

(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5月17日(17.05.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/088175 A1

(51) 国際特許分類:
H02K 19/10 (2006.01) H02K 1/22 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2017/038031

(22) 国際出願日: 2017年10月20日(20.10.2017)

(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 2016-220518 2016年11月11日(11.11.2016) JP

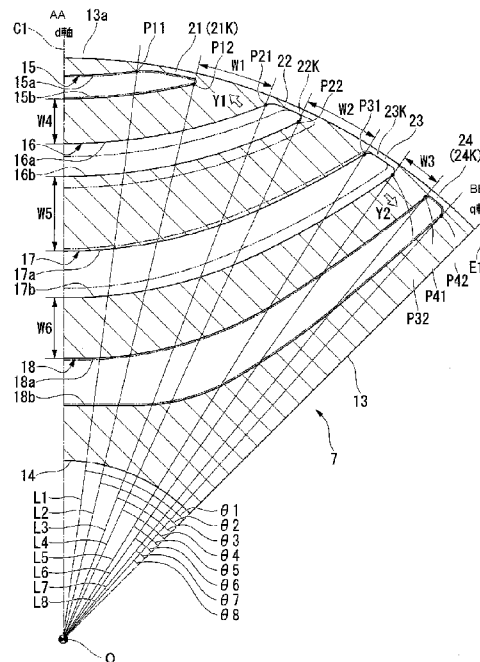
(71) 出願人: 東芝産業機器システム株式会社 (TOSHIBA INDUSTRIAL PRODUCTS AND SYSTEMS CORPORATION) [JP/JP]; 〒2120013 神奈川県川崎市幸区堀川町580番地 Kanagawa (JP). 東芝イ

ンフラシステムズ株式会社 (TOSHIBA INFRASTRUCTURE SYSTEMS & SOLUTIONS CORPORATION) [JP/JP]; 〒2120013 神奈川県川崎市幸区堀川町72番地34 Kanagawa (JP).

(72) 発明者: 竹内 活徳 (TAKEUCHI Katsutoku); 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝 知的財産室内 Tokyo (JP). 松下 真琴 (MATSUSHITA Makoto); 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝 知的財産室内 Tokyo (JP). 長谷部 寿郎 (HASEBE Toshio); 〒2120013 神奈川県川崎市幸区堀川町72番地34 東芝インフラシステムズ株式会社 技術企画部内 Kanagawa (JP). 松本 昌明 (MATSUMOTO Masaaki); 〒5108521 三重

(54) Title: SYNCHRONOUS RELUCTANCE ROTARY ELECTRIC MACHINE

(54) 発明の名称: 同期リラクタンス回転電機



AA d-axis
BB q-axis

(57) Abstract: A synchronous reluctance rotary electric machine according to one embodiment of the present invention has: a shaft; and a rotor core. The shaft rotates about a rotation axis. The rotor core is fixed to the shaft, has formed therein four layers of cavities which project radially inward per single pole, and has bridges formed between the cavities and the outer peripheral surface. In a single pole, when the center in the peripheral direction is set as the pole center, both ends in the peripheral direction are set as pole ends, and the bridges are defined as a first-layer bridge, a second-layer bridge, a



県三重郡朝日町縄生 2 1 2 1 東芝産業機器システム株式会社内 Mie (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人 志賀国際特許事務所 (SHIGA INTERNATIONAL PATENT OFFICE); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目 9 番 2 号 Tokyo (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))

third-layer bridge, and a fourth-layer bridge in order from the pole center toward the pole ends; the width in the peripheral direction between the second-layer bridge and the third-layer bridge is set larger than that between the first-layer bridge and the second-layer bridge and that between the third-layer bridge and the fourth-layer bridge.

