

(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
2017 年 1 月 12 日(12.01.2017)



(10) 国際公開番号

WO 2017/006844 A1

- (51) 国際特許分類:
F16C 32/04 (2006.01) F04D 19/04 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/069573
- (22) 国際出願日: 2016 年 7 月 1 日(01.07.2016)
- (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 2015-135951 2015 年 7 月 7 日(07.07.2015) JP
- (71) 出願人: エドワーズ株式会社(EDWARDS JAPAN LIMITED) [JP/JP]; 〒2768523 千葉県八千代市吉橋 1 0 7 8 番地 1 Chiba (JP).
- (72) 発明者: 川島 敏明(KAWASHIMA Toshiaki); 〒2768523 千葉県八千代市吉橋 1 0 7 8 番地 1 エドワーズ株式会社内 Chiba (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, 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.

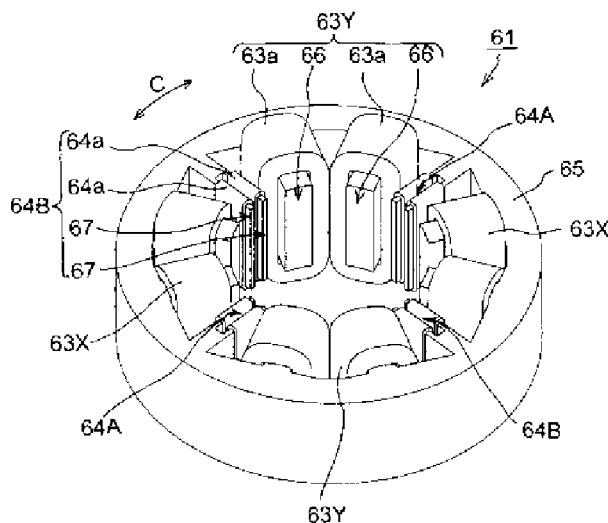
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロシェン (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,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

(54) Title: ELECTROMAGNET UNIT, MAGNETIC BEARING DEVICE, AND VACUUM PUMP

(54) 発明の名称: 電磁石ユニット、磁気軸受装置及び真空ポンプ



(57) Abstract: [Problem] To provide an electromagnet unit, a magnetic bearing device, and a vacuum pump in which radial displacement of a rotating body is detected with precision. [Solution] An upper electromagnet unit (61) is provided with a radial electromagnet (63) for supporting a rotor (20) in the radial direction (R) without contact, a radial sensor (64) for detecting displacement of the rotor (20) in the radial direction (R), and a core (65) around which a coil (63a) and a coil (64a) are wound. Two radial electromagnets (63, 63), which are adjacent in the circumferential direction (C) of the core (65), are disposed so that adjacent magnetic poles (66, 66) are homopolar with each other in the two radial electromagnets (63, 63), and a low magnetic flux interference area (m) is formed between the two radial electromagnets (63, 63). The radial sensor (64) is disposed within the low magnetic flux interference area (m).

(57) 要約: 【課題】回転体のラジアル方向の変位を精度良く検出する電磁石ユニット、磁気軸受装置及び真空ポンプを提供する。【解決手段】上方電磁石ユニット(61)は、ロータ(20)をラジアル方向(R)に非接触支持するラジアル電磁石(63)と、ロータ(20)のラジアル方向(R)の変位を検出するラジアルセンサ(64)と、コイル(63a)及びコイル(64a)を巻回したコア(65)と、を備えている。コア(65)の周方向(C)に隣り合う2つのラジアル電磁石(63、63)は、2つのラジアル電磁石(63、63)で隣り合う磁極(66、66)同士が同極になるように配置され、2つのラジアル電磁石(63、63)間に低磁束干渉領域(m)を形成する。ラジアルセンサ(64)は、低磁束干渉領域(m)内に配置されている。

WO 2017/006844 A1

明 細 書

発明の名称：電磁石ユニット、磁気軸受装置及び真空ポンプ

技術分野

[0001] 本発明は、電磁石ユニット、磁気軸受装置及び真空ポンプに関するものであり、特に、回転体のラジアル方向変位を精度良く検出するための電磁石ユニット、磁気軸受装置及び真空ポンプである。

背景技術

[0002] 真空ポンプを用いて排気処理を行い、内部を真空に保つ装置として、半導体製造装置、液晶製造装置、電子顕微鏡、表面分析装置及び微細加工装置等が知られている。このような装置に用いられる真空ポンプは、回転翼が固定翼に対して相対的に回転することにより、装置内の気体が排気されて装置内が真空に保たれる。

[0003] 特許文献1には、回転体をラジアル方向に非接触支持するラジアル電磁石と、回転体のラジアル方向の変位を検出するラジアルセンサとを備え、ラジアルセンサの出力に基づいてラジアル電磁石の磁力を調整する制御手段と、を備え、隣り合うラジアル電磁石の磁極とラジアルセンサの磁極とが同極になるように配置された磁気軸受装置が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2001-56026号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 上述したような磁気軸受装置では、ラジアル電磁石の磁束が、ラジアルセンサの磁束より強いいため、隣り合うラジアル電磁石とラジアルセンサとの間で磁気干渉が生じ、ラジアルセンサの磁気特性が変化して、回転体のラジアル方向の変位が正しく検出されない虞があるという問題があった。

[0006] そこで、本発明はこのような従来の課題に鑑みてなされたものであり、回転

体のラジアル方向の変位を精度良く検出することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0007] 本発明は上記目的を達成するために提案されたものであり、請求項1記載の発明は、回転体をラジアル方向に磁力で非接触支持するラジアル方向磁力発生手段と、前記回転体のラジアル方向の変位を検出するラジアル方向変位検出手段と、前記ラジアル方向磁力発生手段のコイル及び前記ラジアル方向変位検出手段のコイルを巻回したコアと、を備えている電磁石ユニットであって、前記コアの周方向に隣り合う2つの前記ラジアル方向磁力発生手段は、該2つの前記ラジアル方向磁力発生手段間で隣り合う磁極同士が同極になるように配置され、前記2つの前記ラジアル方向磁力発生手段間に低磁束干渉領域を形成し、前記ラジアル方向変位検出手段は、前記低磁束干渉領域内に配置されている電磁石ユニットを提供する。
- [0008] この構成によれば、隣り合うラジアル方向磁力発生手段の磁極同士が同極になるようにラジアル方向磁力発生手段が配置され、ラジアル方向変位検出手段が隣り合うラジアル方向磁力発生手段間に形成された低磁束干渉領域内に配置されていることにより、ラジアル方向磁力発生手段の強磁束に起因してラジアル方向変位検出手段が磁気干渉を受けることが抑制されるため、ラジアル方向変位検出手段は、回転体のラジアル方向の変位を精度良く検出することができる。
- [0009] 請求項2記載の発明は、請求項1記載の電磁石ユニットの構成に加えて、前記ラジアル方向磁力発生手段と前記ラジアル方向変位検出手段との磁気結合を低減する磁気シールド手段を備えている電磁石ユニットを提供する。
- [0010] この構成によれば、磁気シールド手段がラジアル方向磁力発生手段とラジアル方向変位検出手段との磁気結合を低減することにより、ラジアル方向変位検出手段がラジアル方向磁力発生手段の強磁束に起因する磁気干渉を受けることが抑制されるため、ラジアル方向変位検出手段は、回転体のラジアル方向の変位を更に精度良く検出することができる。
- [0011] 請求項3記載の発明は、請求項2記載の電磁石ユニットの構成に加えて、前

記磁気シールド手段は、前記ラジアル方向磁力発生手段に取り付けられた導電性のシールドリングである電磁石ユニットを提供する。

[0012] この構成によれば、導電性のシールドリングがラジアル方向磁力発生手段の磁束幅を狭くすることにより、ラジアル方向磁力発生手段とラジアル方向変位検出手段との間の磁気干渉が低減されるため、ラジアル方向変位検出手段は、回転体のラジアル方向の変位を精度良く検出することができる。

