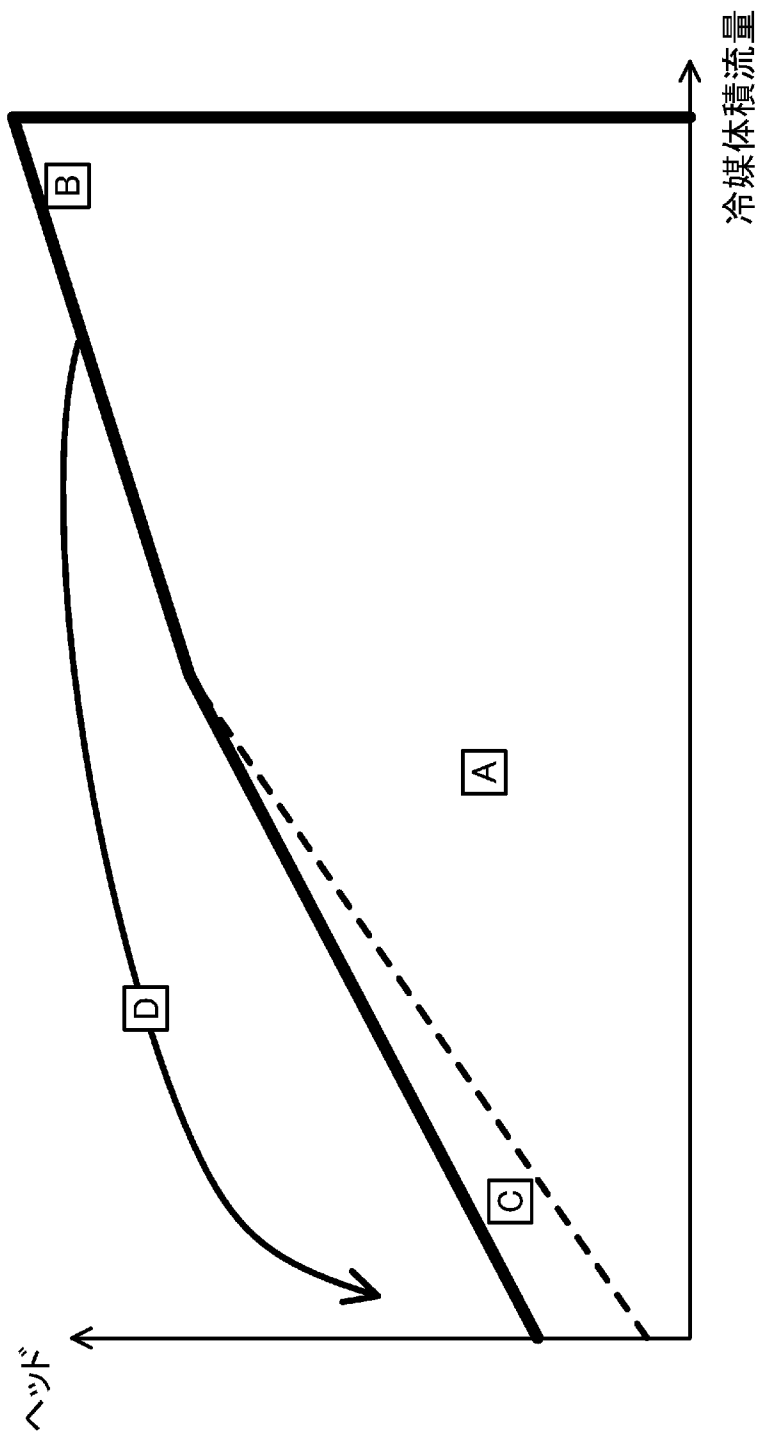
[図5]



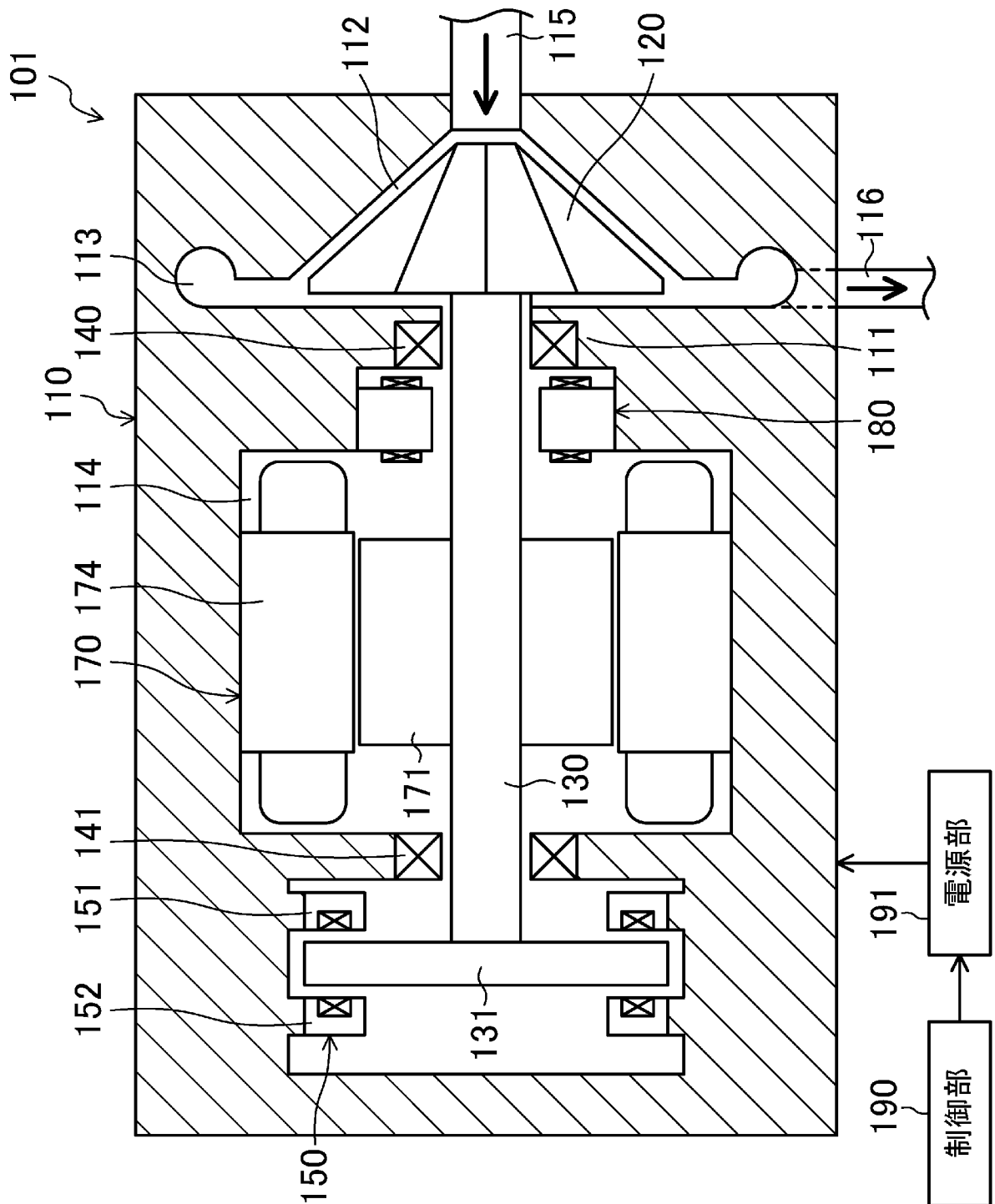
[図6]



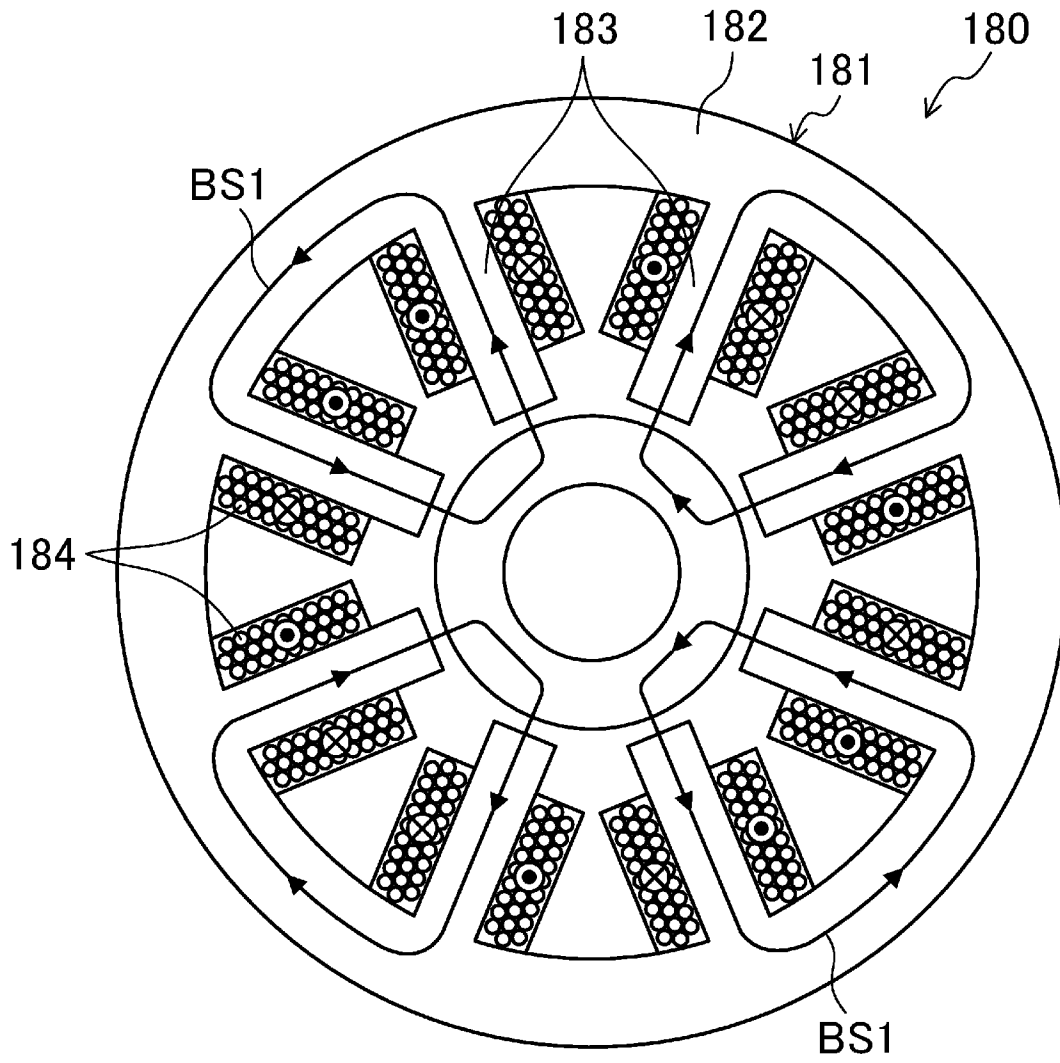
[図7]



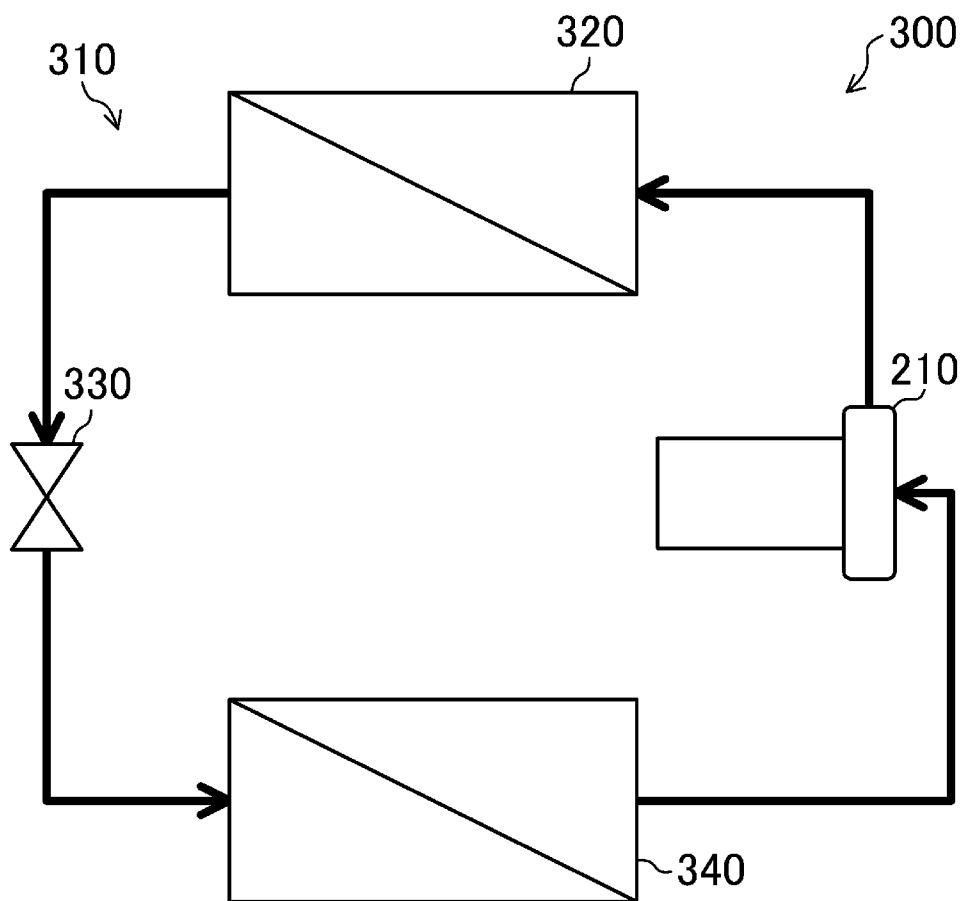
[図8]



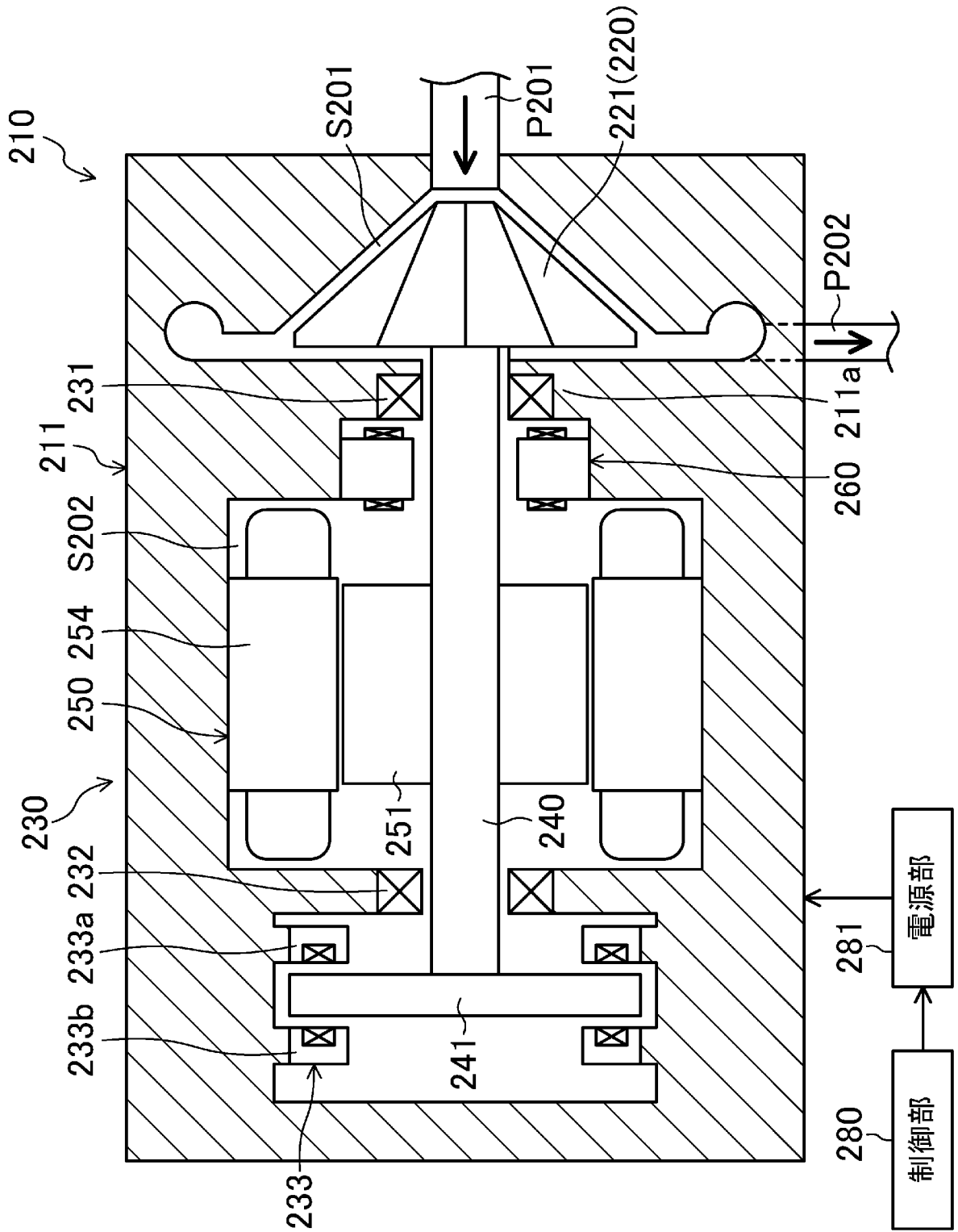
[図9]