(57) 要約: 実施形態の同期リラクタンス回転電機は、シャフトと、回転子鉄心と、を持つ。シャフトは、回転軸線回りに回転する。回転子鉄心は、シャフトに固定され、1極当りに径方向内側に向かって凸形状となる空洞部が4層形成されていると共に、各空洞部と外周面との間にそれぞれブリッジが形成されている。そして、1極のうち周方向中央を極中心とし、周方向両端を極端とし、複数の前記ブリッジを、前記極中心から前記極端に向かって順に1層目ブリッジ、2層目ブリッジ、3層目ブリッジ、4層目ブリッジとしたとき、2層目ブリッジと3層目ブリッジとの間の周方向の幅を、1層目ブリッジと2層目ブリッジとの間の周方向の幅、および3層目ブリッジと4層目ブリッジとの間の周方向の幅よりも広く設定した。

明 細 書

発明の名称：同期リラクタンス回転電機

技術分野

[0001] 本発明の実施形態は、同期リラクタンス回転電機に関する。

背景技術

[0002] 同期リラクタンス型回転電機は、回転子と、固定子と、を備えている。回転子は、回転可能に軸支されて回転軸中心で軸方向に延びるシャフトと、シャフトに外嵌固定される回転子鉄心と、を備えている。固定子は、回転子鉄心の外周に、この回転子鉄心と間隔をあけて配置されている。固定子は、互いに周方向に間隔をあけて配列された複数のティースを有する固定子鉄心と、複数のティースにそれぞれ巻回された複数極の多相の電機子巻線と、を備えている。

[0003] 回転子鉄心には、1極当り複数の空洞部が径方向に並んで形成されている。各空洞部は、電機子巻線に通電した際に形成される磁束の流れに沿うように、極中心が最も径方向内側に位置するように、径方向内側に向かって湾曲形成されている場合が多い。

このように空洞部を形成することにより、回転子鉄心に、磁束の流れ易い方向と磁束の流れにくい方向とが形成される。このような構成のもと、同期リラクタンス型回転電機は、空洞部によって発生するリラクタンストルクを利用し、シャフトを回転させる。

[0004] ところで、固定子鉄心の各ティース間に形成されるスロットは、磁束が流れにくい箇所である。このため、ティースとスロットとの間で磁束密度が急激に変化する（以下、この磁束密度の急激な変化を固定子の磁氣的凹凸という）。一方、回転子鉄心も、リラクタンストルクを発生させるべく形成した空洞部によって、磁束密度が急激に変化する箇所が複数箇所形成される（以下、この磁束密度の急激な変化を回転子の磁氣的凹凸という）。そして、これら固定子の磁氣的凹凸と回転子の磁氣的凹凸との相互作用によって、トル

クリップルが発生する。また、トルクリップルは、固定子鉄心の磁氣的凹凸と回転子鉄心の磁氣的凹凸とが共振すると大きくなってしまいう可能性があった。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：日本国特開2014-193076号公報

特許文献2：日本国特許第5866074号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 本発明が解決しようとする課題は、トルクリップルを低減できる同期リラクタンス回転電機を提供することである。

課題を解決するための手段

[0007] 実施形態の同期リラクタンス回転電機は、シャフトと、回転子鉄心と、を持つ。シャフトは、回転軸線回りに回転する。回転子鉄心は、シャフトに固定され、1極当りに径方向内側に向かって凸形状となる空洞部が4層形成されていると共に、各空洞部と外周面との間にそれぞれブリッジが形成されている。そして、1極のうち周方向中央を極中心とし、周方向両端を極端とし、複数の前記ブリッジを、前記極中心から前記極端に向かって順に1層目ブリッジ、2層目ブリッジ、3層目ブリッジ、4層目ブリッジとしたとき、2層目ブリッジと3層目ブリッジとの間の周方向の幅を、1層目ブリッジと2層目ブリッジとの間の周方向の幅、および3層目ブリッジと4層目ブリッジとの間の周方向の幅よりも広く設定した。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]実施形態の液圧ポンプを示す概略構成図。