[0013] 請求項 4 記載の発明は、請求項 2 記載の電磁石ユニットの構成に加えて、前記磁気シールド手段は、前記ラジアル方向変位検出手段のコイルに覆設された導電性のシールドチューブである電磁石ユニットを提供する。

[0014] この構成によれば、導電性のシールドチューブがラジアル方向変位検出手段の磁束幅を狭くすることにより、ラジアル方向磁力発生手段とラジアル方向変位検出手段との間の磁気干渉が低減されるため、ラジアル方向変位検出手段は、回転体のラジアル方向の変位を精度良く検出することができる。

[0015] 請求項 5 記載の発明は、請求項 1 乃至 4 の何れか 1 項記載の電磁石ユニットの構成に加えて、前記ラジアル方向磁力発生手段は、前記コアの周方向に並設されて互いに逆向きの 2 つの磁束を形成する 3 つの磁極を備えている電磁石ユニットを提供する。

[0016] この構成によれば、ラジアル方向磁力発生手段の 3 つの磁極が、互いに逆向きの 2 つの磁束を形成し、ラジアル方向磁力発生手段からコア内に漏れる磁束が相殺されることにより、ラジアル方向磁力発生手段とラジアル方向変位検出手段との間の磁気干渉が低減されるため、ラジアル方向変位検出手段は、回転体のラジアル方向の変位を精度良く検出することができる。

[0017] 請求項 6 記載の発明は、請求項 1 乃至 4 の何れか 1 項記載の電磁石ユニットの構成に加えて、前記ラジアル方向磁力発生手段は、前記コアの周方向に並設されて互いに逆向きの 2 つの磁束を形成する 4 つの磁極を備えている電磁石ユニットを提供する。

[0018] この構成によれば、ラジアル方向磁力発生手段の 4 つの磁極が、互いに逆向きの 2 つの磁束を形成することにより、ラジアル方向磁力発生手段からコア

内に漏れる磁束が相殺されることにより、ラジアル方向磁力発生手段とラジアル方向変位検出手段との間の磁気干渉が低減されるため、ラジアル方向変位検出手段は、回転体のラジアル方向の変位を精度良く検出することができる。

[0019] 請求項 7 記載の発明は、請求項 1 乃至 4 の何れか 1 項記載の電磁石ユニットの構成に加えて、前記ラジアル方向磁力発生手段は、互いに異なる極性を前記コアの周方向に交互に並設した 5 つ以上の磁極を備えている電磁石ユニットを提供する。

[0020] この構成によれば、ラジアル方向磁力発生手段の磁極が、互いに逆向きの複数の磁束を形成することにより、ラジアル方向磁力発生手段からコア内に漏れる磁束が相殺されることにより、ラジアル方向磁力発生手段とラジアル方向変位検出手段との間の磁気干渉が低減されるため、ラジアル方向変位検出手段は、回転体のラジアル方向の変位を精度良く検出することができる。

[0021] 請求項 8 記載の発明は、請求項 1 乃至 7 の何れか 1 項記載の電磁石ユニットの構成に加えて、前記ラジアル方向変位検出手段は、前記回転体のアキシャル方向に並設された互いに異なる 2 つの磁極を備えている電磁石ユニットを提供する。

[0022] この構成によれば、ラジアル変位検出手段の互いに異なる磁極が、回転体のアキシャル方向に並設されていることにより、ラジアル方向磁力発生手段の強磁束に起因する磁気干渉が相殺されることにより、ラジアル方向変位検出手段は、回転体のラジアル方向の変位を精度良く検出することができる。

[0023] 請求項 9 記載の発明は、請求項 8 記載の電磁石ユニットの構成に加えて、前記ラジアル方向変位検出手段は、前記コアの周方向に並設された互いに異なる 2 つの磁極を備えている電磁石ユニットを提供する。

[0024] この構成によれば、ラジアル変位検出手段が、回転体のアキシャル方向に並設された互いに異なる 2 つの磁極とコアの周方向に並設された互いに異なる 2 つの磁極とを備え、2 つの N 極と 2 つの S 極とが互い違いに配置されていることにより、ラジアル方向磁力発生手段の強磁束に起因する磁気干渉が相

殺されるため、ラジアル方向変位検出手段は、回転体のラジアル方向の変位を精度良く検出することができる。

[0025] 請求項 10 記載の発明は、請求項 8 又は 9 記載の電磁石ユニットの構成に加えて、前記コアは、前記ラジアル方向変位検出手段の前記アキシャル方向の磁束が前記コアを通過して生じる渦電流を低減させる渦電流低減手段を備えている電磁石ユニットを提供する。

[0026] この構成によれば、渦電流低減手段は、ラジアル方向変位検出手段の磁束がコアをアキシャル方向に横断して生じる渦電流を低減することにより、渦電流に起因する発熱を抑制することができる。

[0027] 請求項 11 記載の発明は、請求項 10 記載の電磁石ユニットの構成に加えて、前記渦電流低減手段は、前記ラジアル方向変位検出手段の前記アキシャル方向の磁束が前記コアを通過する通過断面積を減らす構造である電磁石ユニットを提供する。

[0028] この構成によれば、ラジアル方向変位検出手段のアキシャル方向の磁束が通過するコアの所定領域をメッシュ状に形成したり、孔やスリットを設ける等して、アキシャル方向の磁束のコアの通過断面積を減らすことにより、アキシャル方向の磁束がコアを通過する際に生じる発熱を抑制することができる。

[0029] 請求項 12 記載の発明は、請求項 1 乃至 11 の何れか 1 項記載の電磁石ユニットの構成に加えて、前記ラジアル方向変位検出手段の前記コイルは、前記コアから前記ラジアル方向の内側に向けて突設された 2 つの爪部に巻回され、前記コイルのラジアル方向外側端から前記爪部の基端までの距離は、前記 2 つの爪部間の距離以上に長く設定されている電磁石ユニットを提供する。

[0030] この構成によれば、電磁石方向変位検出手段の磁束が電磁石方向変位検出手段と回転体との間の方に形成され易くなり、電磁石方向変位検出手段からコアに流れる漏れ磁束が低減され、電磁石方向変位検出手段のセンサ感度を向上させることができる。

- [0031] 請求項 1 3 記載の発明は、請求項 1 乃至 1 2 の何れか 1 項記載の電磁石ユニットの構成に加えて、少なくとも 1 つの前記ラジアル方向磁力発生手段の磁極中心と、少なくとも 1 つの前記ラジアル方向変位検出手段の磁極中心とは、同一平面上に配置されている電磁石ユニットを提供する。
- [0032] この構成によれば、ラジアル方向磁力発生手段の磁極中心とラジアル方向変位検出手段の磁極中心とが同一平面上に配置されていることにより、回転体を精度良く支持することができる。
- [0033] 請求項 1 4 記載の発明は、請求項 1 乃至 1 3 の何れか 1 項記載の電磁石ユニットと、該電磁石ユニットを制御する制御手段と、を備えている磁気軸受装置を提供する。
- [0034] この構成によれば、ラジアル変位検出手段が検出した回転体のラジアル方向の正確な変位に基づいて、制御手段がラジアル方向磁力発生手段の磁力を制御することにより、回転体の発振を抑制することができる。
- [0035] 請求項 1 5 記載の発明は、請求項 1 4 記載の磁気軸受装置の構成に加えて、前記磁気シールド手段は、前記電磁石ユニットと前記ラジアル方向変位検出手段のコイルを結線する基板との間に介装される導電性のシールド板である磁気軸受装置を提供する。
- [0036] この構成によれば、導電性のシールド板が、ラジアル方向磁力発生手段とラジアル変位検出手段との磁気結合を抑制することにより、ラジアル変位検出手段が回転体のラジアル方向の変位を正確に検出可能なため、回転体の発振を更に抑制することができる。
- [0037] 請求項 1 6 記載の発明は、請求項 1 4 又は 1 5 記載の磁気軸受装置を備えている真空ポンプを提供する。
- [0038] この構成によれば、磁気軸受装置が、回転体のラジアル方向の正確な変位に基づいてラジアル方向磁力発生手段の磁力を制御して回転体の発振を抑制するため、真空ポンプを安全に運転させることができる。