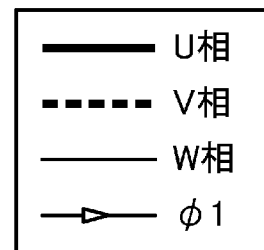
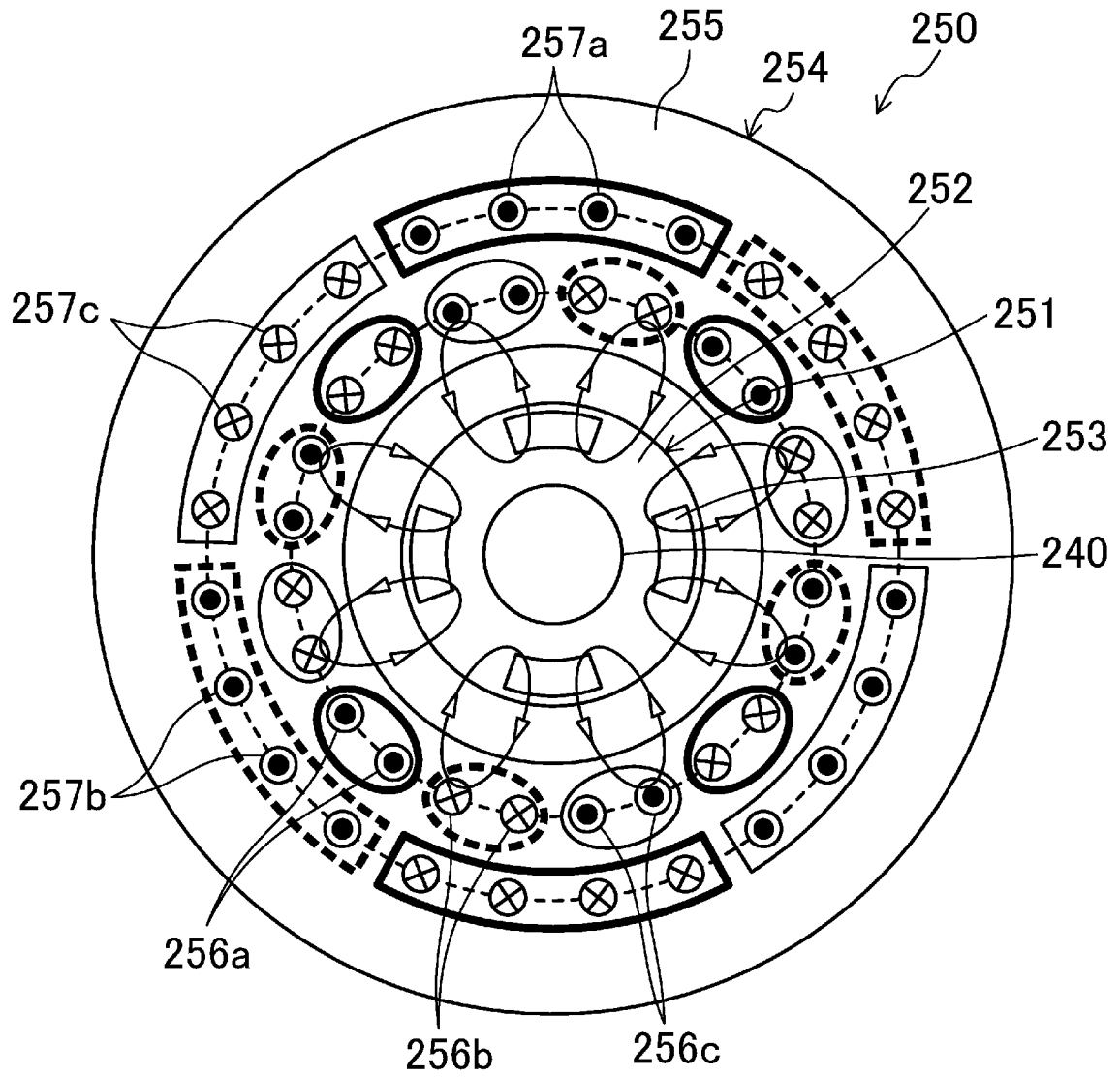
[図10]



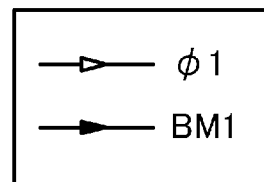
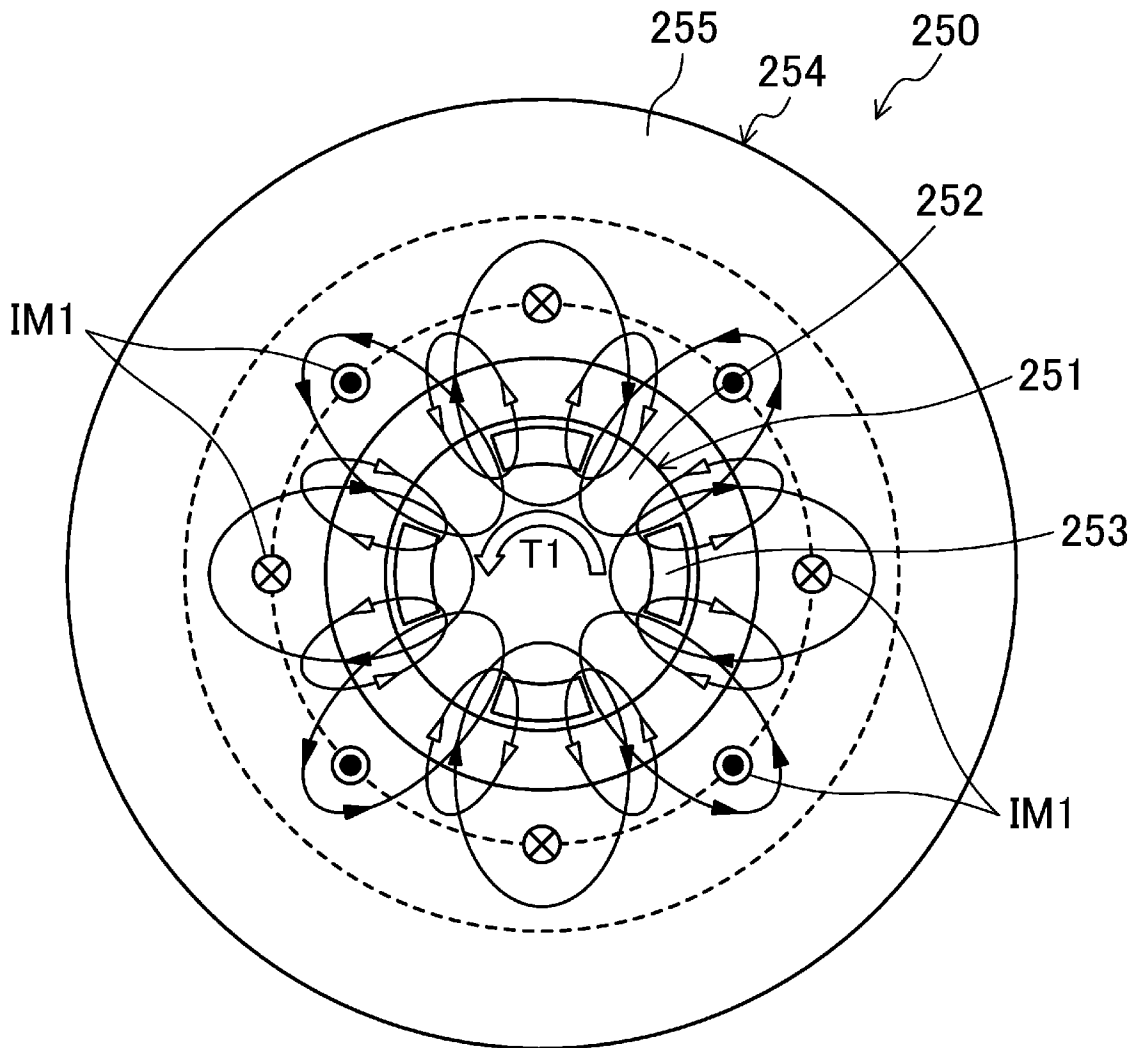
[図11]



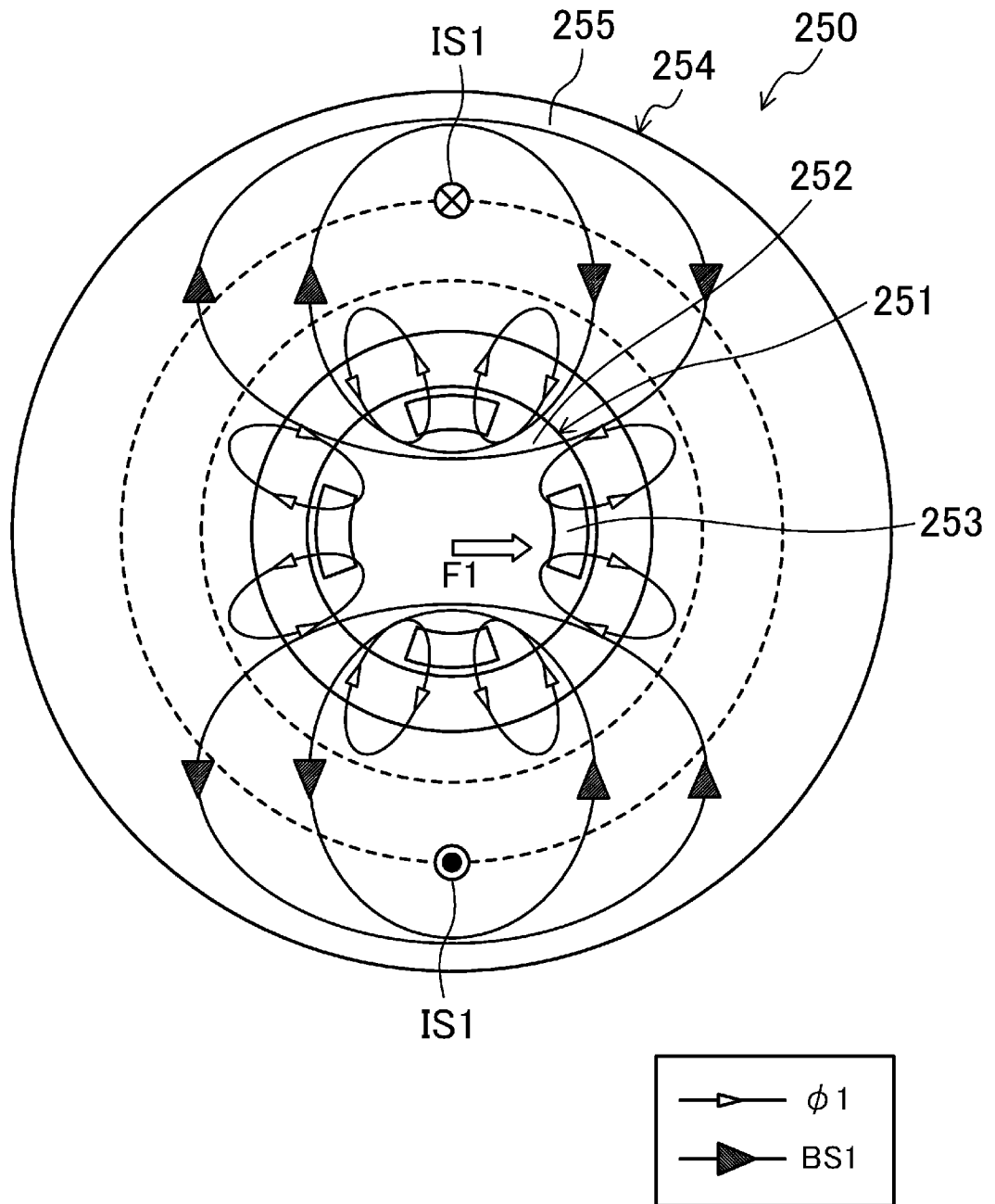
[図12]



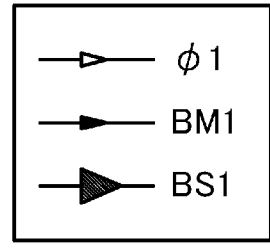
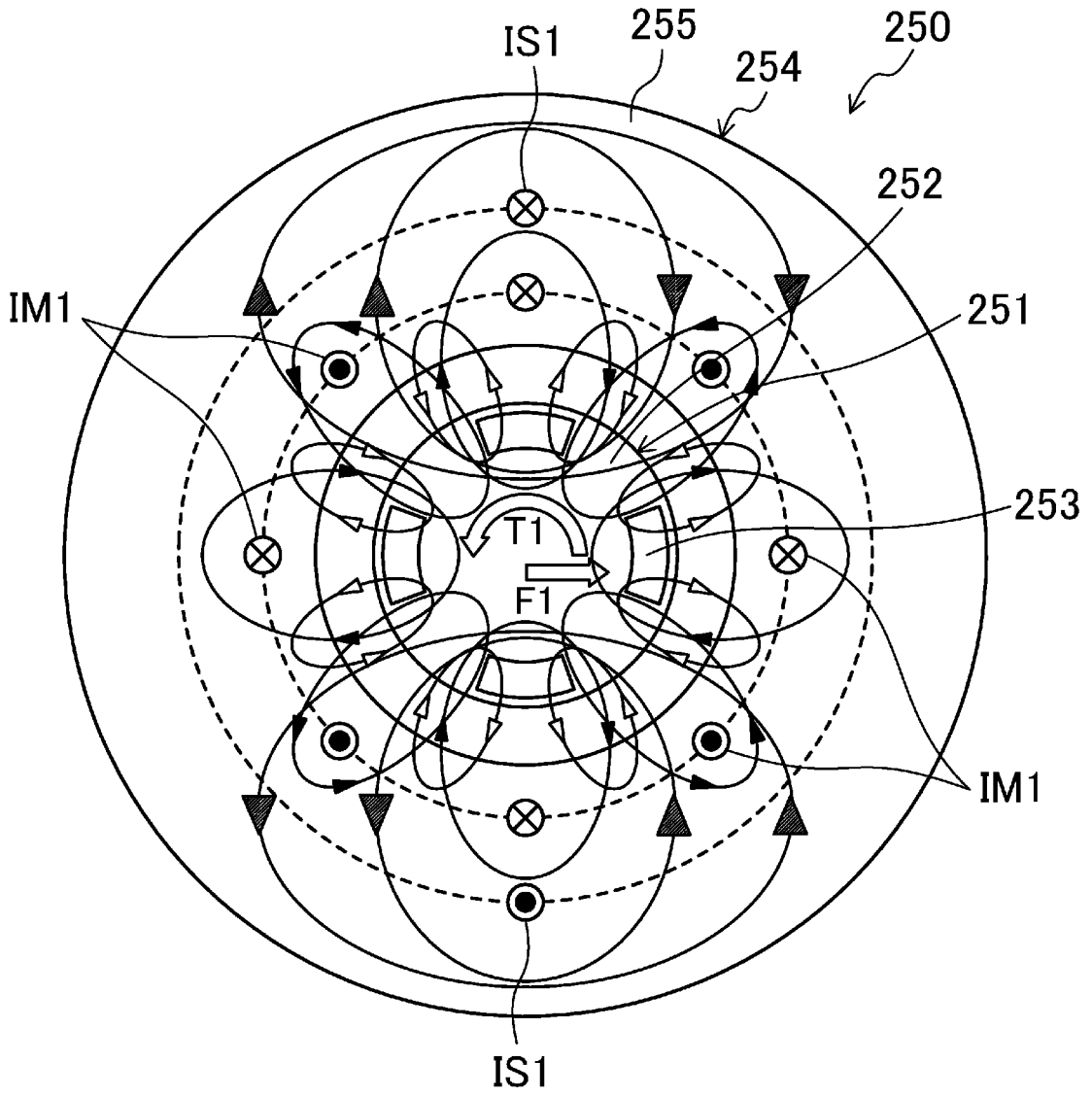
[図13]



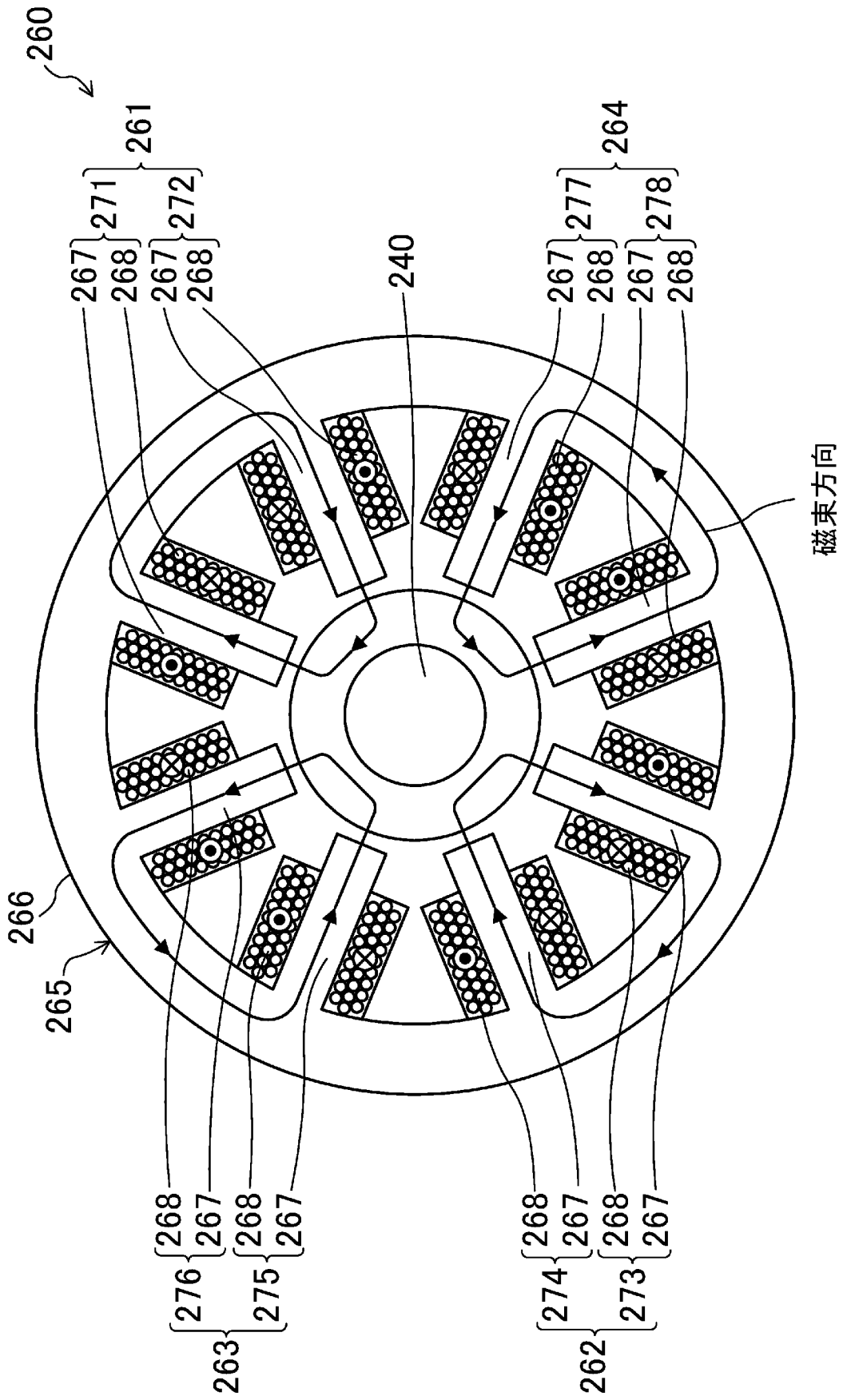
[図14]