[図2]実施形態の回転電機の一部の構成を示す回転軸に直交する断面図。

[図3]図2のA部拡大図。

[図4]実施形態の各空洞部の長手方向両端部の形状を示す説明図。

[図5]実施形態の回転子鉄心の磁束の通り易さの変化を示すグラフ。

[図6]実施形態の固定子鉄心および回転子鉄心の磁束の通り易さの変化を比較したグラフ。

[図7]実施形態の回転電機のトルクの変化を、各ブリッジ間の周方向の幅を等間隔とした場合と、各ブリッジ間の周方向の幅を所定幅に設定した場合とで比較したグラフ。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、実施形態の同期リラクタンス回転電機を、図面を参照して説明する。

[0010] 図1は、同期リラクタンス回転電機（以下、単に回転電機という）1が組み込まれた液压ポンプ100の概略構成図である。

同図に示すように、液压ポンプ100は、ポンプ部2とポンプ部2を駆動する回転電機1と、により構成されている。ポンプ部2は、水密性を有するポンプケーシング3内に不図示のポンプ本体を収納したものである。このポンプ本体に、回転電機1の駆動力が伝達される。ポンプ本体が駆動することにより、ポンプケーシング3内外に液体が吸入吐出される。

[0011] 一方、回転電機1は、電動機ケーシング4と、電動機ケーシング4内に収納された後述の固定子6、および回転子7と、により構成されている。電動機ケーシング4とポンプケーシング3は、互いに水密性を確保可能なように、例えばボルト等を介して連結されている。電動機ケーシング4には、固定子6に電流を供給するための給電ボックス5が設けられている。

[0012] 図2は、回転電機1の一部の構成を示す回転軸12に直交する断面図である。なお、図2では、回転電機1の1/4セクター、すなわち、1/4周の周角度領域分のみを示している。

同図に示すように、回転電機1は、略円筒状の固定子6と、固定子6よりも径方向内側に設けられ、固定子6に対して回転自在に設けられた回転子7と、を備えている。なお、固定子6および回転子7は、それぞれの中心軸線が共通軸上に位置した状態で配置されている。以下、共通軸を中心軸（回転

軸線) Oと称し、中心軸Oに直交する方向を径方向と称し、中心軸O回りに周回する方向を周方向と称して説明する。

[0013] 固定子6は、略円筒状の固定子鉄心8を有している。固定子鉄心8は、電磁鋼板を複数枚積層したり、軟磁性粉を加圧成形したりして形成することが可能である。固定子鉄心8の内周面には、中心軸Oに向かって突出し、周方向に等間隔で配列された複数のティース9が一体成形されている。例えば本実施形態では、ティース9の数は、「36」に設定されている。

[0014] ティース9は、径方向に沿う断面が略T字状に形成されている。そして、隣接するティース9間に1つのスロット10が配置するように、複数のスロット10及び複数のティース9が周方向に等間隔で形成されている。スロット10の数も、ティース9の数と同数になる。すなわち、例えば本実施形態では、スロット10の数は、「36」に設定される。

そして、これらスロット10を介し、各ティース9に電機子巻線11が巻回されている。各ティース9には、インシュレータや絶縁被膜の上から電機子巻線11が巻回される。

[0015] 回転子7は、中心軸Oに沿って延びる回転軸12と、回転軸12に外嵌固定された略円柱状の回転子鉄心13と、を備えている。

回転子鉄心13は、電磁鋼板を複数枚積層したり、軟磁性粉を加圧成形したりして形成することが可能である。回転子鉄心13の外径は、回転子鉄心13と径方向で対向する各ティース9との間に、所定のエアギャップGが形成されるように設定されている。

また、回転子鉄心13の径方向中央には、中心軸Oに沿って貫通する貫通孔14が形成されている。この貫通孔14に、回転軸12が圧入等され、回転軸12と回転子鉄心13とが一体となって回転する。

[0016] さらに、回転子鉄心13には、1/4周の周角度領域のそれぞれに、4層の空洞部（フラックスバリア）15、16、17、18（第1空洞部15、第2空洞部16、第3空洞部17、第4空洞部18）が径方向に並んで形成されている。すなわち、径方向最外側（回転軸12から最も離れた位置）に