発明の効果

- [0039] 本発明は、隣り合うラジアル方向磁力発生手段の磁極同士が同極になるよう

にラジアル方向磁力発生手段が配置され、ラジアル方向変位検出手段が隣り合うラジアル方向磁力発生手段間に形成された低磁束干渉領域内に配置されていることにより、ラジアル方向磁力発生手段の強磁束に起因してラジアル方向変位検出手段が磁気干渉を受けることが抑制されるため、ラジアル方向変位検出手段は、回転体のラジアル方向の変位を精度良く検出することができる。

図面の簡単な説明

[0040] [図1]本発明の第1実施例に係る電磁石ユニットを適用した真空ポンプを示す垂直断面図。

[図2]図1の上方電磁石ユニットを示す斜視図。

[図3]図2に示す上方電磁石ユニットの水平断面図。

[図4]図1の上方電磁石ユニットを制御する制御手段の構成を示す模式図。

[図5]図3に示す上方電磁石ユニットの要部拡大図であり、理解を容易にするためにハッチングを省略している。

[図6]ラジアル方向磁気軸受装置に用いられるシールド板を示す斜視図。

[図7]図3に示すラジアルセンサの要部拡大図。

[図8]図1の電磁石ユニットにシールドチューブ及びシールドリングを装着した状態を示す斜視図。

[図9]本発明の第2実施例に係る電磁石ユニットを示す斜視図。

[図10]図9の電磁石ユニットを示す水平断面図。

[図11]本発明の第3実施例に係る電磁石ユニットを示す斜視図。

[図12]図11に示す電磁石ユニットの水平断面図。

[図13]本発明の第4実施例に係る電磁石ユニットを示す斜視図。

[図14]図13に示す電磁石ユニットの水平断面図。

[図15]本発明の第5実施例に係る電磁石ユニットを示す斜視図。

[図16]図15に示す電磁石ユニットの水平断面図。

発明を実施するための形態

[0041] 本発明は、回転体のラジアル方向の変位を精度良く検出するという目的を達

成するために、回転体をラジアル方向に磁力で非接触支持するラジアル方向磁力発生手段と、回転体のラジアル方向の変位を検出するラジアル方向変位検出手段と、ラジアル方向磁力発生手段のコイル及びラジアル方向変位検出手段のコイルを巻回したコアと、を備えている電磁石ユニットであって、コアの周方向に隣り合う２つのラジアル方向磁力発生手段は、２つのラジアル方向磁力発生手段間で隣り合う磁極同士が同極になるように配置され、２つのラジアル方向磁力発生手段間に低磁束干渉領域を形成し、ラジアル方向変位検出手段は、低磁束干渉領域内に配置されている電磁石ユニットを提供することにより実現した。

実施例

[0042] 以下、本発明の第１実施例に係る電磁石ユニットを適用した真空ポンプ１を図面に基づいて説明する。なお、以下の説明において、「上」、「下」の語は、排気ガスＧの排気方向の上流側を上方とし、下流側を下方とするものであり、即ち、後述する軸方向Ａにおいて吸気口１１側が上方、排気口５１側が下方に対応するものとする。図１は、真空ポンプ１の構造を示す垂直断面図である。

[0043] 真空ポンプ１は、略上半分に配置されたターボ分子ポンプ機構と略下半分に配置されたネジ溝ポンプ機構とから成る複合ポンプである。真空ポンプ１は、筐体１０と、筐体１０内に回転可能に支持されたロータシャフト２１を有するロータ２０と、ロータシャフト２１を回転させる駆動モータ３０と、ロータシャフト２１の一部及び駆動モータ３０を収容するステータコラム４０とを備えている。

[0044] 筐体１０は、円筒状に形成されている。筐体１０の上端には、ガス吸気口１１が形成されている。筐体１０は、上方フランジ１２を介して図示しない半導体製造装置のチャンバ等の真空容器に取り付けられる。ガス吸気口１１は、真空容器に接続される。筐体１０は、ベース５０上に載置された状態でベース５０に固定されている。

[0045] ロータ２０は、ロータシャフト２１と、ロータシャフト２１の上部に固定さ

れてロータシャフト21の軸心に対して同心円状に並設、即ち並べて設けられた回転翼22と、を備えている。本実施例では、5段の回転翼22が設けられている。以下、ロータシャフト21の軸線方向を「アキシャル方向A」と称し、ロータシャフト21の径方向を「ラジアル方向R」と称す。

[0046] ロータシャフト21は、後述するラジアル方向磁気軸受60と、アキシャル方向磁気軸受70により非接触支持されている。ラジアル方向磁気軸受60は、上方電磁石ユニット61と、下方電磁石ユニット62と、を備えている。アキシャル方向磁気軸受70は、アキシャル電磁石71を備えている。アキシャル方向磁気軸受70は、図示しない制御ユニットに接続されている。制御ユニットは、アキシャルセンサ72の検出値に基づいて、アキシャル電磁石71の励磁電流を制御することにより、ロータシャフト21が所定の位置に浮上した状態で支持されるようになっている。

[0047] 回転翼22は、所定の角度で傾斜したブレードからなり、ロータ20の上部外周面に一体に形成されている。また、回転翼22は、ロータ20の軸線回りに放射状に複数設置されている。

[0048] ロータシャフト21の上部及び下部は、タッチダウン軸受23内に挿通されている。ロータシャフト21が制御不能になった場合には、高速で回転するロータシャフト21がタッチダウン軸受23に接触して真空ポンプ1の損傷を防止するようになっている。

[0049] ロータ20は、ボス孔24にロータシャフト21の上部を挿通した状態で、ボルト25をロータフランジ26に挿通すると共にシャフトフランジ27に螺着することで、ロータシャフト21に一体に取り付けられている。

[0050] 駆動モータ30は、ロータシャフト21の外周に取り付けられた回転子31と、回転子31を取り囲むように配置された固定子32と、を備えている。固定子32は、上述した図示しない制御ユニットに接続されており、制御ユニットによってロータ20の回転が制御されている。

[0051] ステータコラム40は、ベース50上に載置された状態で、ボルト41を介してベース50に固定されている。

- [0052] 回転翼 22、22の間には、固定翼 80 が設けられている。すなわち、回転翼 22 と固定翼 80 とは、軸方向 A に沿って交互にかつ多段に配列されている。本実施例では、5 段の固定翼 80 が設けられている。
- [0053] 固定翼 80 は、環状に形成されており、回転翼 22 とは反対方向に傾斜したブレードと該ブレードの両端に連結されたリングとを備え、筐体 10 の内周面に段積みで設置されているスペーサ 81 により軸方向 A に挟持されて位置決めされている。また、固定翼 80 のブレードも、ロータ 20 の軸線回りに放射状に複数設置されている。
- [0054] 回転翼 22 及び固定翼 80 のブレードの長さは、アキシャル方向 A の上方から下方に向かって徐々に短くなるように設定されている。
- [0055] ベース 50 の下部側方には、ガス排気口 51 が形成されている。ガス排気口 51 は、図示しない補助ポンプに連通するように接続される。真空ポンプ 1 は、回転翼 22 の回転により、ガス吸気口 11 から吸入されたガスを軸方向 A の上方から下方に移送し、ガス排気口 51 から外部に排気するようになっている。ベース 50 と筐体 10 との間には、Oリング 52 が介装されている。ベース 50 上には、内周面にネジ溝部が刻設されたステータ 53 が載置されている。
- [0056] 次に、ラジアル方向磁気軸受 60 の具体的な構成について、図面に基いて説明する。図 2 は、上方電磁石ユニット 61 を示す斜視図である。図 3 は、上方電磁石ユニット 61 の水平断面図である。図 4 は、上方電磁石ユニット 61 を制御する制御手段 80 の構成を示す模式図である。図 5 は、上方電磁石ユニット 61 を示す要部拡大図であり、理解を容易にするためにハッチングを省略している。図 6 は、ラジアル方向磁気軸受 60 に用いられるシール板 68 を示す平面図である。図 7 は、ラジアルセンサ 64 の要部拡大図。なお、上方電磁石ユニット 61 と下方電磁石ユニット 62 とは、同様の構造であるから、以下では、上方電磁石ユニット 61 を例に構造を説明し、下方電磁石ユニット 62 の構造に関する説明を省略する。
- [0057] 上方電磁石ユニット 61 は、ロータシャフト 21 をラジアル方向 R に磁力で