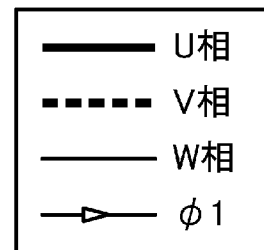
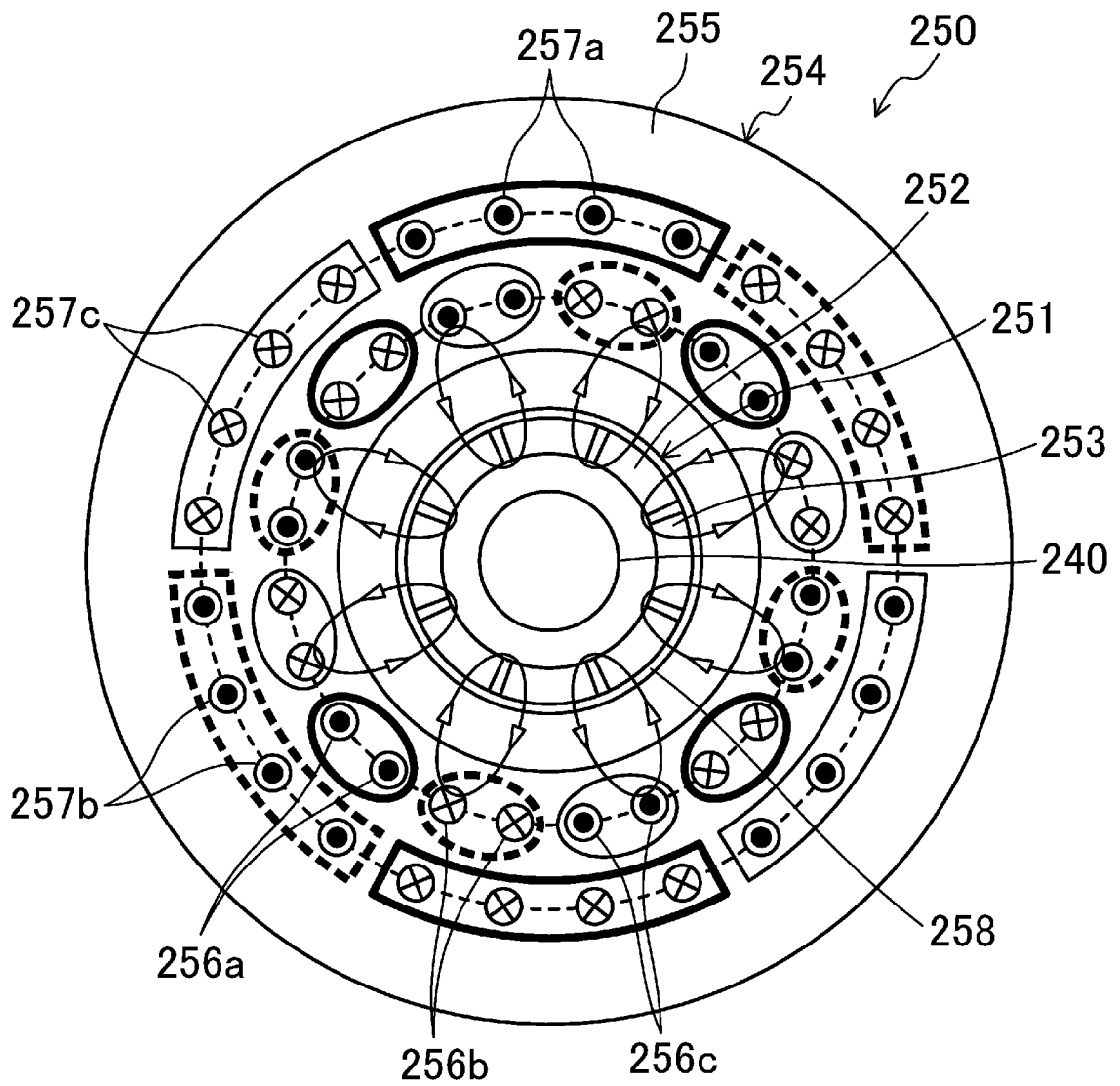
[図15]



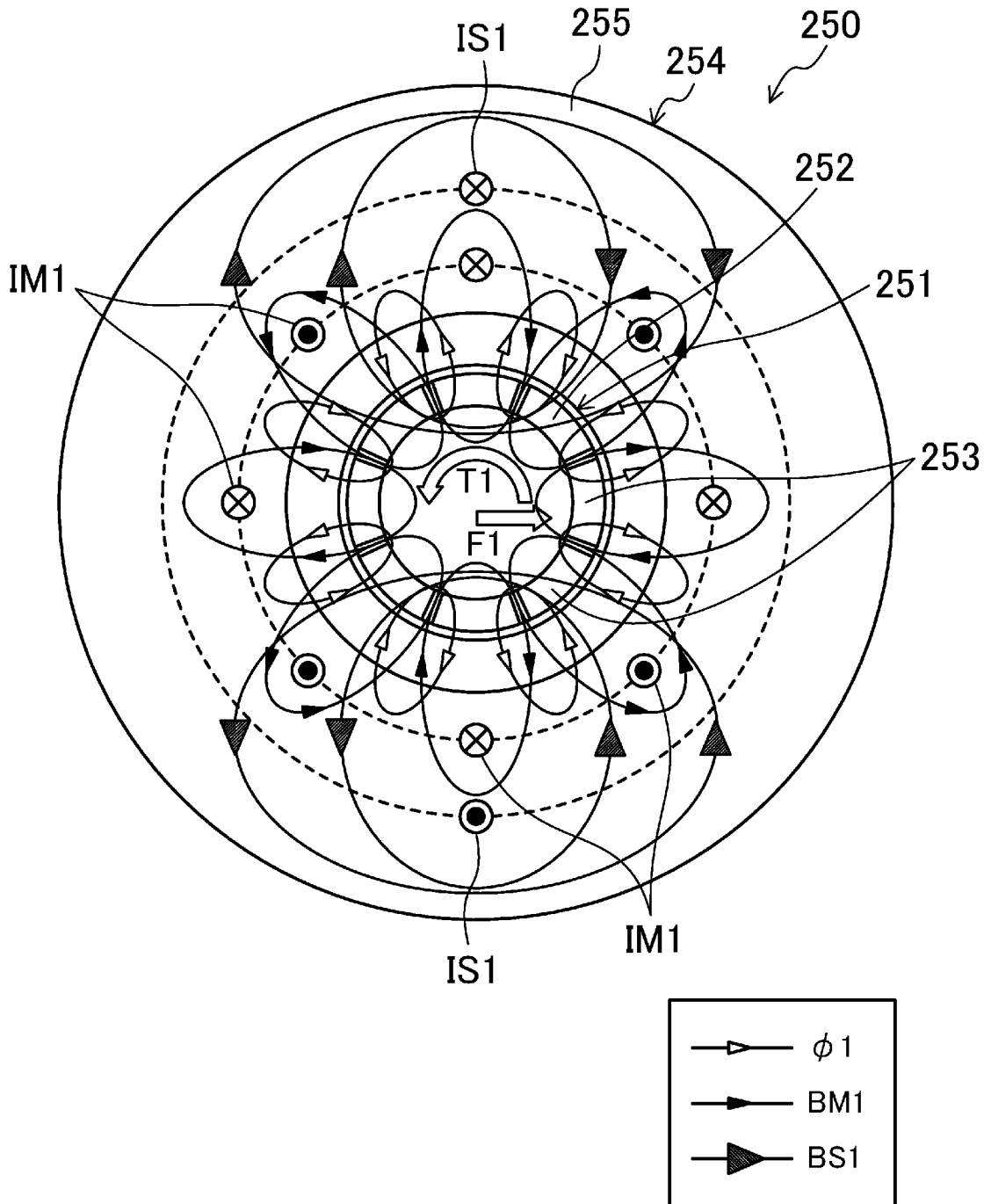
[圖16]



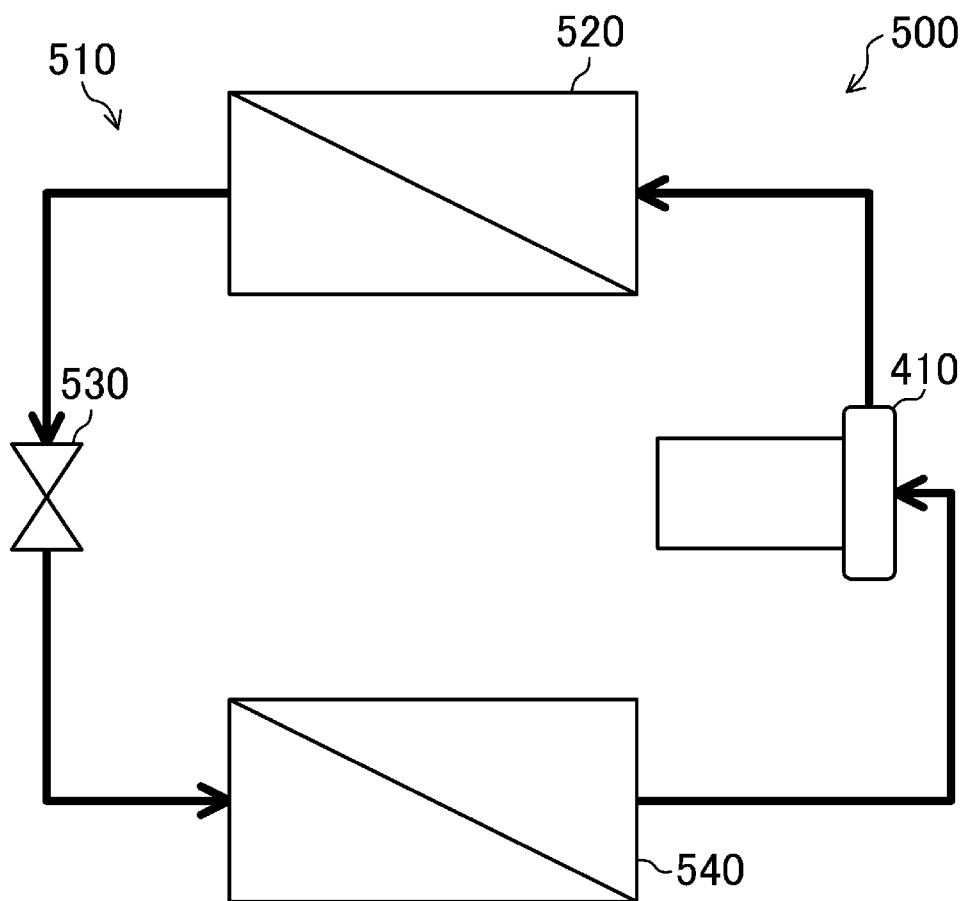
[図17]



[図18]

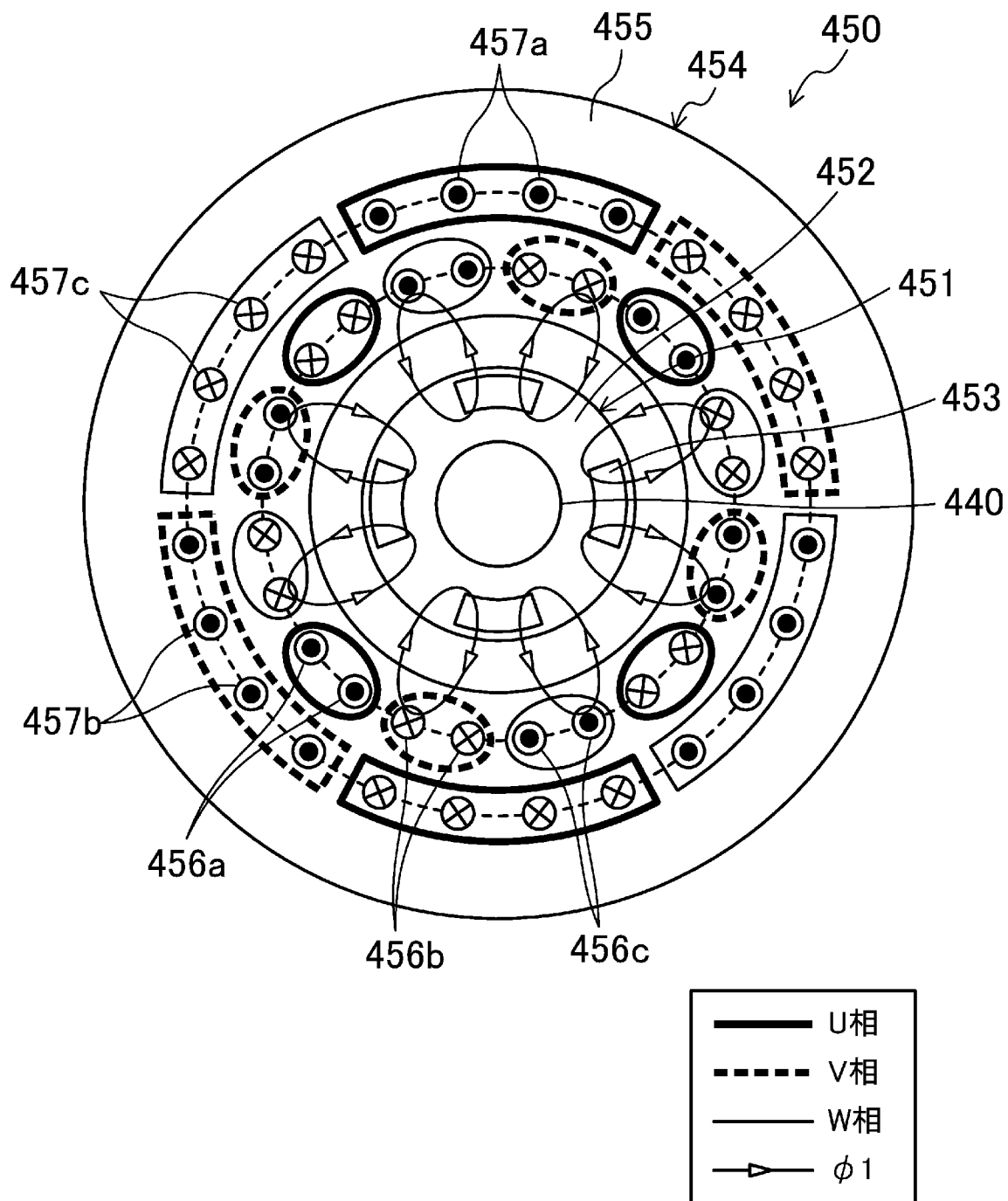


[図19]