第1空洞部15が形成され、この第1空洞部15から径方向内側に向かって順に第2空洞部16、第3空洞部17、第4空洞部18が並んで形成されている。そして、第4空洞部18が径方向最内側（回転軸12に最も近い位置）に配置されている。

[0017] また、各空洞部15～18は、電機子巻線11に通電した際に形成される磁束の流れに沿うように形成されている。つまり、各空洞部15～18は、周方向の中央が最も径方向内側に位置するように（径方向内側に向かって凸形状となるように）、湾曲形成されている。これにより、回転子鉄心13には、磁束の流れ易い方向と磁束の流れにくい方向が形成される。

[0018] ここで、本実施形態において、磁束の流れ易い方向をq軸と称する。また、q軸に対して電氣的、磁氣的に直交する径方向に沿った方向をd軸と称する。すなわち、各空洞部15～18は、d軸に沿った径方向において、多層構造となる。

より詳しくは、回転子鉄心13においてq軸方向は、各空洞部15～18によって磁束の流れが妨げられない方向をq軸と称する。すなわち、回転子鉄心13の外周面13aの任意の周角度位置に正の磁位（例えば磁石のN極を近づける）を与える。また、正の磁位に対して1極分（本実施形態の場合は機械角で90度）ずれた他の任意の周角度位置に負の磁位（例えば磁石のS極を近づける）を与える。そして、このような正の磁位及び負の磁位の位置を周方向へずらしていった場合に最も多くの磁束が流れる時の中心軸Oから任意の位置に向かう方向をq軸と定義する。そして、各空洞部15～18の長手方向がq軸である。

[0019] 一方、各空洞部15～18によって磁束の流れが妨げられる方向、すなわちq軸に対して磁氣的に直交する方向をd軸と称する。本実施形態では、各空洞部15～18によって、中心軸Oに近い領域と遠い領域に分離された2つの回転子鉄心部分が対向する方向に対して平行な方向がd軸である。また、各空洞部15～18が多層に形成されている場合（本実施形態では4層）、層の重なり方向がd軸である。本実施形態では、d軸は、q軸に対して電

氣的、磁氣的に直交するのに限らず、直交する角度からある程度の角度幅（例えば機械角で10度程度）をもって交わってよい。

[0020] このように、回転子鉄心13は、4極に構成されており、1極当り（回転子鉄心13の1/4周の周角度領域）に4層の空洞部15, 16, 17, 18が形成されていることになる。そして、1極とは、q軸間の領域をいう。

なお、以下の説明では、d軸を極中心C1と称し、q軸（1/4周の周角度領域の周方向両端）を極端E1と称して説明する場合がある。つまり、各空洞部15～18は、極中心C1が最も径方向内側に位置するように、径方向内側に向かって湾曲されていることになる。

[0021] また、各空洞部15～18は、中心軸O方向からみて長手方向両端が回転子鉄心13の外周面13a近傍に位置するように湾曲形成されている。そして、各空洞部15～18は、長手方向両端に近い箇所ほどq軸方向に沿うように、且つ長手方向中央に近い箇所ほどd軸と直交するように形成されている。さらに、各空洞部15～18は、第1空洞部15から順に開口面積が大きくなるように形成されている。

[0022] 図3は、図2のA部拡大図である。

同図に示すように、各空洞部15～18の周方向両端と回転子鉄心13の外周面13aとの間には、それぞれブリッジ21, 22, 23, 24（第1ブリッジ21、第2ブリッジ22、第3ブリッジ23、第4ブリッジ24）が形成されている。詳述すると、ブリッジ21～24とは、各空洞部15～18における回転子鉄心13の外周部寄りで、且つその肉厚が急激に変化する範囲に形成されているものをいう。なお、肉厚とは、回転子鉄心13の外周面13aの法線方向に沿った厚さのことをいう。