非接触支持する４つのラジアル電磁石６３と、ロータシャフト２１のラジアル方向Ｒの変位を検出する４つのラジアルセンサ６４と、を備えている。ラジアル電磁石６３のコイル６３ａとラジアルセンサ６４のコイル６４ａは、同一のコア６５に巻回、すなわち、コア６５に巻き巡らされている。

[0058] 各ラジアル電磁石６３は、コア６５の周方向Ｃに沿って９０度離間して配置され、Ｘ軸又はＹ軸上に配置されている。ラジアル電磁石６３は、コア６５の凸部６５ａにコイル６３ａを巻回して形成された一対の磁極６６、６６を備えている。一対の磁極６６、６６は、コイル６３ａを互いに逆向きに巻回することにより、異なる極性を有している。また、コア６５の周方向Ｃに隣り合うラジアル電磁石６３間で隣り合う磁極６６、６６、すなわち、ラジアルセンサ６５を介して隣り合う磁極６６、６６が互いに同じ極性になるように、ラジアルセンサ６５を介して隣り合うコイル６３ａは、コア６５に同方向に巻回されている。なお、本実施例において、ラジアル電磁石６３を支持する方向に応じて区別する場合には、ロータシャフト２１をＸ軸方向に非接触支持するものについては数字の末尾にＸを付して参照符号とし、ロータシャフト２１をＹ軸方向に非接触支持するものについては数字の末尾にＹを付して参照符号とし、これらを総称する場合には、単に数字のみを参照符号とする。

[0059] ラジアルセンサ６４は、コア６５の周方向Ｃに隣り合うラジアル電磁石６３、６３間に配置されており、各ラジアルセンサ６４は、Ｘ軸に対して所定角度 $\theta 1$ だけ傾いたＡ軸又はＹ軸に対して所定角度 $\theta 2$ だけ傾いたＢ軸上に配置されている。本実施例では、所定角度 $\theta 1$ 、 $\theta 2$ は、４５度に設定されている。ラジアルセンサ６４は、公知の変位センサであり、例えば、インダクタンス型変位センサ等である。ラジアルセンサ６４は、コア６５の爪部６５ｂにコイル６４ａを巻回して形成された一対の磁極６７、６７を備えている。一対の磁極６７、６７は、コイル６４ａを互いに逆向きに巻回することにより、異なる極性を有している。なお、本実施例において、ラジアルセンサ６４を変位の検知方向に応じて区別する場合には、Ａ軸上に配置されたもの

については数字の末尾にAを付して参照符号とし、B軸上に配置されたものについては数字の末尾にBを付して参照符号とし、これらを総称する場合には、単に数字のみを参照符号とする。

[0060] ラジアルセンサ64Aは、ロータシャフト21の上部のA軸方向の変位を検知して、この変位に応じた原変位信号PAhを制御手段80に送る。また、ラジアルセンサ64Bは、ロータシャフト21のB軸方向の変位を検知して、この変位に応じた原変位信号PBhを制御手段61aに送る。同様にして、下方電磁石ユニット62のラジアルセンサ64Aは、ロータシャフト21の下部のA軸方向の変位に応じた原変位信号PAbを、下方電磁石ユニット62のラジアルセンサ64Bは、ロータシャフト21の下部のB軸方向の変位に応じた原変位信号PBbを、それぞれ制御手段90に送る。

[0061] 制御手段90は、原変位信号PAh、PAb、PBh、PBbに基づいてラジアル電磁石63を制御する電磁石駆動信号を生成する。制御手段90は、例えば、DSP (Digital Signal Processor) 等のマイコンである。制御手段90は、図4に示すように、軸変換部91と制御部92とを備えている。軸変換部91は、原変位信号PAhに内部変位信号PXh ($PXh = PAh \cdot \cos \theta 1 - PBh \cdot \sin \theta 2$) を付加し、原変位信号PBhに内部変位信号PYh ($PYh = PAh \cdot \sin \theta 1 + PBh \cdot \cos \theta 2$) を付加し、原変位信号PAbに内部変位信号PXb ($PXb = PAb \cdot \cos \theta 1 - PBb \cdot \sin \theta 2$) を付加し、原変位信号PBbに内部変位信号PYb ($PYb = PAb \cdot \sin \theta 1 + PBb \cdot \cos \theta 2$) を付加することにより、ロータシャフト21のX軸方向及びY軸方向の変位を演算する。

[0062] 制御部92は、軸変換部91が演算したロータシャフト21のX軸方向及びY軸方向の変位に基づいて、上方電磁石ユニット61のラジアル電磁石63Xを駆動させる電磁石駆動信号CXh+、CXh-を生成し、ラジアル電磁石63Xを制御する。また、同様に、制御部92は、上方電磁石ユニット61のラジアル電磁石63Yを駆動させる電磁石駆動信号CYh+、CYh-、下方電磁石ユニット62のX軸方向に配置されたラジアル電磁石63Xを駆

動させる電磁石駆動信号 $CXb+$ 、 $CXb-$ 、及び、下方電磁石ユニット62のY軸方向に配置されたラジアル電磁石63Yを駆動させる電磁石駆動信号 $CYb+$ 、 $CYb-$ をそれぞれ生成し、各ラジアル電磁石64を制御する。なお、電磁石駆動信号の参照符号の末尾の「+」は、X軸又はY軸の正方向に配置されたラジアル電磁石63を制御する信号であることを示し、「-」は、X軸又はY軸の負方向に配置されたラジアル電磁石63を制御する信号であることを示す。ラジアル電磁石63に供給される入力電流（正弦波）のスイッチング周波数は、ラジアルセンサ64に供給される入力電流（矩形波）のキャリア周波数の偶数倍に設定することにより、ノイズ干渉を低減している。

[0063] 次に、ラジアル電磁石63及びラジアルセンサ64の配置関係について、図5に基づいて説明する。ラジアル電磁石63のラジアルセンサ64を介して隣り合う磁極66、66は同極になるようにコイル63aが巻回されている。これにより、ラジアル電磁石63のラジアルセンサ64を介して隣り合う磁極66、66から生じる磁束は相殺され、コア65の周方向Cに隣り合うラジアル電磁石63の間には、ラジアル電磁石63の磁束が低下した低磁束干渉領域mが形成されている。

[0064] そして、ラジアルセンサ64は、低磁束干渉領域m内に配置されている。一般的なラジアル電磁石63の磁束はラジアルセンサ64の磁束より強く設定されるが、ラジアルセンサ64がラジアル電磁石63の強磁束の影響を受けにくい低磁束干渉領域m内に配置されていることにより、ラジアルセンサ64が磁気干渉を受けにくくなっている。

[0065] また、上方電磁石ユニット61上にコイル64aを結線するための図示しないプリント基板を実装する場合には、図6に示す導電体のシールド板68を上方電磁石ユニット61と制御手段90との間に介装させるのが好ましい。シールド板68は、薄円板状に形成されており、シールド板68に形成された孔部68aには、コイル64aとプリント基板との接続配線が挿入される。このようなシールド板68を用いることにより、ラジアル電磁石63とラ