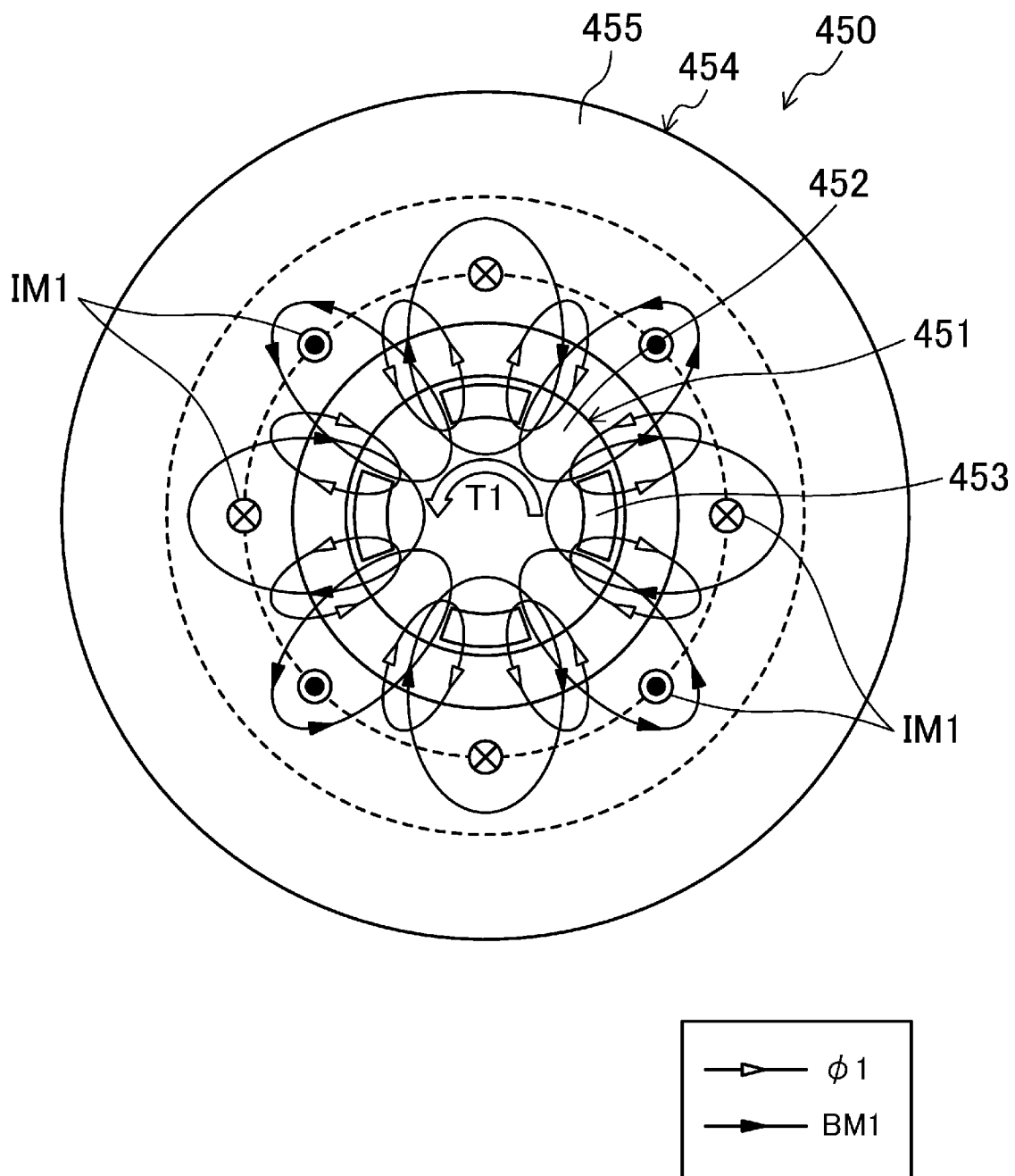




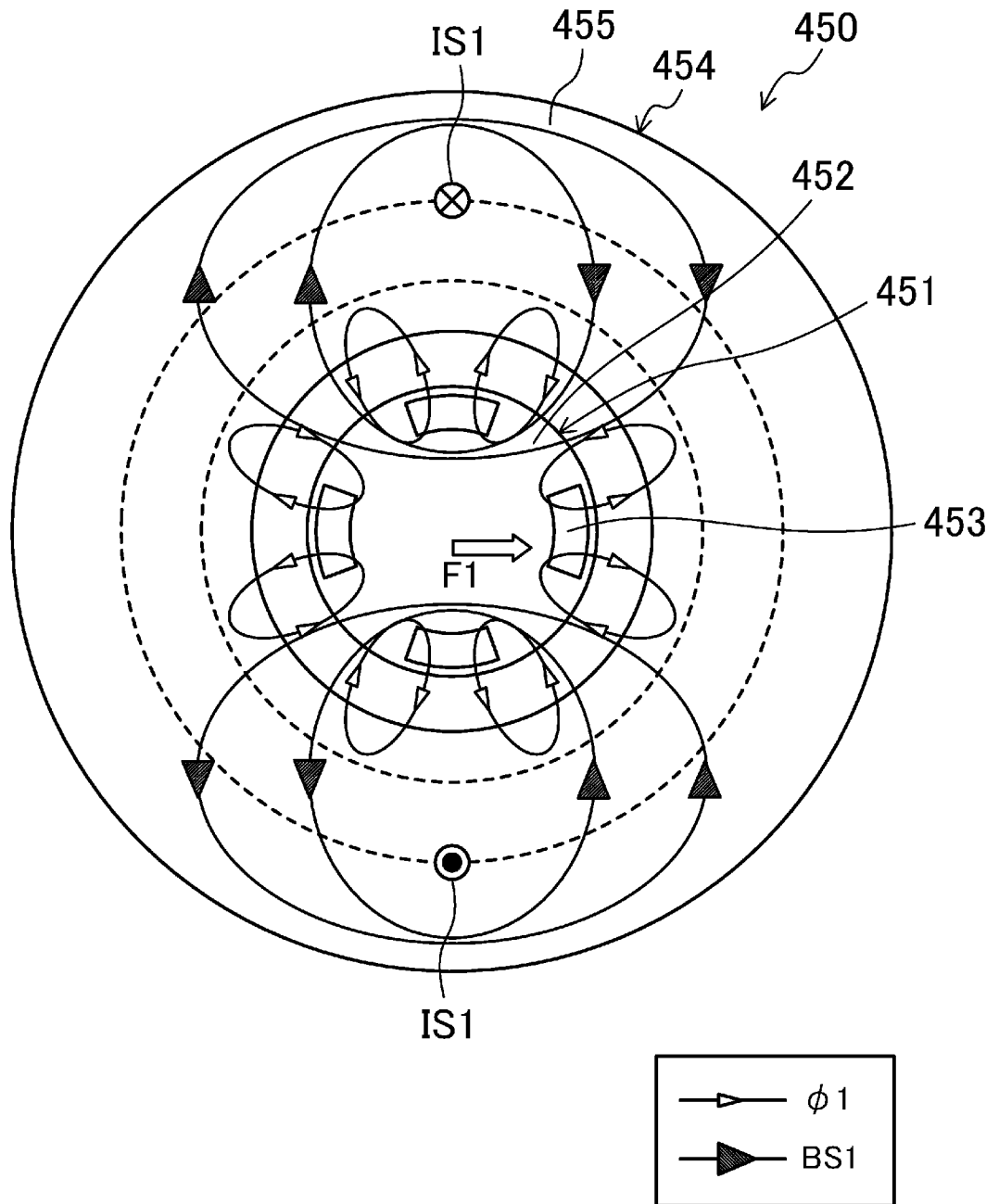
[図21]



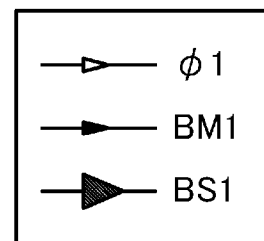
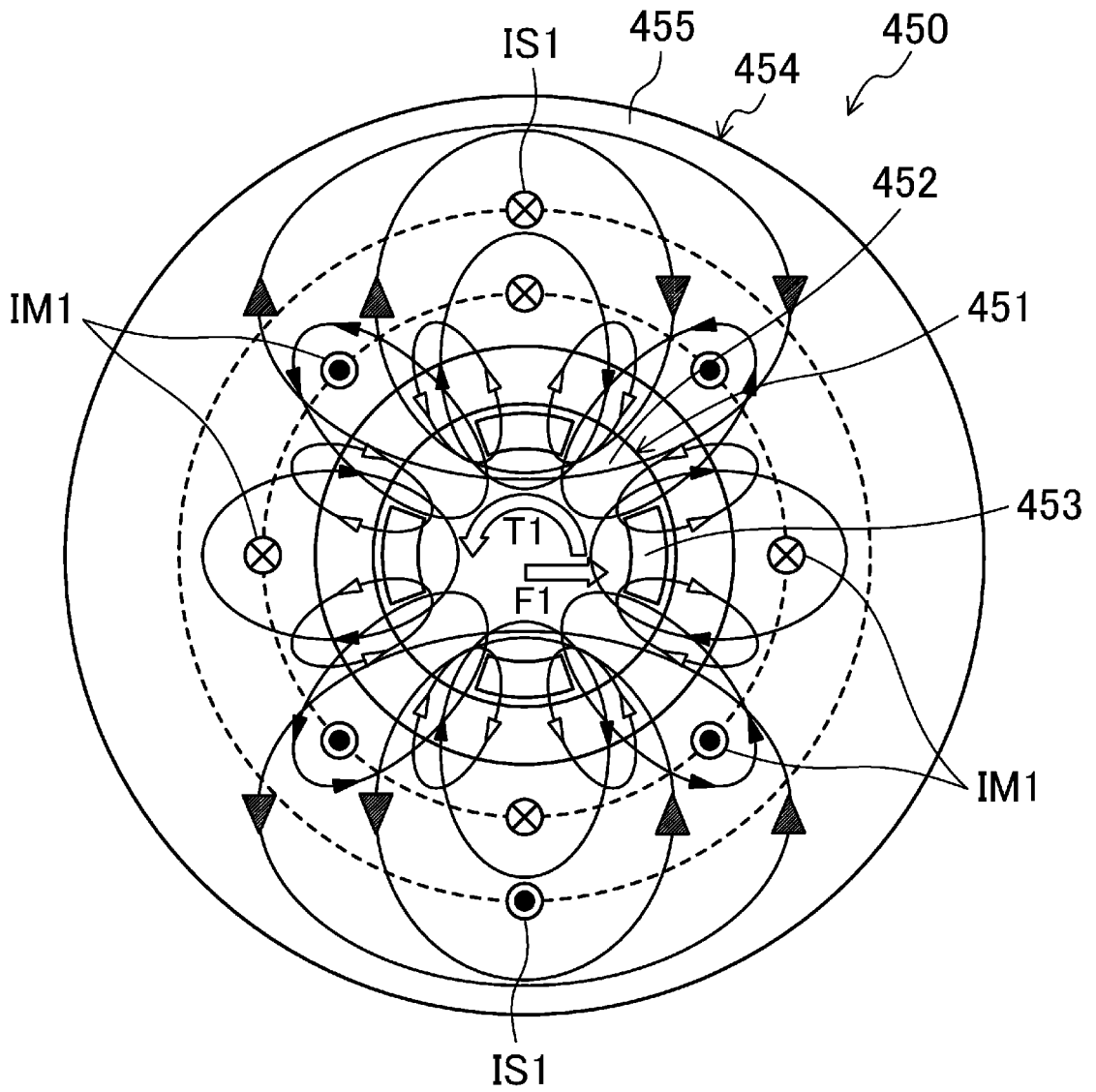
[図22]



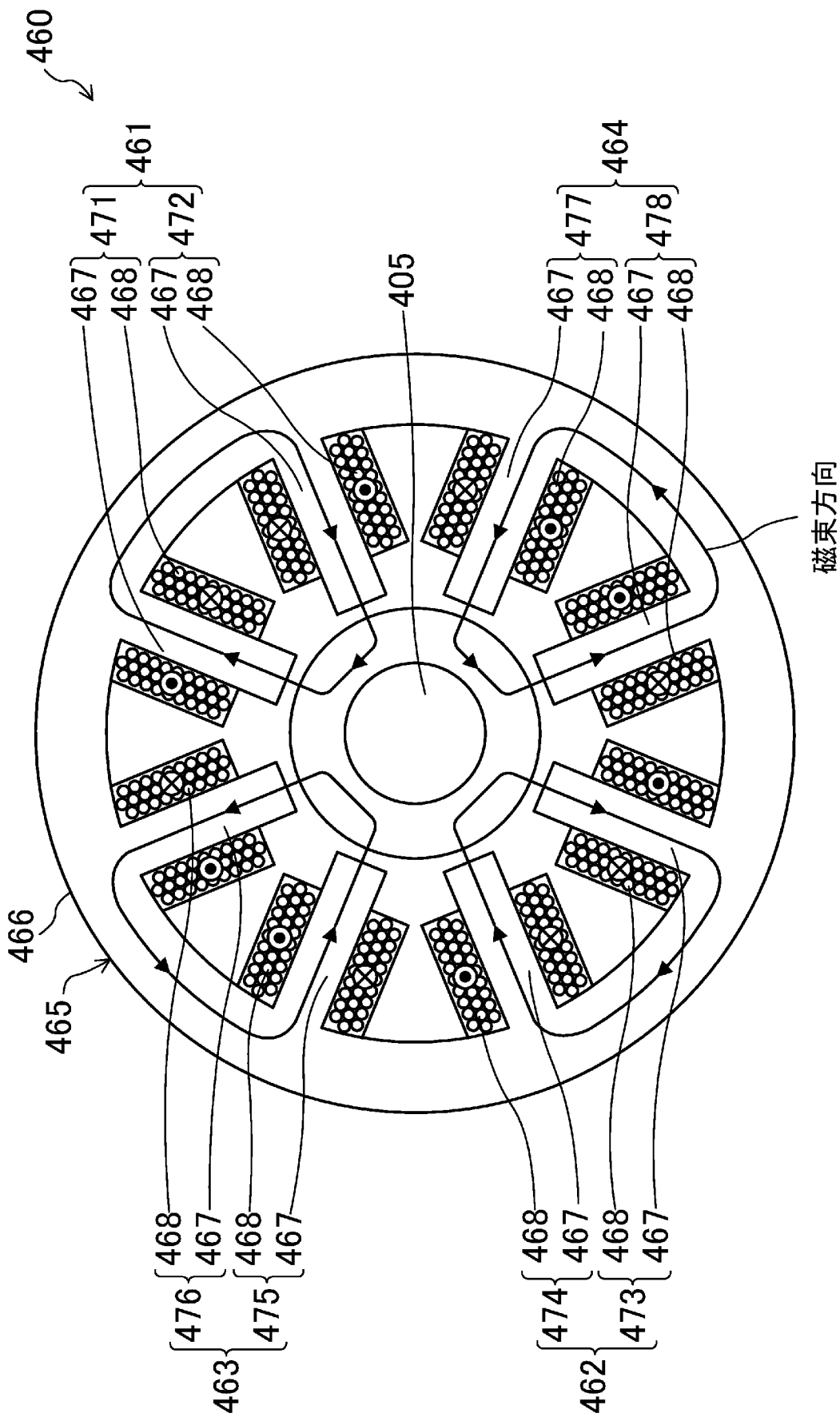
[図23]



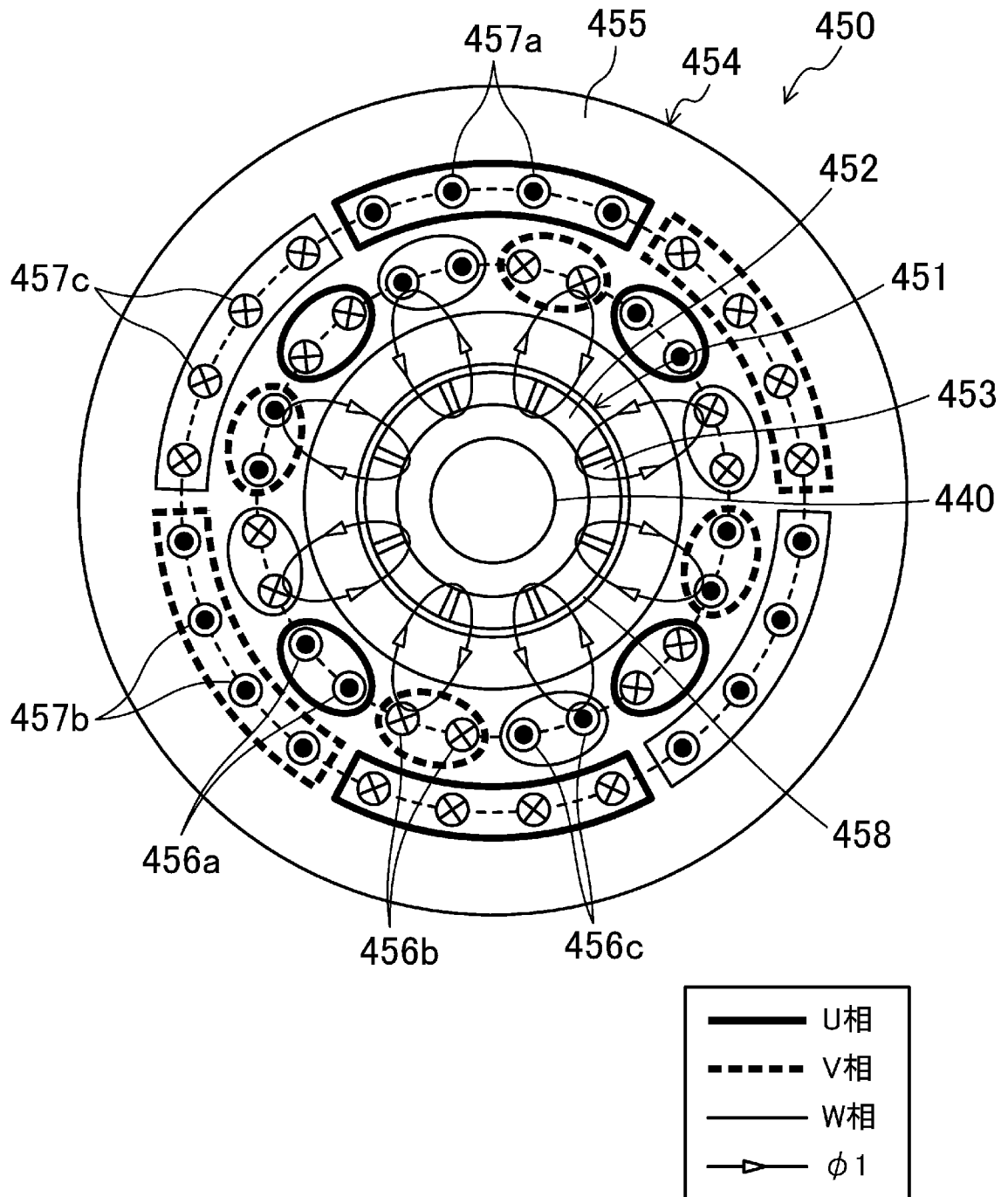
[図24]