[0023] さらに、ブリッジ21～24について、以下に詳述する。

ブリッジ21～24を詳述するにあたって、まず、図3、図4に基づいて、各空洞部15～18の長手方向両端の形状について詳述する。

図4は、各空洞部15～18の長手方向両端部の形状を説明するための説明図である。

なお、各空洞部 15～18 の長手方向両端部の形状の基本的構成は同一であるので、図 4 では、1 つの空洞部に符号 15～18 を付して説明する。

[0024] 図 3、図 4 に示すように、各空洞部 15～18 は、電機子巻線 11 に通電した際に形成される磁束の流れに沿うように形成されている。このため、各空洞部 15～18 の短手方向で対向する 2 つの内側面 15 a, 15 b, 16 a, 16 b, 17 a, 17 b, 18 a, 18 b は、1 つの曲率半径によって形成されているのではなく、複数の曲率半径を有する曲線の集合体からなる。

[0025] ここで、各空洞部 15～18 の内側面 15 a～18 b は、中央の大部分が径方向内側に向かって凸形状となるように湾曲形成されているが、各空洞部 15～18 の内側面 15 a～18 b のうち、回転軸 12 側とは反対側の内側面 15 a, 16 a, 17 a, 18 a の長手方向両端には、径方向外側に向かって凸形状となるように湾曲形成された外向き湾曲面 15 c, 16 c, 17 c, 18 c が形成されている。すなわち、各空洞部 15～18 は、内側面 15 a, 16 a, 17 a, 18 a と外向き湾曲面 15 c, 16 c, 17 c, 18 c との接続箇所に、それぞれ変曲点 P 11, P 21, P 31, P 41 が存在している。

[0026] 一方、各空洞部 15～18 の内側面 15 a～18 b のうち、回転軸 12 側の内側面 15 b, 16 b, 17 b, 18 b の長手方向両端には、曲率半径が急激に小さくなる小弧状面 15 d, 16 d, 17 d, 18 d が形成されている。すなわち、各空洞部 15～18 は、内側面 15 b, 16 b, 17 b, 18 b と小弧状面 15 d, 16 d, 17 d, 18 d との接続箇所に、それぞれ曲率変化点 P 12, P 22, P 32, P 42 が存在している。

そして、各ブリッジ 21～24 は、各空洞部 15～18 における回転子鉄心 13 の外周部寄りで、且つ変曲点 P 11, P 21, P 31, P 41 と曲率変化点 P 12, P 22, P 32, P 42 との間の肉厚部分をいう。

[0027] ここで、

(1) 第 2 ブリッジ 22 と第 3 ブリッジ 23 との間の周方向の幅（周長）W

2は、第1ブリッジ21と第2ブリッジ22との間の周方向の幅（周長） W_1 、および第3ブリッジ23と第4ブリッジ24との間の周方向の幅（周長） W_3 よりも長く設定されている（以下、条件1という）。

また、各空洞部15～18が何れも径方向内側に向かって凸形状となるように湾曲形成されていることから、各ブリッジ21～24間の周方向の幅 W_1 ～ W_3 を上記条件（1）のように設定することにより、以下のように設定される。

（2）すなわち、第2空洞部16と第3空洞部17との間の幅 W_5 は、第1空洞部15と第2空洞部との間の幅 W_4 、および第3空洞部17と第4空洞部18との間の幅 W_6 よりも長く設定されている（以下、条件2という）。なお、各空洞部15～18間の幅 W_4 ～ W_6 の大きさの関係は、任意の何れの箇所も同様の大きさの関係に設定されている。

[0028] ここで、上記条件（1）、条件（2）のように各幅 W_1 ～ W_6 を設定するための具体的な各空洞部15～18の形成位置について説明する。

すなわち、図3に二点鎖線で示すように、各ブリッジ21～24間の周方向の幅 W_1 ～ W_3 がそれぞれ等間隔になるように各空洞部15～18を配置した場合の各ブリッジ21～24の位置を、それぞれ第1基準ブリッジ位置21K、第2基準ブリッジ位置22K、第3基準ブリッジ位置23K、および第4基準ブリッジ位置24Kとする。そして、第1ブリッジ21および第4ブリッジ24は、それぞれ対応する第1基準ブリッジ位置21Kおよび第4基準ブリッジ位置24Kと同一位置に配置される。