ラジアルセンサ 6 4 との磁気結合が抑制される。

[0066] また、図 7 に示すように、コイル 6 4 a からコア 6 5 の爪部 6 5 b の基端までの距離、すなわち、コイル 6 4 a のラジアル方向外周端から爪部 6 5 b の基端までの距離 a が、2 本の爪部 6 5 b の間隔 b より長く設定されるのが好ましい。ラジアルセンサ 6 4 の磁束がラジアルセンサ 6 4 とロータシャフト 2 1 との間、即ちエアギャップの方に形成され易くなり、ラジアルセンサ 6 4 からコア 6 5 に流れる漏れ磁束が低減され、ラジアルセンサ 6 4 のセンサ感度を向上させることができる。

[0067] また、ラジアル電磁石 6 3 の磁束の一部がコア 6 5 に流れる漏れ磁束の発生を抑制するために、コア 6 5 の磁気抵抗を増大させるのが好ましい。コア 6 5 の磁気抵抗を増大させる方法としては、例えば、ラジアルセンサ 6 4 を形成する爪部 6 5 b の基端側に連続する凸部 6 5 c に図示しない穴やスリット等を設けることが考えられる。また、凸部 6 5 c の縦断面積を凸部 6 5 a の縦断面積より小さく形成することが考えられる。これにより、ラジアル電磁石 6 3 からコア 6 5 内に流れる漏れ磁束が低減される。

[0068] 次に、本実施例の変形例について、図面に基づいて説明する。なお、本変形例と上述した実施例とで共通する構成については、共通の符号を付し、重複する説明を省略する。図 8 は、変形例に係る上方電磁石ユニット 6 0 を示す斜視図である。

[0069] ラジアル電磁石 6 3 には、ラジアル電磁石 6 3 に取り付けられた銅等で形成された導電性のシールドリング 6 9 a が設けられている。シールドリング 6 9 a がラジアル電磁石 6 3 の磁束幅を狭くすることにより、ラジアル電磁石 6 3 とラジアルセンサ 6 4 との間の磁気結合が低減される。シールドリング 6 9 a は、厚み 0.5 mm 程度に形成されている。

[0070] また、ラジアル電磁石 6 3 には、ラジアルセンサ 6 4 のコイル 6 4 a の外周に覆設、すなわち覆うように設けられた銅等で形成された導電性のシールドチューブ 6 9 b が設けられている。シールドチューブ 6 9 b がラジアルセンサ 6 4 の磁束幅を狭くすることにより、ラジアル電磁石 6 3 とラジアルセンサ

64 との間の磁気結合が低減される。シールドチューブ 69b は、厚み 0.5 mm 程度に形成されており、絶縁の有無はいずれであっても構わない。また、シールドチューブ 69b は、銅の線材を上述した厚み程度になるように複数回巻回し、線材の端部同士を繋いだ構造であっても構わない。

[0071] 次に、本発明の第 2 実施例に用いられる上方電磁石ユニット 61 について、図面に基づいて説明する。なお、本実施例の上方電磁石ユニットと上述した第 1 実施例の上方電磁石ユニットとで共通する構成については、共通の符号を付し、重複する説明を省略する。図 9 は、本発明の第 2 実施例に用いられる上方電磁石ユニット 61 を示す斜視図である。図 10 は、図 9 に示す上方電磁石ユニット 61 の水平断面図である。

[0072] 上方電磁石ユニット 61 は、コア 65 の周方向 C に沿って 3 つの磁極 66 を有するラジアル電磁石 63 を備えている。具体的には、ラジアル電磁石 63 は、中央に配置された中央磁極 66a と中央磁極 66a の両側に配置された 2 つの側方磁極 66b とを備えており、中央磁極 66a と側方磁極 66b とは、コイル 63a が互いに逆向きに巻回されて、異なる極性を有している。また、ラジアルセンサ 64 を介してコア 65 の周方向 C に隣り合う側方磁極 66b は、同じ極性を有している。なお、中央磁極 66a のコア 63a の巻数は、側方磁極 66b のコア 63a の巻数の略 2 倍に設定されている。

[0073] これにより、上述した第 1 実施例の上方電磁石ユニット 61 がラジアル電磁石 63 の 2 つの磁極 66、66 が 1 つの磁束を形成するのに対して、本実施例の上方電磁石ユニット 61 は、ラジアル電磁石 63 の 3 つの磁極 66a、66b が互いに逆向きの 2 つの磁束を形成する。これにより、ラジアル電磁石 61 で対称的な磁束が形成され、ラジアル電磁石 63 からコア 65 内に漏れる磁束が相殺されるため、ラジアル電磁石 63 とラジアルセンサ 64 との間の磁気干渉が低減される。

[0074] 次に、本発明の第 3 実施例に用いられる上方電磁石ユニット 61 について、図面に基づいて説明する。なお、本実施例の上方電磁石ユニットと上述した第 1 実施例の上方電磁石ユニットとで共通する構成については、共通の符号

を付し、重複する説明を省略する。図11は、本発明の第3実施例に用いられる上方電磁石ユニット61を示す斜視図である。図12は、図11に示す上方電磁石ユニット61の水平断面図である。

[0075] 上方電磁石ユニット61は、コア65の周方向Cに沿って4つの磁極66を有するラジアル電磁石63を備えている。具体的には、ラジアル電磁石63は、コア65の周方向Cの内側に配置された2つの内側磁極66cと内側磁極66cの両側に配置された2つの外側磁極66dとを備えており、内側磁極66cと外側磁極66dとは、コイル63aが互いに逆向きに巻回されて、異なる極性を有している。また、ラジアルセンサ64を介してコア65の周方向Cに隣り合う外側磁極66dは、同じ極性を有している。

[0076] これにより、上述した第1実施例の上方電磁石ユニット61がラジアル電磁石63の2つの磁極66が1つの磁束を形成するのに対して、本実施例の上方電磁石ユニット61は、ラジアル電磁石63の4つの磁極66c、66dが互いに逆向きの2つの磁束を形成する。これにより、ラジアル電磁石63で対称的な磁束が形成され、ラジアル電磁石63からコア65内に漏れる磁束が相殺されるため、ラジアル電磁石63とラジアルセンサ64との間の磁気干渉が低減される。

[0077] また、本実施例に用いられるラジアル電磁石63は、上述した第3実施例に用いられるラジアル電磁石63と比較して、磁極66c、66dの大きさを同一に形成することができ、ラジアル電磁石63を低コストで製造することができる。

[0078] なお、上述した第2実施例及び第3実施例では、コア65の周方向Cに沿って互いに異なる極性の磁極66を3つ又は4つ備えたラジアル電磁石63について説明したが、ラジアル電磁石63で生じる複数の磁束が互いに打ち消すように形成可能であれば磁極66の数はこれらに限定されるものではなく、例えば5個以上であっても構わない。

[0079] 次に、本発明の第4実施例に用いられる上方電磁石ユニット61について、図面に基づいて説明する。なお、本実施例の上方電磁石ユニットと上述した

第1実施例の上方電磁石ユニットとで共通する構成については、共通の符号を付し、重複する説明を省略する。図13は、本発明の第4実施例に用いられる上方電磁石ユニット61を示す斜視図である。図14は、図13に示す上方電磁石ユニット61の水平断面図である。

[0080] 上方電磁石ユニット61は、アキシャル方向Aに並設された上方磁極67a及び下方磁極67bを有するラジアルセンサ64を備えている。具体的には、上方磁極67aと下方磁極67bとは、コイル64aが互いに逆向きに巻回されて、異なる極性を有している。したがって、ラジアルセンサ64の磁束は、ラジアル電磁石63の磁束に対して略直交して形成される。

[0081] これにより、上述した第1実施例に用いられる上方電磁石ユニット61は、ラジアル電磁石63の磁束とラジアルセンサ64の磁束とが平行に形成されることにより、ラジアルセンサ64の磁束が磁気干渉を受ける虞があるのに対して、本実施例の上方電磁石ユニット61は、ラジアルセンサ64の磁束がラジアル電磁石63の磁束に対して略直交することにより、ラジアルセンサ64に漏れるラジアル電磁石63の磁束に起因する磁気干渉が相殺される。