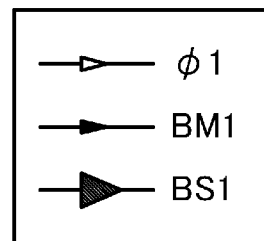
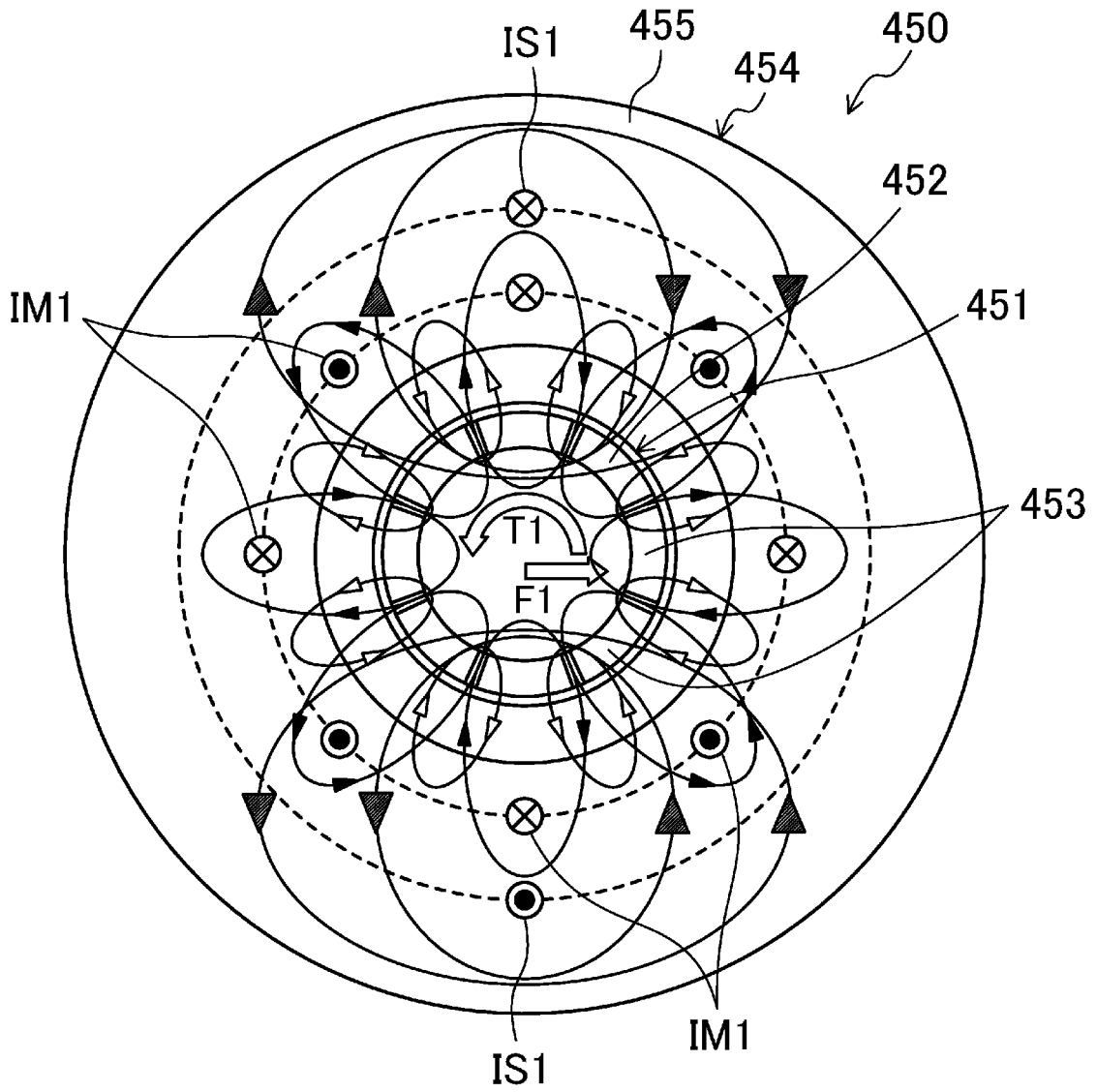
[圖25]



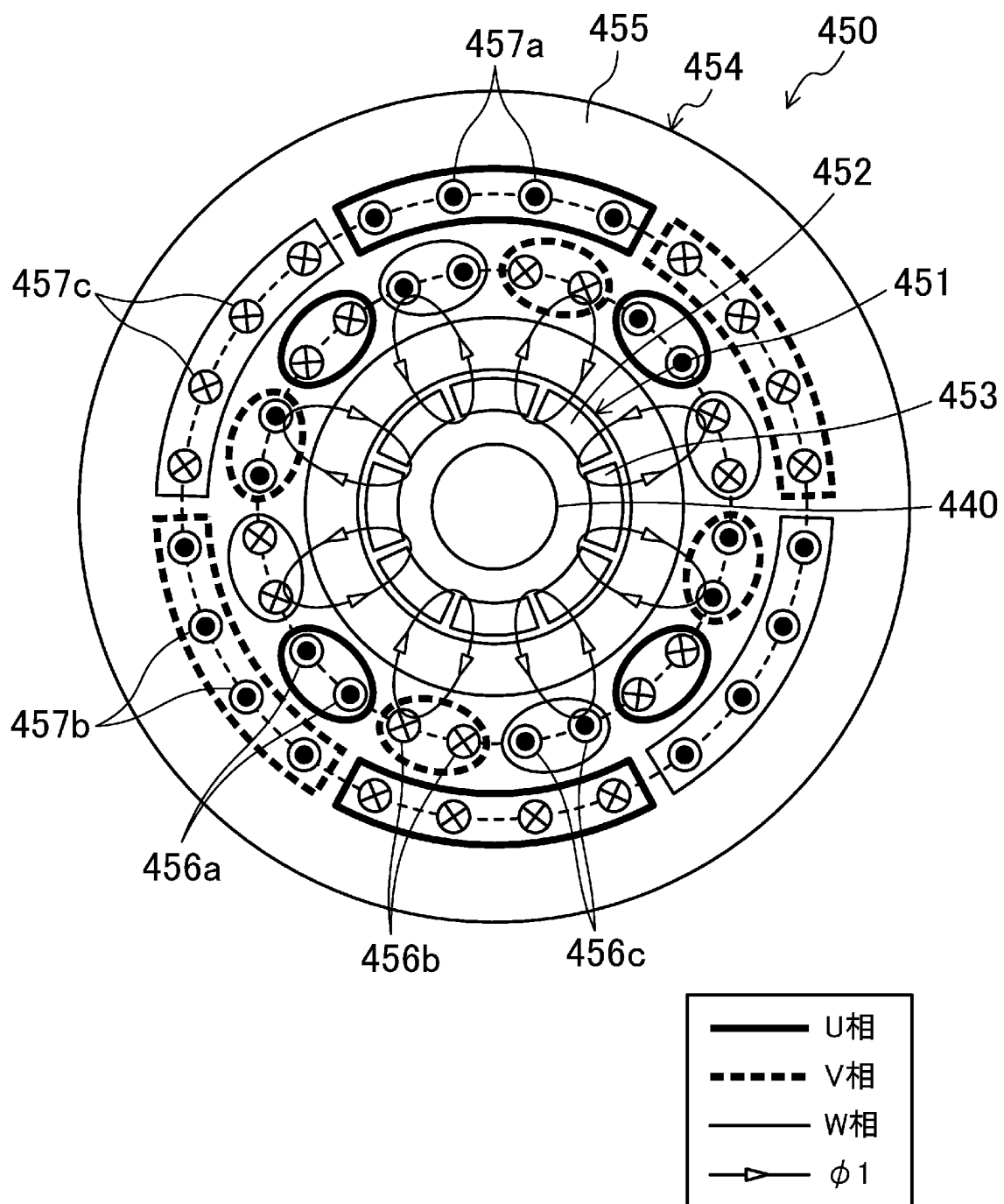
[図26]



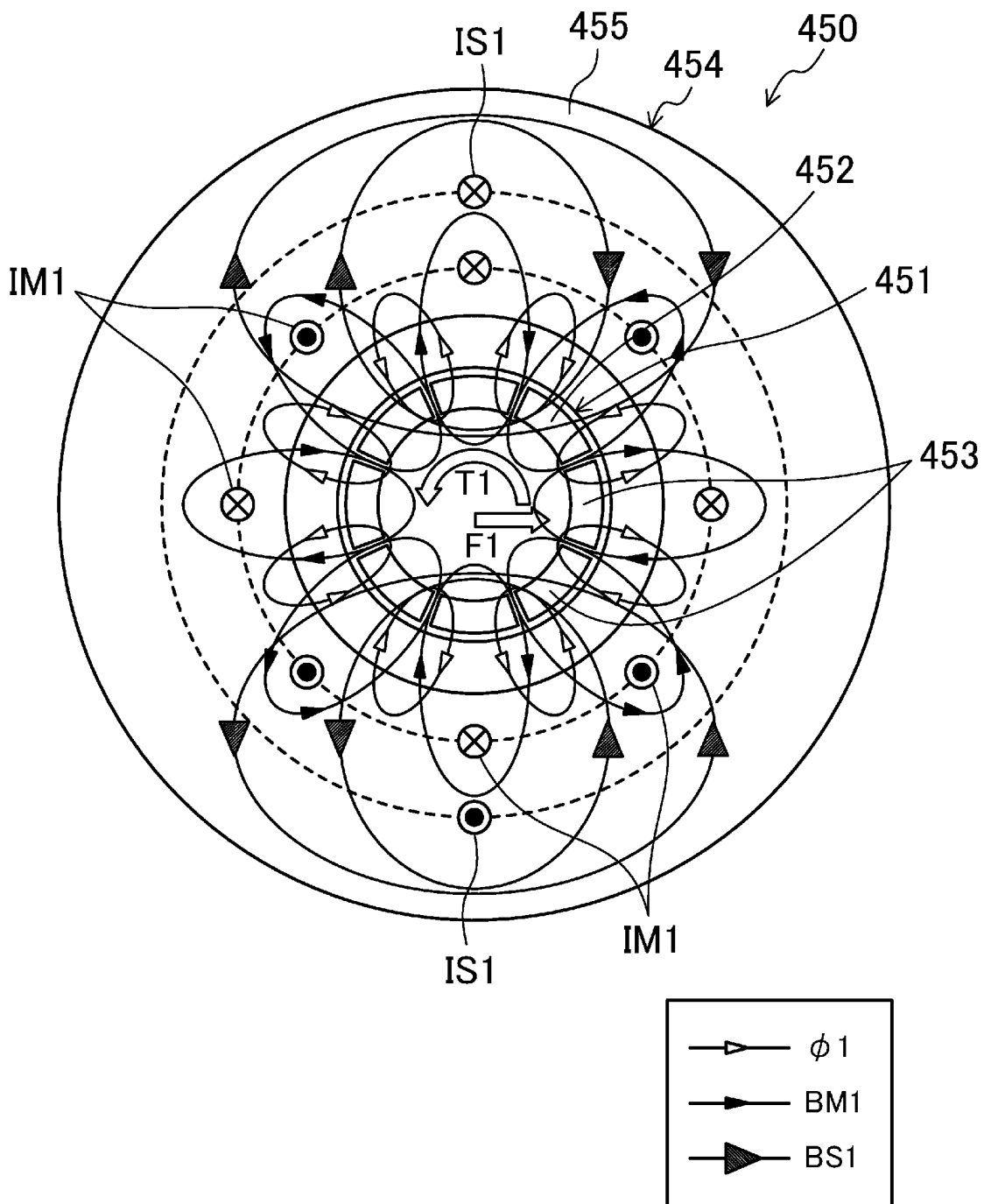
[図27]



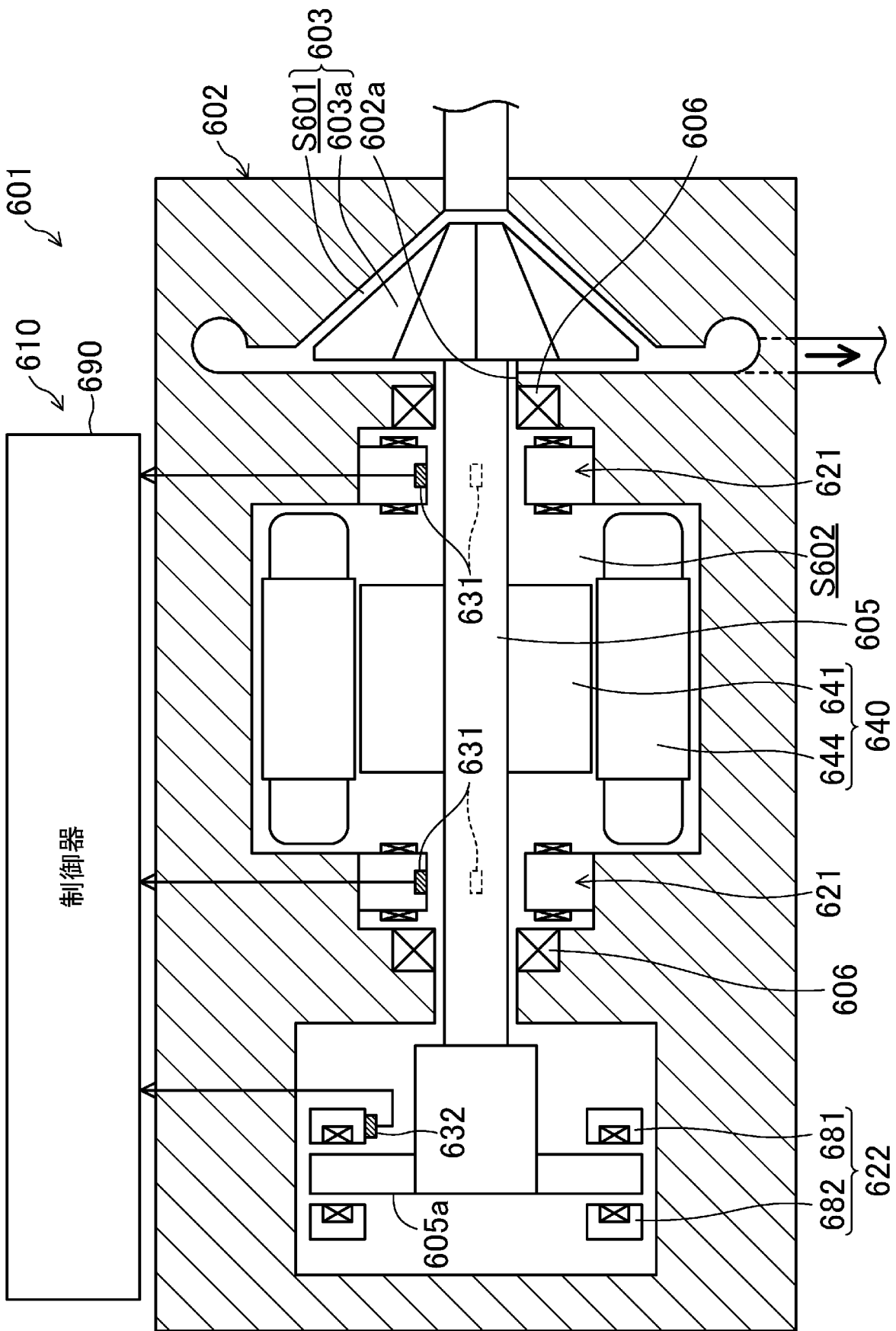
[図28]



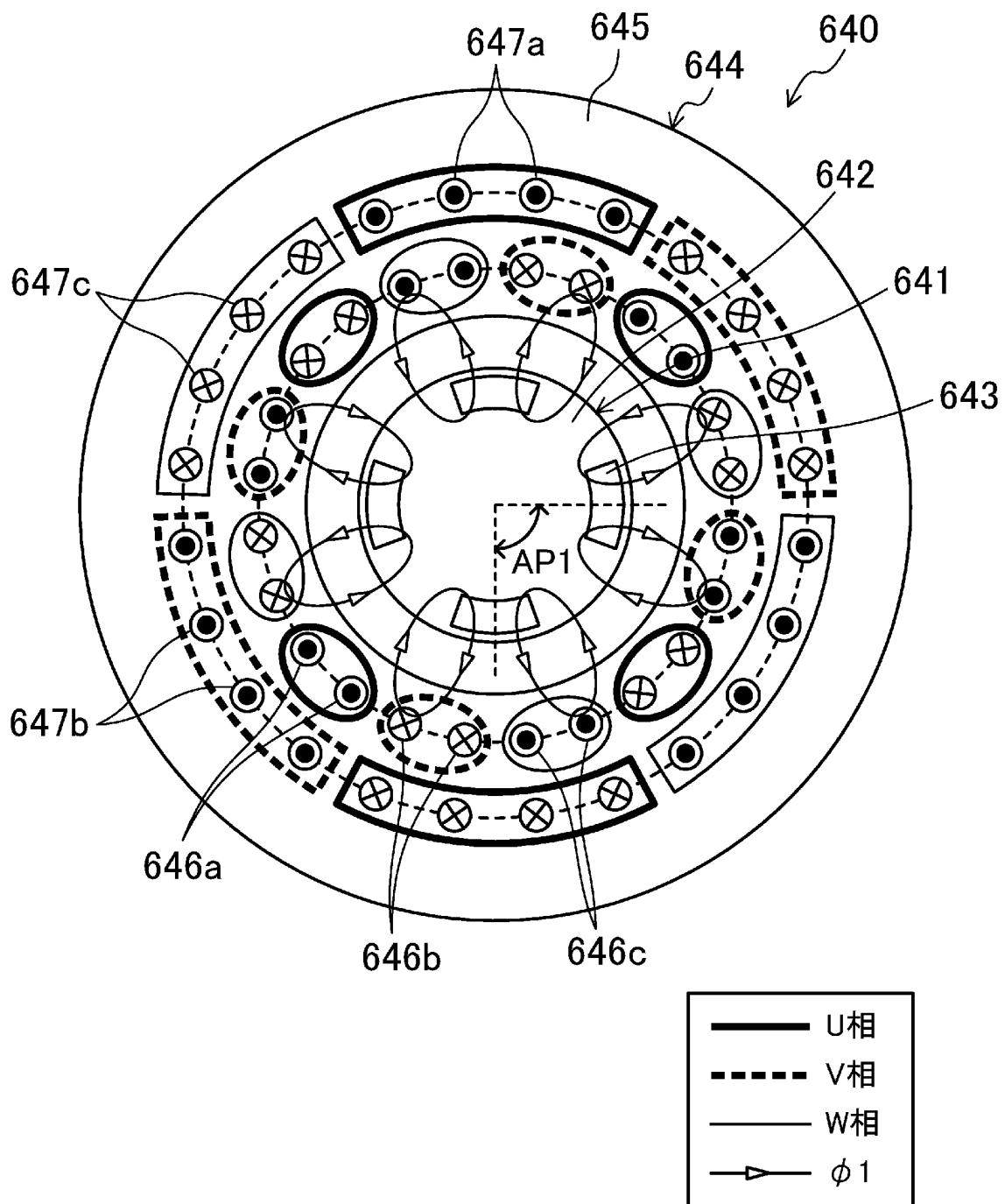
[図29]