[0029] これに対し、第2ブリッジ22は、第2基準ブリッジ位置22Kから第1基準ブリッジ位置21K（第1ブリッジ21）寄りに変位（図3における矢印Y1参照）させた位置に配置される。また、第3ブリッジ23は、第3基準ブリッジ位置23Kから第4基準ブリッジ位置24K（第4ブリッジ24）寄りに変位（図3における矢印Y2参照）させた位置に配置される。

これにより、各ブリッジ21～24間の周方向の幅 W_1 ～ W_3 を、上記条件（1）のように設定することができる。この結果、各空洞部15～18間

の幅 $W4 \sim W6$ を、上記条件(2)のように設定することができる。

[0030] このような条件(1)を満たす場合の最適値について、以下に説明する。

すなわち、中心軸 O と第1ブリッジ21(第1空洞部15)の変曲点 $P11$ とを通る第1直線 $L1$ と、極端 $E1$ との間の角度を $\theta1$ とし、中心軸 O と第1ブリッジ21(第1空洞部15)の曲率変化点 $P12$ とを通る第2直線 $L2$ と、極端 $E1$ との間の角度を $\theta2$ とし、中心軸 O と第2ブリッジ22(第2空洞部16)の変曲点 $P21$ とを通る第3直線 $L3$ と、極端 $E1$ との間の角度を $\theta3$ とし、中心軸 O と第2ブリッジ22(第2空洞部16)の曲率変化点 $P22$ とを通る第4直線 $L4$ と、極端 $E1$ との間の角度を $\theta4$ とし、中心軸 O と第3ブリッジ23(第3空洞部17)の変曲点 $P31$ とを通る第5直線 $L5$ と、極端 $E1$ との間の角度を $\theta5$ とし、中心軸 O と第3ブリッジ23(第3空洞部17)の曲率変化点 $P32$ とを通る第6直線 $L6$ と、極端 $E1$ との間の角度を $\theta6$ とし、中心軸 O と第4ブリッジ24(第4空洞部18)の変曲点 $P41$ とを通る第7直線 $L7$ と、極端 $E1$ との間の角度を $\theta7$ とし、中心軸 O と第4ブリッジ24(第4空洞部18)の曲率変化点 $P42$ とを通る第8直線 $L8$ と、極端 $E1$ との間の角度を $\theta8$ としたとき、角度 $\theta1 \sim \theta8$ は、それぞれ

$$\theta1 = 3.2^\circ、\theta2 = 5.5^\circ、\theta3 = 9.4^\circ、\theta4 = 12.8^\circ、\theta5 = 20^\circ、\theta6 = 23.3^\circ、\theta7 = 31^\circ、\theta8 = 36.6^\circ \dots$$

(1)

を満たすように設定されている。

[0031] 次に、図5、図6に基づいて、上記式(1)のように角度 $\theta1 \sim \theta8$ を設定した回転子鉄心13と、ティース9およびスロット10の数が「36」に設定された固定子鉄心8との相互作用について説明する。

図5は、縦軸を回転子鉄心13の磁束の通り易さとし、横軸を回転子鉄心13の位置(回転角[deg])とした場合の回転子鉄心13の磁束の通り易さの変化を示すグラフである。

同図に示すように、各空洞部15～18を形成することにより、回転子鉄

心 1 3 の極中心 C 1（回転角 0° 位置）から極端 E 1（回転角 45° 位置）に至る間に、磁束の通り易さが変化することが確認できる。ここで、各ブリッジ 2 1 ～ 2 4 に対応する位置にそれぞれ空洞部 1 5 ～ 1 8 が形成されているので、各ブリッジ 2 1 ～ 2 4 に対応する位置では、磁束が通りにくくなる。