[0082] 図13、14中の符号65dは、ラジアルセンサ64のアキシャル方向Aの磁束がコア65の凸部65cを通過する断面積を低減する渦電流低減手段としての孔である。渦電流低減手段は、凸部65cを通過する磁束の通過断面積を低減して渦電流による発熱を低減可能なものであれば良く、例えば、凸部65cをメッシュ状に形成したり、凸部65cにスリットを設けて減肉するものであっても構わない。

[0083] 次に、本発明の第5実施例に用いられる上方電磁石ユニット61について、図面に基づいて説明する。なお、本実施例の上方電磁石ユニットと上述した第1実施例の上方電磁石ユニットとで共通する構成については、共通の符号を付し、重複する説明を省略する。図15は、本発明の第5実施例に用いられる上方電磁石ユニット61を示す斜視図である。図16は、図15に示す上方電磁石ユニット61の水平断面図である。なお、図15、16中の符号

65dは、上述した渦電流低減手段としての孔である。

[0084] 上方電磁石ユニット61は、アキシャル方向A及びコア65の周方向Cにそれぞれ並設された4つの磁極67c、67d、67e、67fを有するラジアルセンサ64を備えている。具体的には、ラジアルセンサ64のアキシャル方向Aに沿って並設された上方磁極67c、67dと下方磁極67e、67fとは、コイル64aが互いに逆向きに巻回されて、異なる極性を有している。また、コア65の周方向Cに沿って並設された2つの上方磁極67c、67d、及び2つの下方磁極67e、67fも同様に異なる極性を有している。すなわち、異なる極性を有する磁極67c、67d、67e、67fが互い違いに配置されている。したがって、ラジアルセンサ64の磁束は、ラジアル電磁石63の磁束に対して略直交な磁束と略平行な磁束とが形成される。

[0085] これにより、上述した第1実施例で用いられる上方電磁石ユニット61は、ラジアル電磁石63との磁束とラジアルセンサ64の磁束とが平行に形成されることにより、ラジアルセンサ64の磁束が磁気干渉を受けるのに対して、本実施例の上方電磁石ユニット61は、ラジアルセンサ64に漏れるラジアル電磁石63の磁束に起因する磁気干渉が相殺される。

[0086] また、上方磁極67c、67d間及び下方磁極67e、67f間の磁束は、コア65内を通過することなく形成可能なため、コア65を通過することにより起因する磁気抵抗を抑制することができる。

[0087] なお、上方電磁石ユニット61と下方電磁石ユニット62とは異なる構造であっても構わない。例えば、上方電磁石ユニット61には第1実施例に係る構造を適用し、下方電磁石ユニット62には変形例に係る構造を適用するものであっても構わない。一般的に、上方電磁石ユニット61は、ロータ20の重心の近くに設置され、主に低周波数で制御され、下方電磁石ユニット62は、ロータ20の重心から遠くに設置され、主に高周波数での制御が求められる。このような制御特性に応じて、上方電磁石ユニット61及び下方電磁石ユニット62の構造は任意に選択可能である。

[0088] このようにして、本発明は、ラジアルセンサ 6 4 を介して隣り合うラジアル電磁石 6 3 の磁極 6 6 同士が同極に設定され、この隣り合うラジアル電磁石 6 3、6 3 間に形成された低磁束干渉領域内にラジアルセンサ 6 4 が配置されていることにより、ラジアル電磁石 6 3 の強磁束に起因してラジアルセンサ 6 4 が磁気干渉を受けることが抑制されるため、ラジアルセンサ 6 4 は、ロータ 2 0 のラジアル方向 R の変位を精度良く検出することができる。

[0089] また、上方電磁石ユニット 6 1 又は下方電磁石ユニット 6 2 が、ラジアル電磁石 6 3 とラジアルセンサ 6 4 とを一体化して成ることより、小型化且低コスト化が可能である。さらに、アキシャル方向 A においてラジアル電磁石 6 3 とラジアルセンサ 6 4 とが略同一平面上に配置されることにより、上方電磁石ユニット 6 1 又は下方電磁石ユニット 6 2 の発振が抑制される共に変位を精度良く検出可能なことにより、ロータ 2 0 を安定して支持することができる。

産業上の利用可能性

[0090] 本発明は、インナーロータ型の真空ポンプの他、アウターロータ型の真空ポンプにも適用できる。なお、本発明に係る真空ポンプは、上述した複合タイプの真空ポンプの他、ターボ分子ポンプのみから全翼タイプの真空ポンプにも適用可能であることは言うまでもない。

[0091] なお、本発明は、本発明の精神を逸脱しない限り種々の改変をなることができ、そして、本発明が該改変されたものにも及ぶことは当然である。

符号の説明

[0092] 1 . . . 真空ポンプ 1 0 . . . 筐体 1 1 . . . 吸気口 1 2 . . . 上方フランジ 2 0 . . . ロータ 2 1 . . . ロータシャフト 2 2 . . . 回転翼 2 3 . . . タッチダウン軸受 2 4 . . . ボス孔 2 5 . . . ボルト 2 6 . . . ロータフランジ 2 7 . . . シャフトフランジ 3 0 . . . 駆動モータ 3 1 . . . 回転子 3 2 . . . 固定子 4 0 . . . ステータコラム 4 1 . . . ボルト 5 0 . . . ベース 5 1 . . . 排気口 5 2 . . . Oリング 5 3 . . . ステータ

タ 60・・・ラジアル方向磁気軸受 61・・・上方電磁石ユニット
62・・・下方電磁石ユニット 63・・・ラジアル電磁石（ラジアル方向磁力発生手段） 63a・・・（ラジアル電磁石の）コイル 64・・・ラジアルセンサ（ラジアル方向変位検出手段） 64a・・・（ラジアルセンサの）コイル 65・・・コア 66・・・（ラジアル電磁石の）磁極 67・・・（ラジアルセンサの）磁極 68・・・シールド板（磁気シールド手段） 69a・・・シールドリング（磁気シールド手段） 69b・・・シールドチューブ（磁気シールド手段） 70・・・アキシャル方向磁気軸受 71・・・アキシャル電磁石 72・・・アキシャルセンサ 80・・・固定翼 81・・・スペーサ 90・・・制御手段 91・・・軸変換部 92・・・制御部 A・・・アキシャル方向 C・・・（コアの）周方向 R・・・ラジアル方向 m・・・低磁束干渉領域

請求の範囲

- [請求項1] 回転体をラジアル方向に磁力で非接触支持するラジアル方向磁力発生手段と、前記回転体のラジアル方向の変位を検出するラジアル方向変位検出手段と、前記ラジアル方向磁力発生手段のコイル及び前記ラジアル方向変位検出手段のコイルを巻回したコアと、を備えている電磁石ユニットであって、前記コアの周方向に隣り合う2つの前記ラジアル方向磁力発生手段は、該2つの前記ラジアル方向磁力発生手段間で隣り合う磁極同士が同極になるように配置され、前記2つの前記ラジアル方向磁力発生手段間に低磁束干渉領域を形成し、前記ラジアル方向変位検出手段は、前記低磁束干渉領域内に配置されていることを特徴とする電磁石ユニット。
- [請求項2] 前記ラジアル方向磁力発生手段と前記ラジアル方向変位検出手段との磁気結合を低減する磁気シールド手段を備えていることを特徴とする請求項1記載の電磁石ユニット。
- [請求項3] 前記磁気シールド手段は、前記ラジアル方向磁力発生手段に取り付けられた導電性のシールドリングであることを特徴とする請求項2記載の電磁石ユニット。
- [請求項4] 前記磁気シールド手段は、前記ラジアル方向変位検出手段のコイルに覆設された導電性のシールドチューブであることを特徴とする請求項2記載の電磁石ユニット。
- [請求項5] 前記ラジアル方向磁力発生手段は、前記コアの周方向に並設されて互いに逆向きの2つの磁束を形成する3つの磁極を備えていることを特徴とする請求項1乃至4の何れか1項記載の電磁石ユニット。
- [請求項6] 前記ラジアル方向磁力発生手段は、前記コアの周方向に並設されて互いに逆向きの2つの磁束を形成する4つの磁極を備えていることを特徴とする請求項1乃至4の何れか1項記載の電磁石ユニット。
- [請求項7] 前記ラジアル方向磁力発生手段は、互いに異なる極性を前記コアの周方向に交互に並設した5つ以上の磁極を備えていることを特徴とする