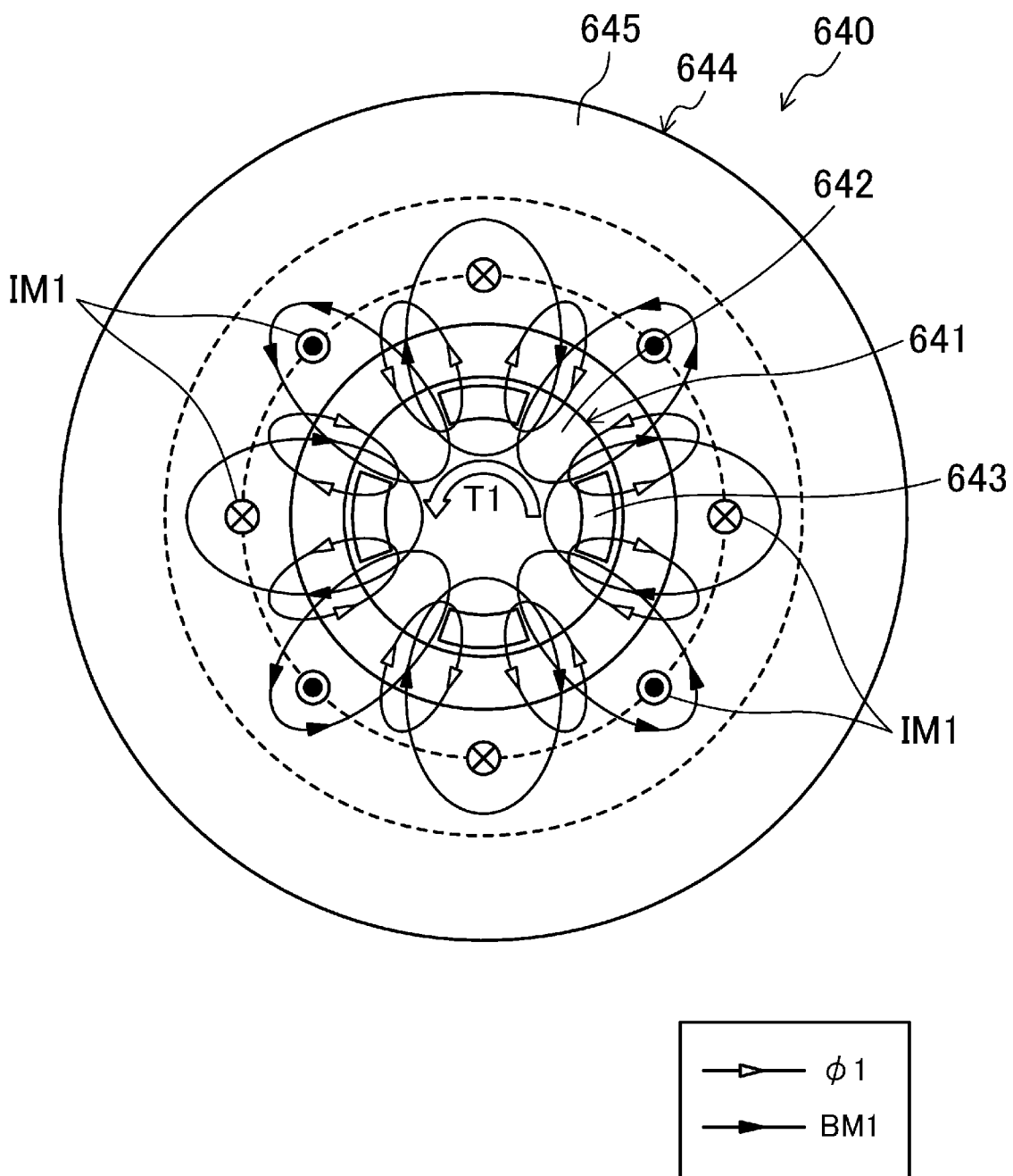
[図30]



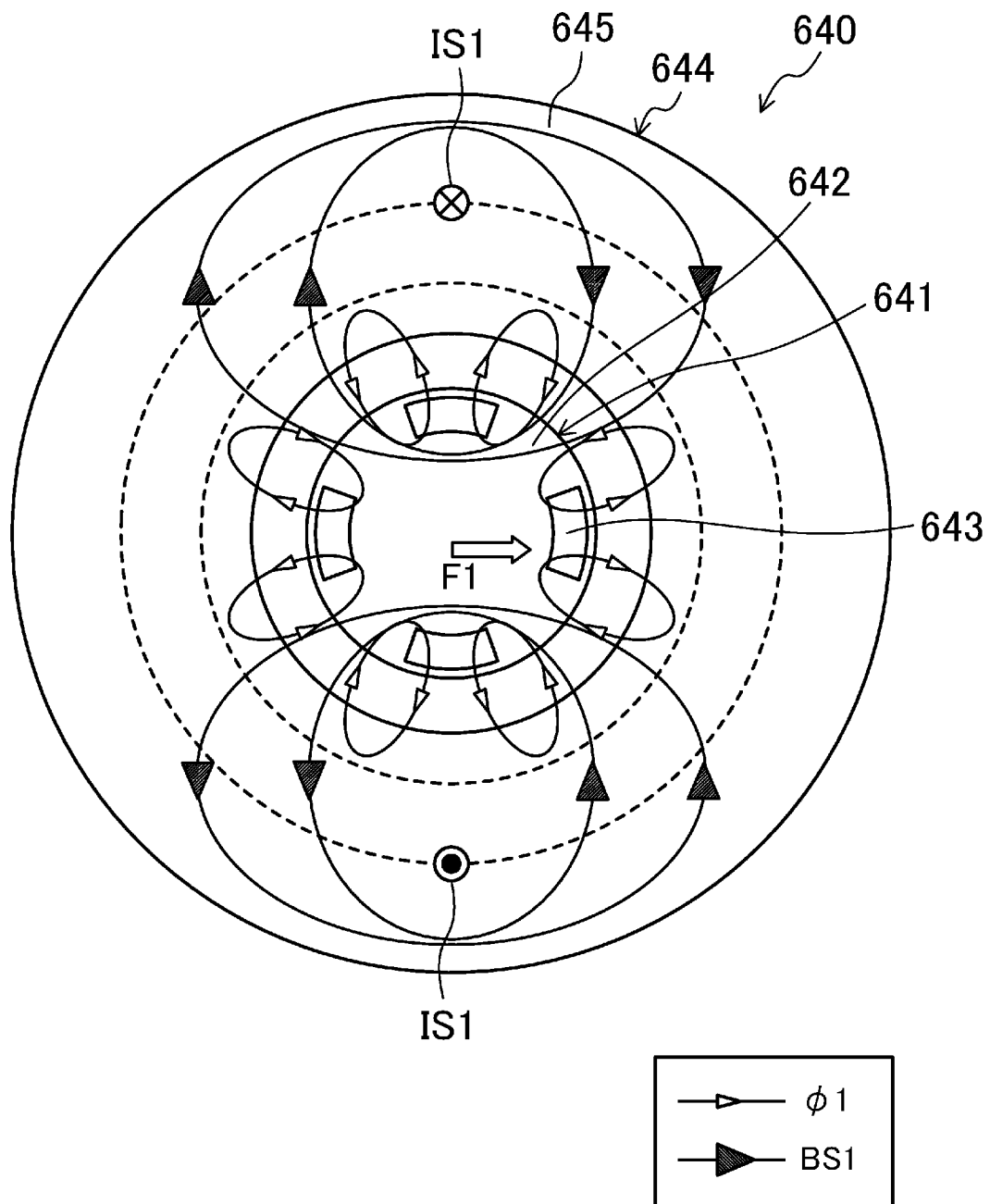
[図31]



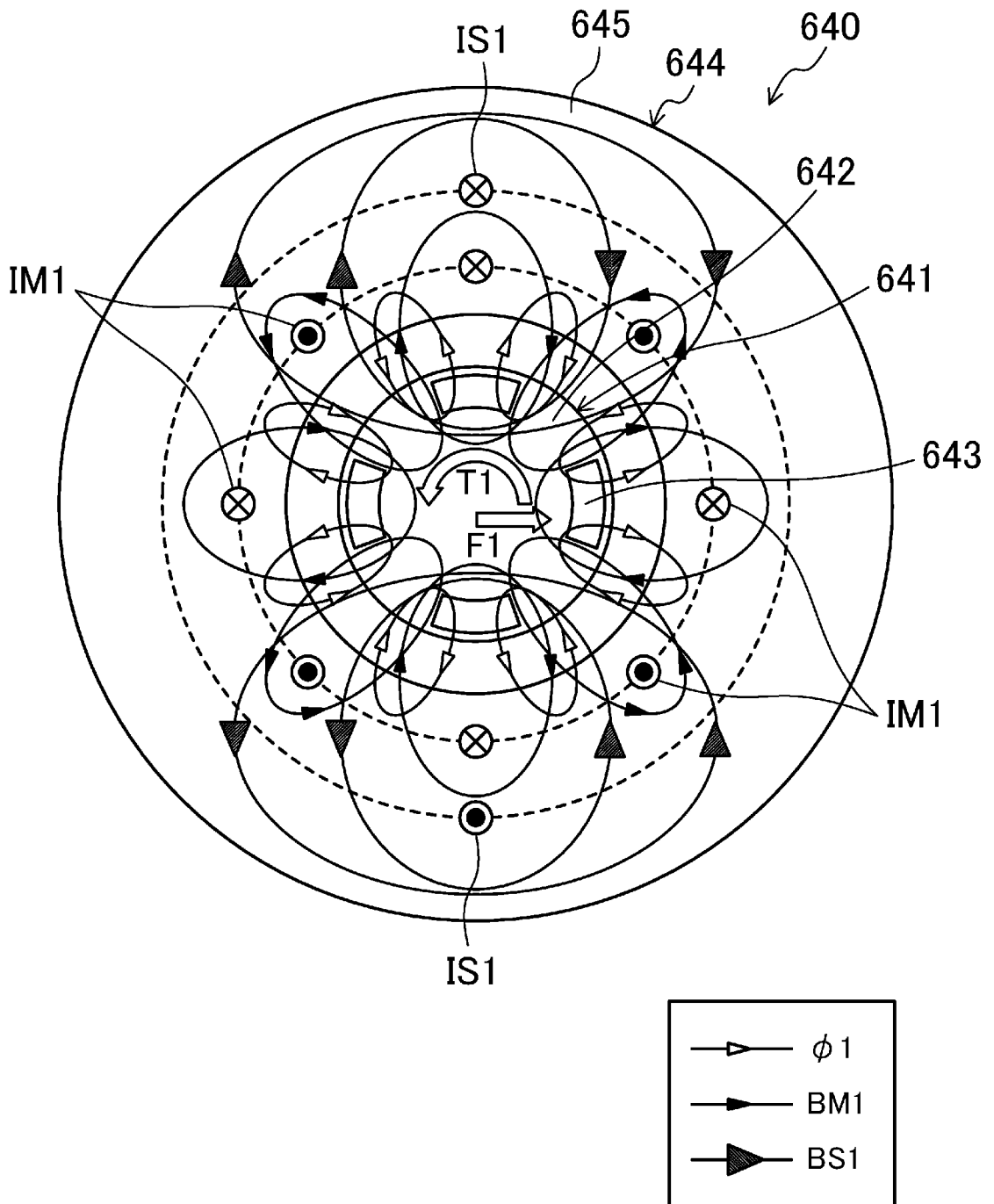
[図32]



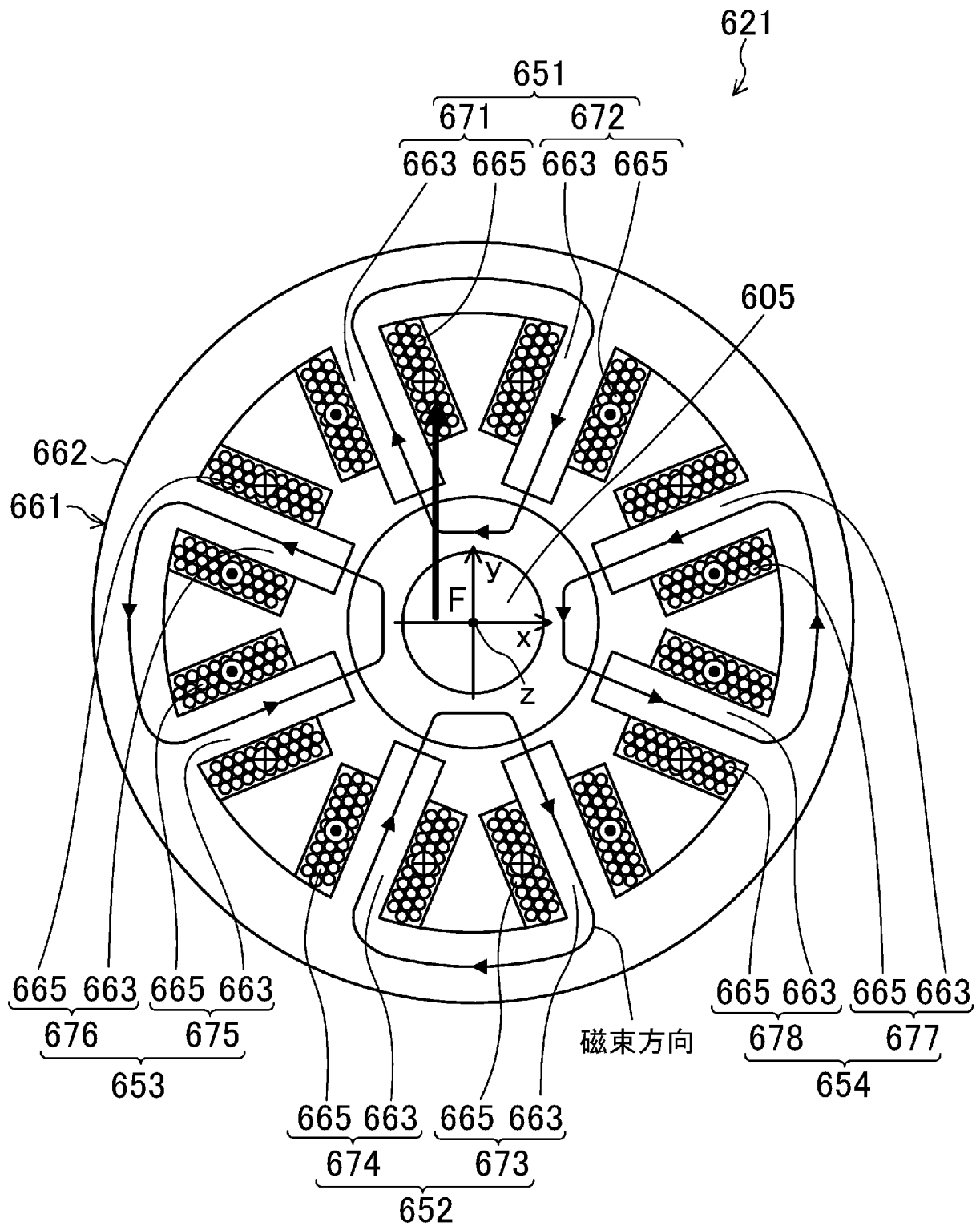
[図33]



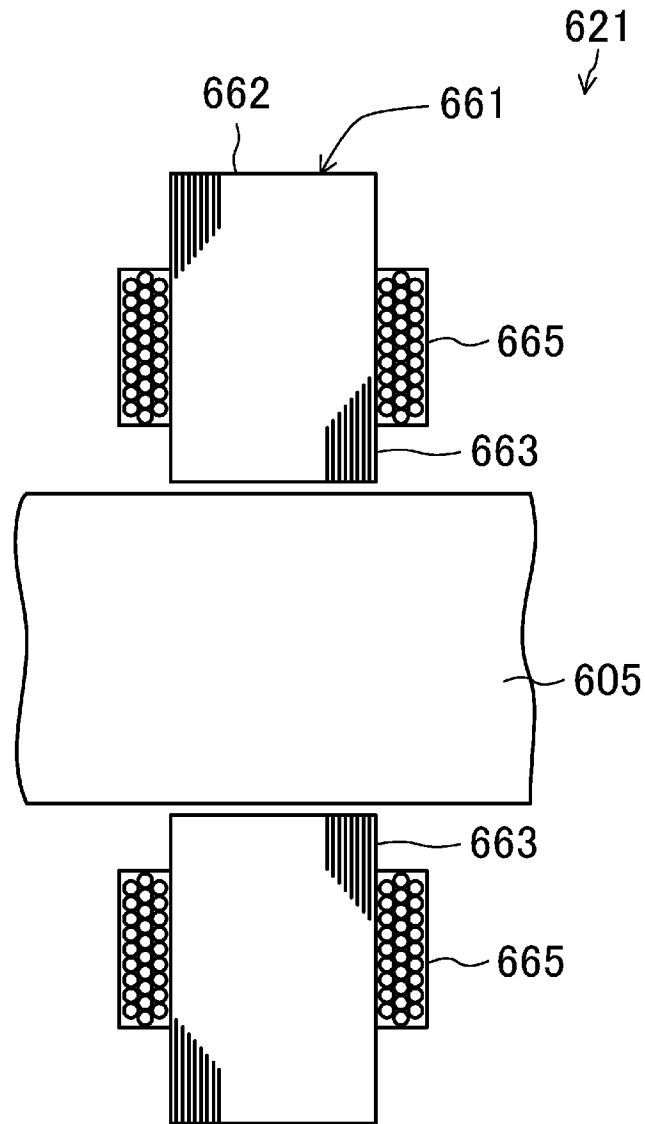
[図34]