[0032] 図 6 は、縦軸を固定子鉄心 8 および回転子鉄心 1 3 の磁束の通り易さとし、横軸を固定子鉄心 8 および回転子鉄心 1 3 の位置（回転角 [deg]）とした場合の固定子鉄心 8 および回転子鉄心 1 3 の磁束の通り易さの変化を比較したグラフである。なお、図 6 では、説明を分かり易くするために、磁束の通り易さの変化を矩形波に簡素化して示している。

同図に示すように、固定子鉄心 8 では、スロット 1 0 に対応する箇所が空間となるため、磁束が通りにくくなる。これを固定子鉄心 8 の磁束の通り易さの変化のグラフ（図 6 中、破線で示す）と、回転子鉄心 1 3 の磁束の通り易さの変化のグラフ（図 6 中実線で示す）とを重ね合わせて比較すると、磁束の通りにくい箇所、つまり、磁束の通り易さが「0」となる箇所が、殆ど存在しないことが確認できる。

[0033] ここで、前述したように、固定子 6 の磁氣的凹凸と回転子 7 の磁氣的凹凸との相互作用によって、トルクリップルが発生する。すなわち、図 6 中、磁束の通り易さが「0」となる箇所が多ければ多いほど、磁束密度の急激な変化が起きる回数が増えることになり、トルクリップルが大きくなりやすい。このため、磁束の通り易さが「0」となる箇所が、殆ど存在しない本実施形態の回転子鉄心 1 3 では、トルクリップルを低減できる。

[0034] 図 7 は、縦軸をトルクとし、横軸を回転子 7 の電気角としたときの回転電機 1 のトルクの変化を示し、各ブリッジ 2 1 ～ 2 4 間の周方向の幅 $W_1 \sim W_3$ を等間隔とした場合と、各ブリッジ 2 1 ～ 2 4 間の周方向の幅 $W_1 \sim W_3$ を、上記式（1）を満たすように設定した場合と、を比較している。

同図に示すように、各ブリッジ 2 1 ～ 2 4 間の周方向の幅 $W_1 \sim W_3$ を、上記式（1）を満たすように設定した場合、各ブリッジ 2 1 ～ 2 4 間の周方

向の幅 $W1 \sim W3$ を等間隔とした場合と比較してトルクの変化（トルクリップル）が低減されていることが確認できる。

[0035] このように、上述の実施形態では、各ブリッジ21～24間の周方向の幅 $W1 \sim W3$ を、上記条件1を満たすように設定している。また、各空洞部15～18間の幅 $W4 \sim W6$ を、上記条件2を満たすように設定している。このため、回転電機1のトルク性能を低下させることなく、トルクリップルを低減でき、回転電機1の性能を向上できる。

[0036] そして、各幅 $W1 \sim W6$ を、上記条件（1）、条件（2）を満たすために、第1ブリッジ21および第4ブリッジ24を、それぞれ対応する第1基準ブリッジ位置21Kおよび第4基準ブリッジ位置24Kと同一位置に配置している。これに対し、第2ブリッジ22を、第2基準ブリッジ位置22Kから第1基準ブリッジ位置21K（第1ブリッジ21）寄りに変位させた位置に配置している。さらに、第3ブリッジ23を、第3基準ブリッジ位置23Kから第4基準ブリッジ位置24K（第4ブリッジ24）寄りに変位させた位置に配置している。このため、回転電機1のトルクが低減してしまうことを防止しつつ、トルクリップルを効果的に低減できる。

[0037] また、固定子鉄心8のティース9およびスロット10の数を「36」に設定すると共に、回転子鉄心13を4極に構成し、回転子鉄心13の1極当り（回転子鉄心13の1／4周の周角度領域）に4層の空洞部15，16，17，18を形成した回転電機1において、各ブリッジ21～24間の周方向の幅 $W1 \sim W3$ を、上記式（1）を満たすように設定することにより、トルクリップルを最も効果的に低減できる。