請求項 1 乃至 4 の何れか 1 項記載の電磁石ユニット。

[請求項8] 前記ラジアル方向変位検出手段は、前記回転体のアキシャル方向に並設された互いに異なる 2 つの磁極を備えていることを特徴とする請求項 1 乃至 7 の何れか 1 項記載の電磁石ユニット。

[請求項9] 前記ラジアル方向変位検出手段は、前記コアの周方向に並設された互いに異なる 2 つの磁極を備えていることを特徴とする請求項 8 記載の電磁石ユニット。

[請求項10] 前記コアは、前記ラジアル方向変位検出手段の前記アキシャル方向の磁束が前記コアを通過して生じる渦電流を低減させる渦電流低減手段を備えていることを特徴とする請求項 8 又は 9 記載の電磁石ユニット。

[請求項11] 前記渦電流低減手段は、前記ラジアル方向変位検出手段の前記アキシャル方向の磁束が前記コアを通過する通過断面積を減らす構造であることを特徴とする請求項 10 記載の電磁石ユニット。

[請求項12] 前記ラジアル方向変位検出手段の前記コイルは、前記コアから前記ラジアル方向の内側に向けて突設された 2 つの爪部に巻回され、前記コイルのラジアル方向外側端から前記爪部の基端までの距離は、前記 2 つの爪部間の距離以上に長く設定されていることを特徴とする請求項 1 乃至 11 の何れか 1 項記載の電磁石ユニット。

[請求項13] 少なくとも 1 つの前記ラジアル方向磁力発生手段の磁極中心と、少なくとも 1 つの前記ラジアル方向変位検出手段の磁極中心とは、同一平面上に配置されていることを特徴とする請求項 1 乃至 12 の何れか 1 項記載の電磁石ユニット。

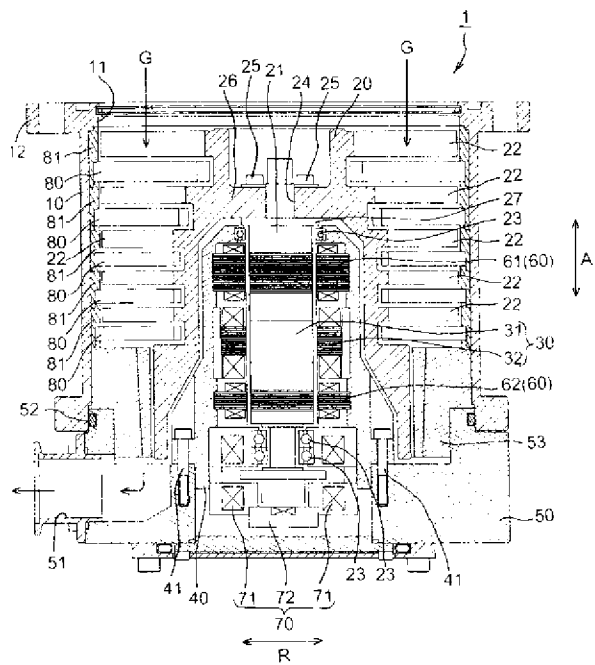
[請求項14] 請求項 1 乃至 13 の何れか 1 項記載の電磁石ユニットと、該電磁石ユニットを制御する制御手段と、を備えていることを特徴とする磁気軸受装置。

[請求項15] 前記磁気シールド手段は、前記電磁石ユニットと前記ラジアル方向変位検出手段のコイルを結線する基板との間に介装される導電性のシー

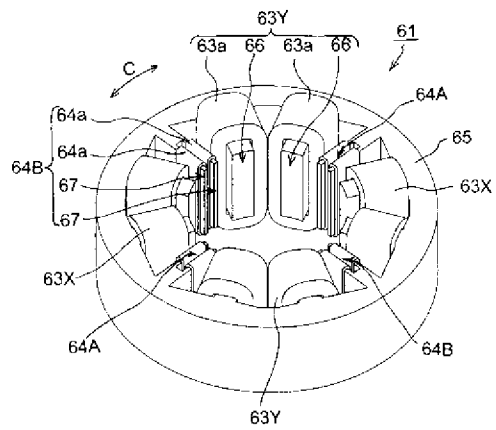
ルド板であることを特徴とする請求項 1 4 記載の磁気軸受装置。

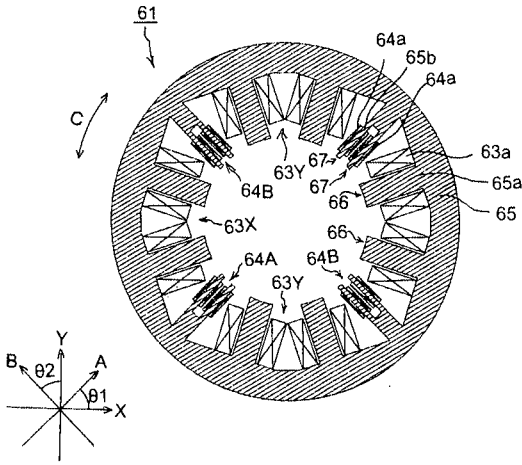
[請求項16] 請求項 1 4 又は 1 5 記載の磁気軸受装置を備えていることを特徴とする真空ポンプ。

[図1]

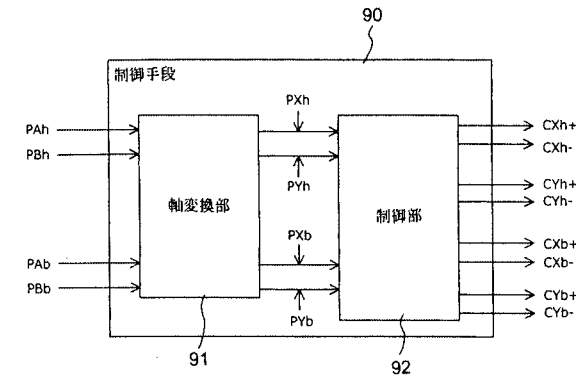


[図2]