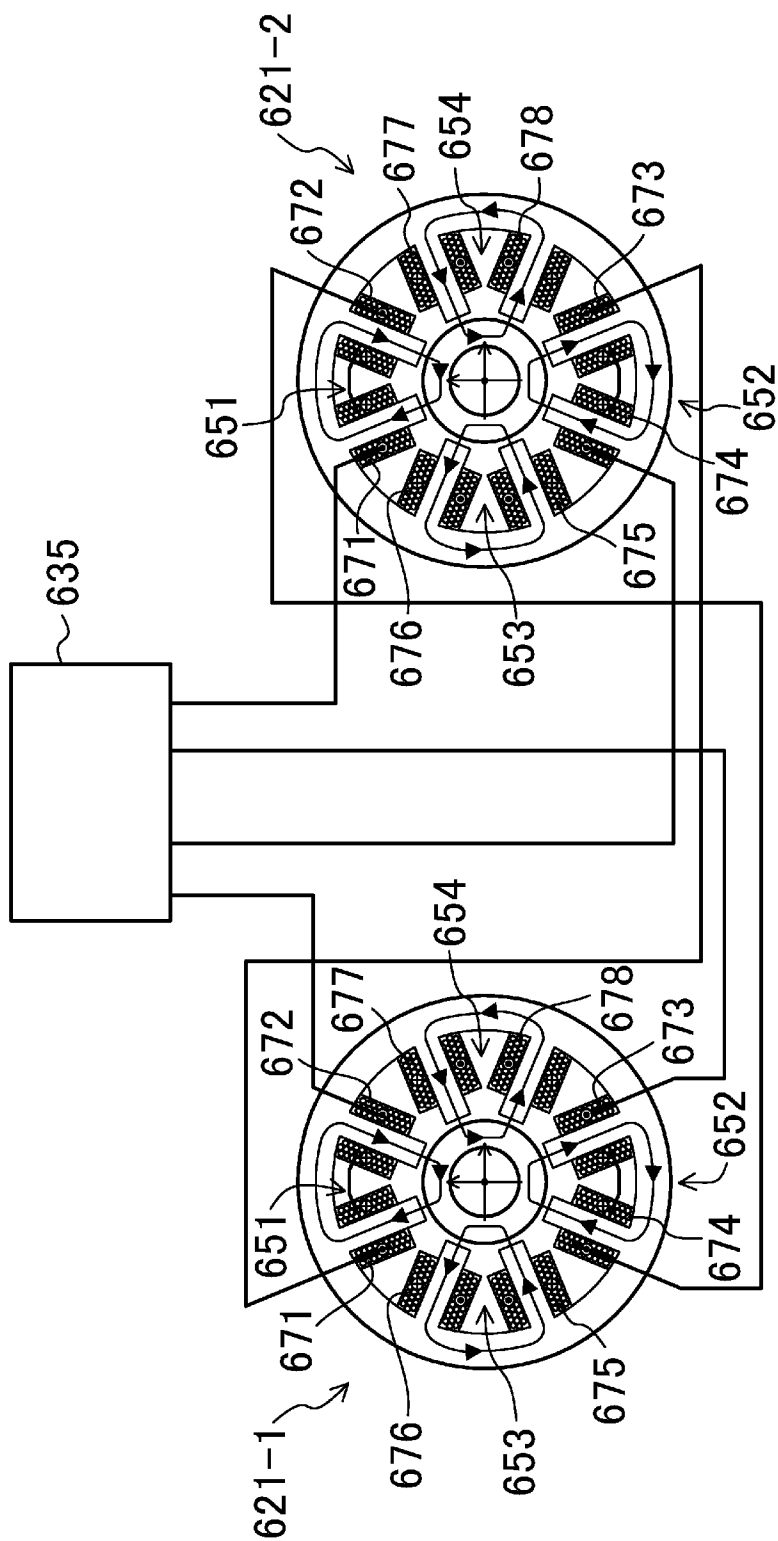
[図35]



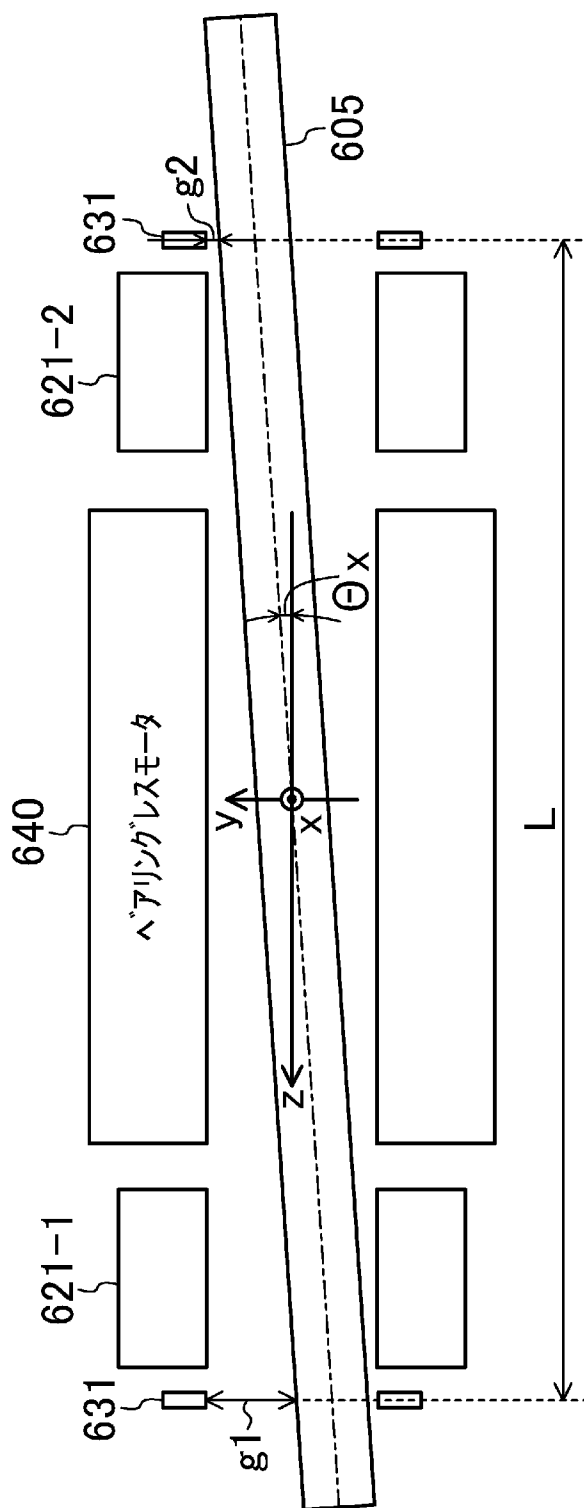
[図36]



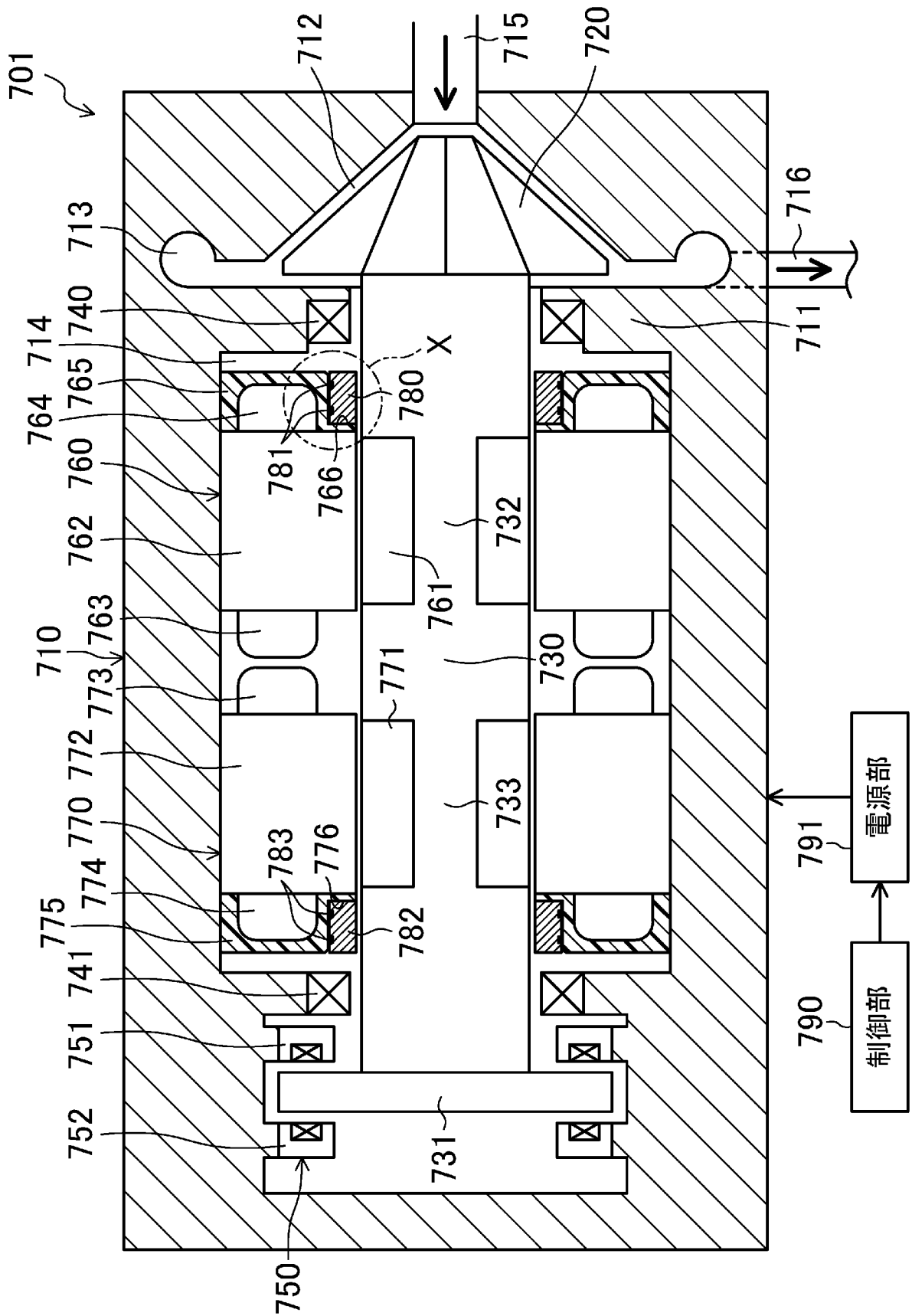
[図37]



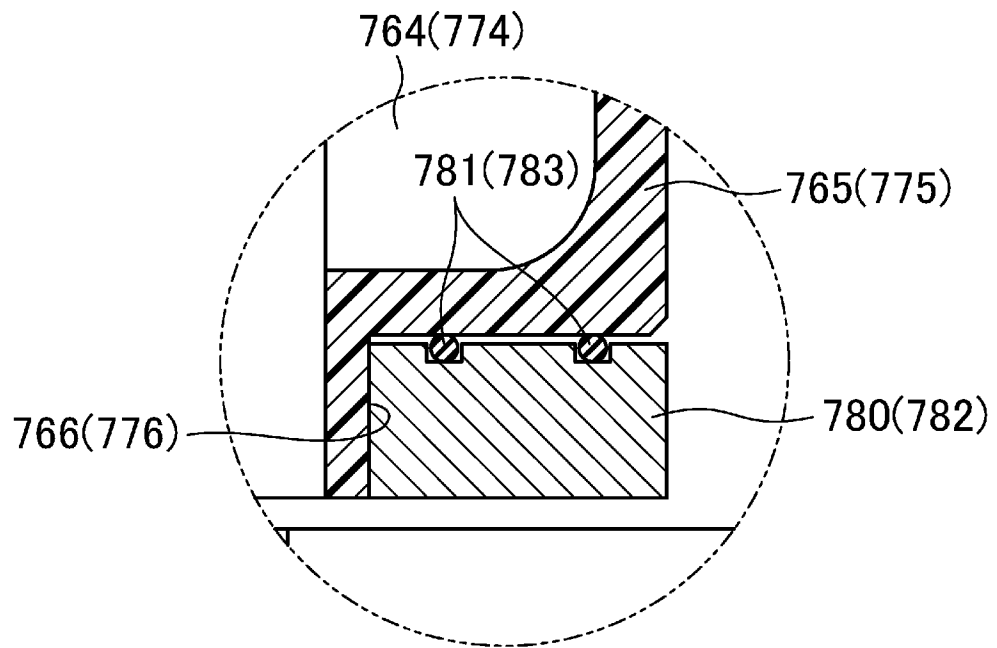
[図38]



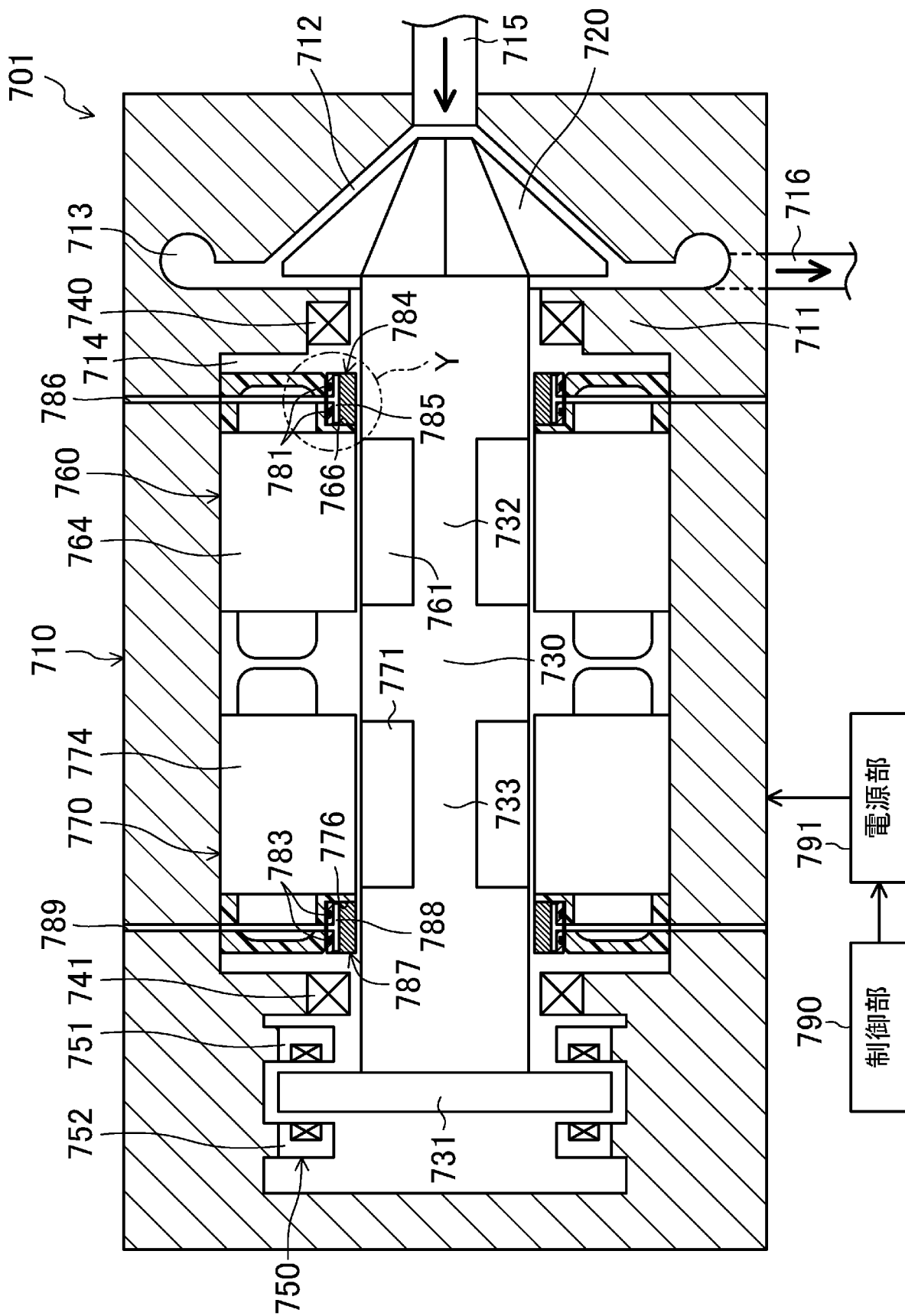
[図39]



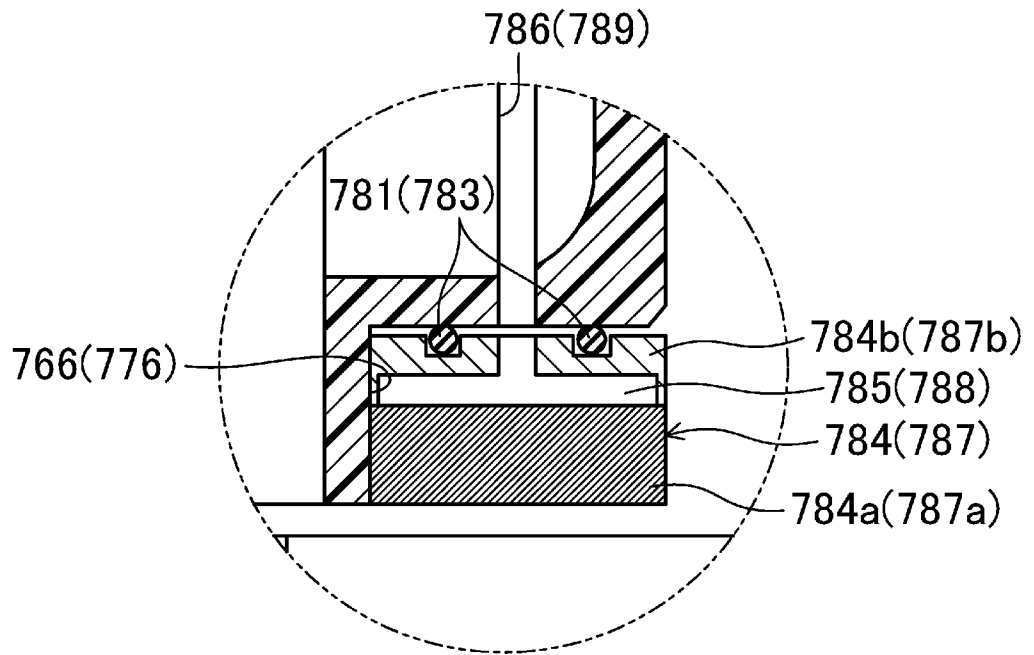
[図40]



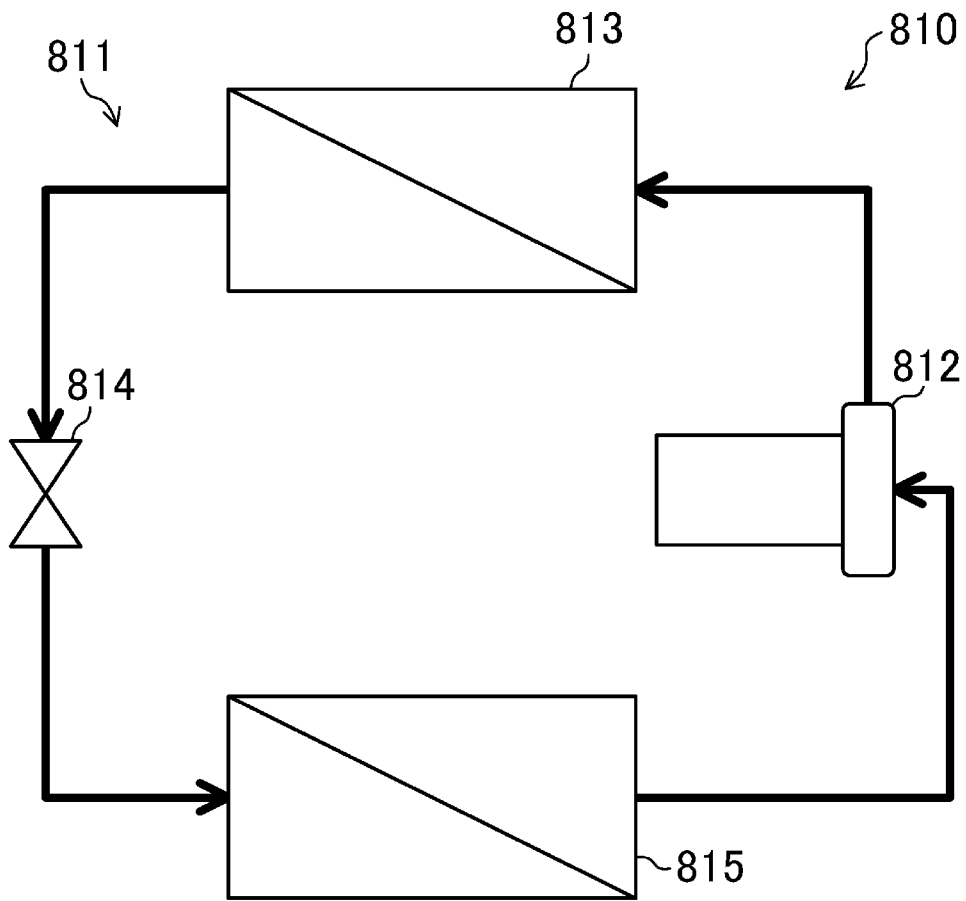
[図41]



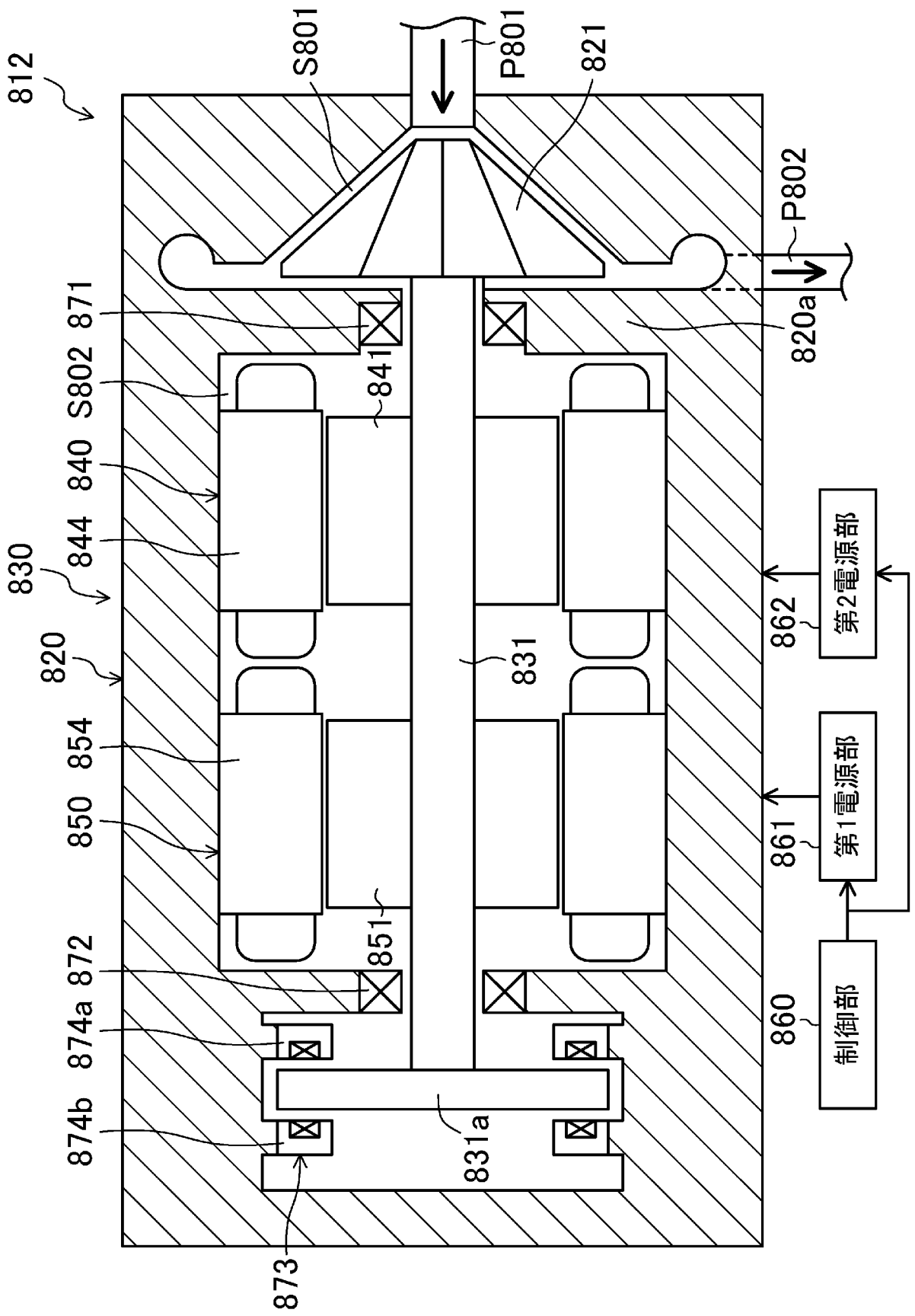
[図42]



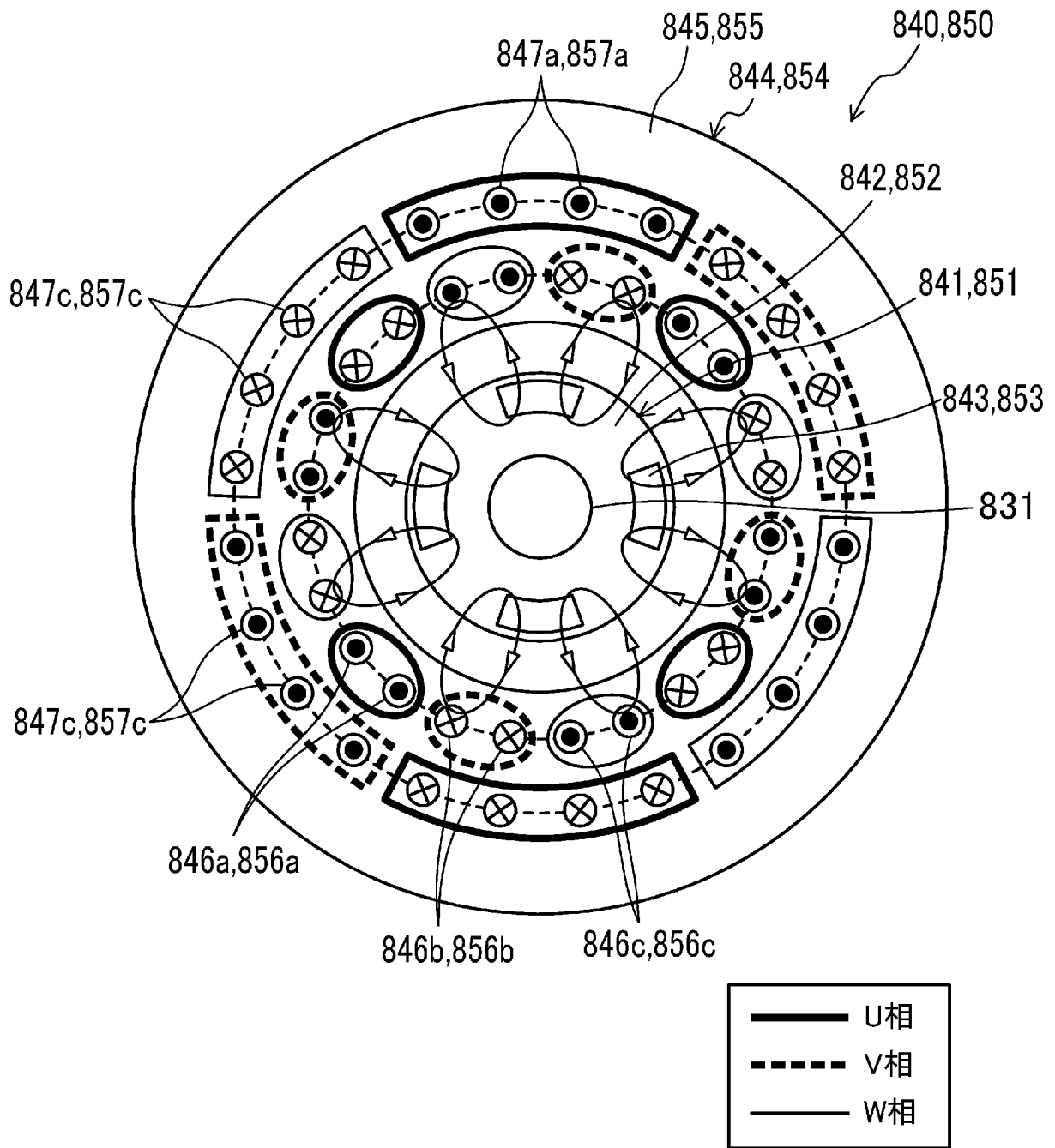
[図43]



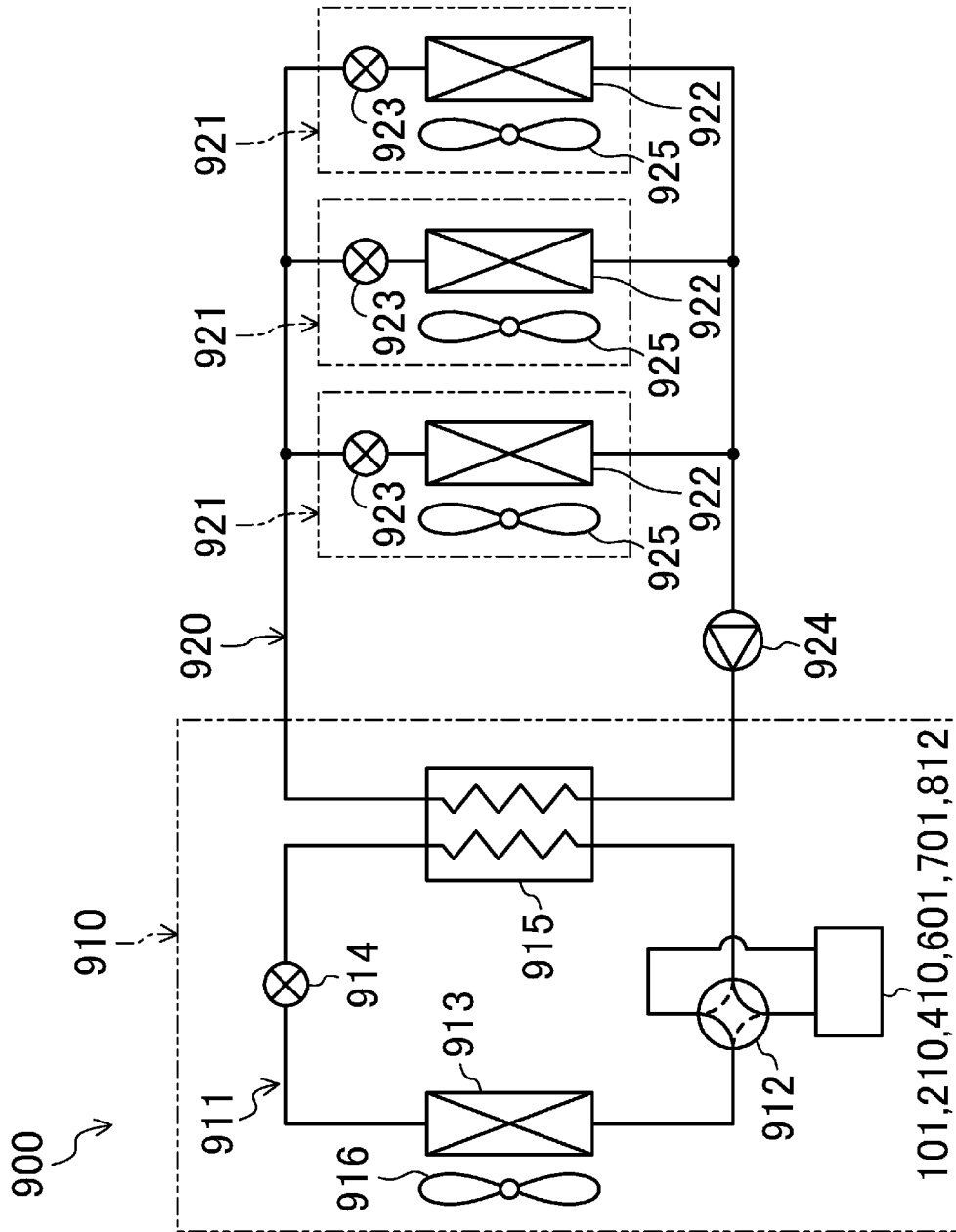
[図44]



[図45]



[図46]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2018/017747

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

Int.Cl. H02K7/09(2006.01)i, F04D17/10(2006.01)i, F04D27/02(2006.01)i,  
 F04D29/00(2006.01)i, F04D29/058(2006.01)i, F16C32/04(2006.01)i,  
 H02K7/14(2006.01)i, H02P25/022(2016.01)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. H02K7/09, F04D17/10, F04D27/02, F04D29/00, F04D29/058, F16C32/04,  
 H02K7/14, H02P25/022

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.
X	JP 2014-7951 A (SKF MAGNETIC MECHATRONICS) 16 January 2014, paragraphs [0001], [0043]-[0052], fig. 4 & EP 2677176 A1 paragraphs [0001], [0042]- [0051], fig. 4 & CA 2820446 A1	1, 8-14, 23-27, 36-37
A		2-7, 15-22, 28-35

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  
02 August 2018 (02.08.2018)

Date of mailing of the international search report  
14 August 2018 (14.08.2018)

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/JP2018/017747

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X  A	JP 2014-5833 A (SKF MAGNETIC MECHATRONICS) 16 January 2014, paragraphs [0001], [0044]-[0046], fig. 4 & US 2014/0023534 A1 paragraphs [0001], [0056]-[0058], fig. 4 & US 2013/0343927 A1 & EP 2677177 A1 & CA 2820449 A1	1, 8-14, 23-27, 36-37  2-7, 15-22, 28-35
X  A	JP 11-513558 A (SULZER TURBO AG) 16 November 1999, page 8, line 25 to page 12, line 1 & US 6043580 A column 3, line 41 to column 5, line 43 & WO 1997/013986 A1	1, 7, 36-37  2-6, 8-35

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H02K7/09(2006.01)i, F04D17/10(2006.01)i, F04D27/02(2006.01)i, F04D29/00(2006.01)i, F04D29/058(2006.01)i, F16C32/04(2006.01)i, H02K7/14(2006.01)i, H02P25/022(2016.01)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. H02K7/09, F04D17/10, F04D27/02, F04D29/00, F04D29/058, F16C32/04, H02K7/14, H02P25/022

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
X	JP 2014-7951 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[0001]、[0043]-[0052]、図4 & EP 2677176 A1 段落[0001]、[0042]-[0051]、FIG. 4 & CA 2820446 A1	1, 8-14, 23-27, 36-37
A		2-7, 15-22, 28-35

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  
02.08.2018

国際調査報告の発送日  
14.08.2018

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） 尾家 英樹	3V	9335
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
X	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[0001]、[0044]－[0046]、図4 & US 2014/0023534 A1 段落[0001]、[0056]－[0058]、 FIG. 4 & US 2013/0343927 A1 & EP 2677177 A1 & CA 2820449 A1	1, 8-14, 23-27, 36-37
A		2-7, 15-22, 28-35
X	JP 11-513558 A (ズルツァー ターボ アクチェンゲゼルシャフト) 1999. 11. 16, 第8ページ第25行－第12ページ第1行 & US 6043580 A 第3欄第41行－第5欄第43行 & WO 1997/013986 A1	1, 7, 36-37
A		2-6, 8-35