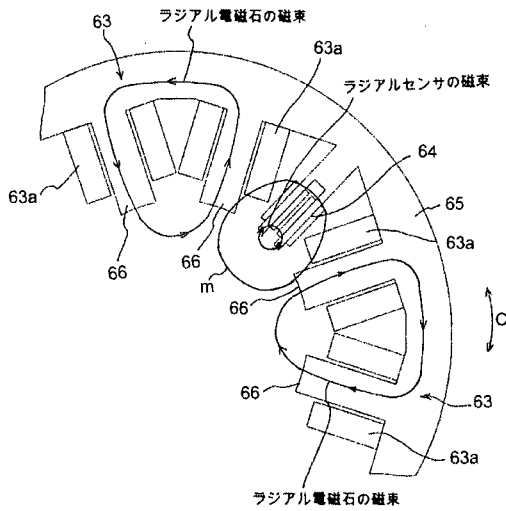




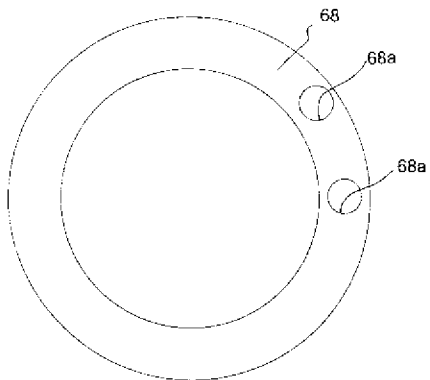
【図 4】



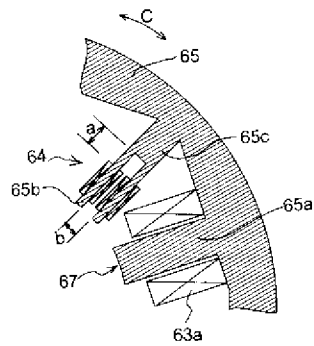
【図 5】



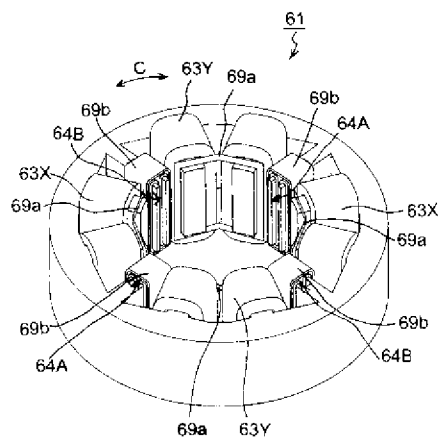
[図6]



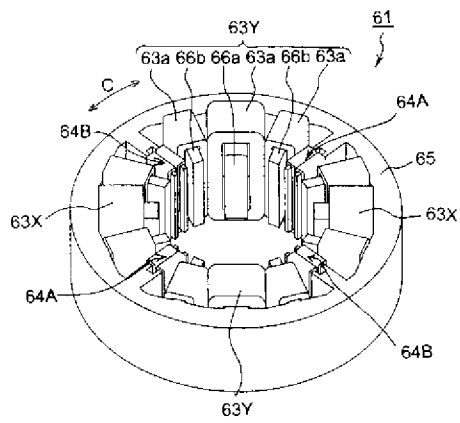
[図7]



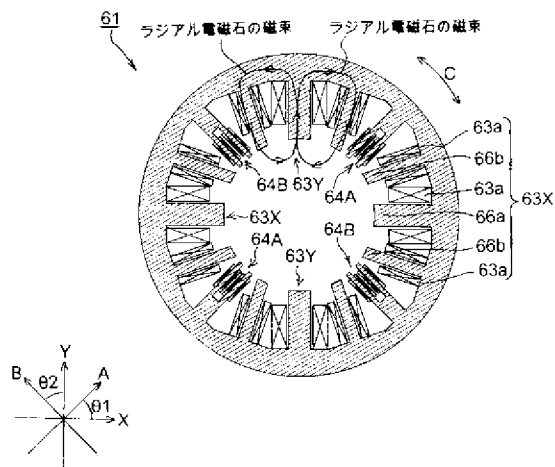
[図8]



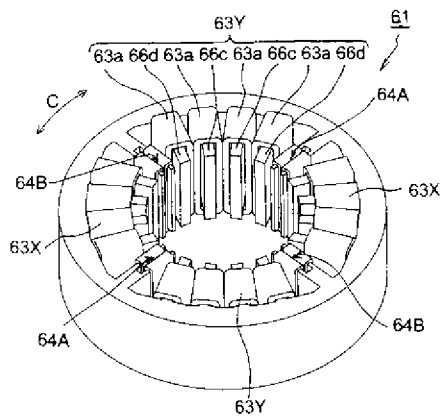
[図9]



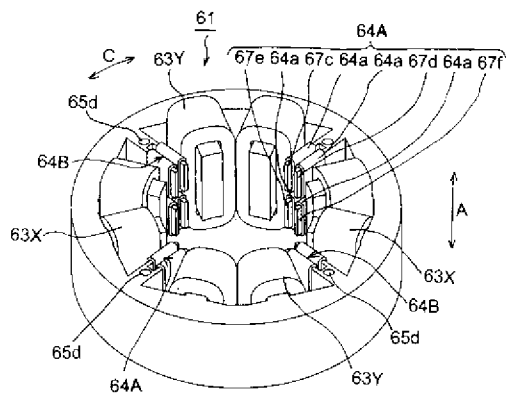
[図10]



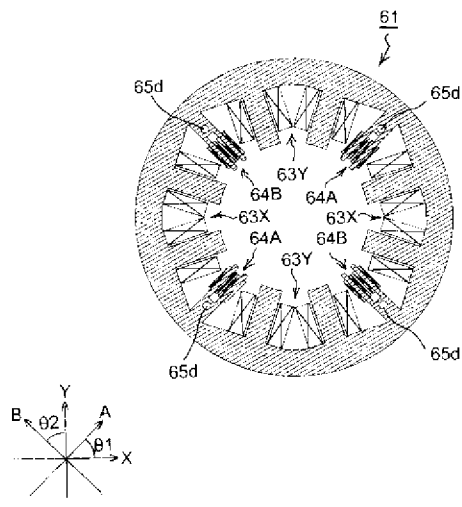
[図11]



[図15]



[図16]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/069573

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F16C32/04(2006.01)i, F04D19/04(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F16C32/04, F04D19/04, H02K7/09

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2002-199655 A (Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.), 12 July 2002 (12.07.2002), paragraphs [0022] to [0036]; fig. 1, 3 (Family: none)	1 2-9, 13-16 10-12
Y	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 094907/1989 (Laid-open No. 033219/1991) (Seiko Instruments Inc.), 02 April 1991 (02.04.1991), page 1, lines 16 to 19; page 4, line 20 to page 7, line 11; fig. 1 (Family: none)	2, 3, 5-9, 13-16

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

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
12 September 2016 (12.09.16)

Date of mailing of the international search report
20 September 2016 (20.09.16)

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/JP2016/069573

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 09-137828 A (Ebara Corp.), 27 May 1997 (27.05.1997), paragraphs [0009] to [0013]; fig. 1 (Family: none)	2, 4-9, 13-16
Y	JP 2005-076792 A (BOC Edwards Japan Ltd.), 24 March 2005 (24.03.2005), paragraphs [0054] to [0066], [0077] to [0081]; fig. 6, 7, 9(b) (Family: none)	8, 9, 13-16
A	JP 2003-148468 A (Koyo Seiko Co., Ltd.), 21 May 2003 (21.05.2003), (Family: none)	1-16
A	JP 2001-056026 A (Seiko Instruments Inc.), 27 February 2001 (27.02.2001), & EP 1076187 A2	1-16

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. F16C32/04(2006.01)i, F04D19/04(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. F16C32/04, F04D19/04, H02K7/09

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	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	JP 2002-199655 A (石川島播磨重工業株式会社) 2002. 07. 12, 段落[0022]-[0036], 図 1, 3 (ファミリーなし)	1 2-9, 13-16 10-12
Y	日本国実用新案登録出願01-094907号(日本国実用新案登録出願公開 03-033219号)の願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマ イクロフィルム (セイコー精機株式会社) 1991. 04. 02, 第1頁第16-19行, 第4頁第20行-第7頁第11行, 図1 (ファミリーなし)	2, 3, 5-9, 13-16

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

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

の日の後に公表された文献

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

国際調査を完了した日

12. 09. 2016

国際調査報告の発送日

20. 09. 2016

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)

西藤 直人

3 J

3119

電話番号 03-3581-1101 内線 3328

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 09-137828 A (株式会社荏原製作所) 1997. 05. 27, 段落[0009]-[0013], 図 1 (ファミリーなし)	2, 4-9, 13-16
Y	JP 2005-076792 A (BOCエドワーズ株式会社) 2005. 03. 24, 段落[0054]-[0066], [0077]-[0081], 図 6, 7, 9(b) (ファミリーなし)	8, 9, 13-16
A	JP 2003-148468 A (光洋精工株式会社) 2003. 05. 21, (ファミリーなし)	1-16
A	JP 2001-056026 A (セイコー精機株式会社) 2001. 02. 27, & EP 1076187 A2	1-16