[0038] なお、上述の実施形態では、回転子鉄心13の各空洞部15～18は、極中心 $C1$ が最も径方向内側に位置するように、径方向内側に向かって湾曲されている場合について説明した。しかしながら、これに限られるものではなく、各空洞部15～18が q 軸方向に沿っていればよい。例えば、中心軸 O 方向からみて、各空洞部15～18が略V字状や少なくとも一部が直線状となるように形成されていてもよい。

- [0039] また、上述の実施形態では、回転電機 1 にポンプ部 2 を連結し、液圧ポンプ 100 とした場合について説明した。しかしながら、これに限られるものではなく、回転電機 1 をさまざまな用途に使用することが可能である。
- [0040] 以上説明した少なくともひとつの実施形態によれば、各ブリッジ 21～24 間の周方向の幅 $W1 \sim W3$ を、上記条件 1 を満たすように設定している。また、各空洞部 15～18 間の幅 $W4 \sim W6$ を、上記条件 2 を満たすように設定している。このため、回転電機 1 のトルク性能を低下させることなく、トルクリップルを低減でき、回転電機 1 の性能を向上できる。
- [0041] そして、各幅 $W1 \sim W6$ を、上記条件 (1)、条件 (2) を満たすために、第 1 ブリッジ 21 および第 4 ブリッジ 24 を、それぞれ対応する第 1 基準ブリッジ位置 21K および第 4 基準ブリッジ位置 24K と同一位置に配置している。これに対し、第 2 ブリッジ 22 を、第 2 基準ブリッジ位置 22K から第 1 基準ブリッジ位置 21K (第 1 ブリッジ 21) 寄りに変位させた位置に配置している。さらに、第 3 ブリッジ 23 を、第 3 基準ブリッジ位置 23K から第 4 基準ブリッジ位置 24K (第 4 ブリッジ 24) 寄りに変位させた位置に配置している。このため、回転電機 1 のトルクが低減してしまうことを防止しつつ、トルクリップルを効果的に低減できる。
- [0042] また、固定子鉄心 8 のティース 9 およびスロット 10 の数を「36」に設定すると共に、回転子鉄心 13 を 4 極に構成し、回転子鉄心 13 の 1 極当り (回転子鉄心 13 の $1/4$ 周の周角度領域) に 4 層の空洞部 15, 16, 17, 18 を形成した回転電機 1 において、各ブリッジ 21～24 間の周方向の幅 $W1 \sim W3$ を、上記式 (1) を満たすように設定することにより、トルクリップルを最も効果的に低減できる。
- [0043] 本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると同様に、特

許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれるものである。

請求の範囲

[請求項1]

回転軸線回りに回転するシャフトと、

前記シャフトに固定され、1極当りに径方向内側に向かって凸形状となる空洞部が4層形成されていると共に、各前記空洞部と外周面との間にそれぞれブリッジが形成された回転子鉄心と、
を備え、

1極のうち周方向中央を極中心とし、周方向両端を極端とし、複数の前記ブリッジを、前記極中心から前記極端に向かって順に1層目ブリッジ、2層目ブリッジ、3層目ブリッジ、4層目ブリッジとしたとき、

前記2層目ブリッジと前記3層目ブリッジとの間の周方向の幅を、前記1層目ブリッジと前記2層目ブリッジとの間の周方向の幅、および前記3層目ブリッジと前記4層目ブリッジとの間の周方向の幅よりも広く設定した
同期リラクタンس回転電機。

[請求項2]

4層の前記空洞部を、前記シャフトから最も離れた前記空洞部から前記シャフトに向かって順に1層目空洞部、2層目空洞部、3層目空洞部、4層目空洞部としたとき、

前記2層目空洞部と前記3層目空洞部との間の幅を、前記1層目空洞部と前記2層目空洞部との間の幅、および前記3層目空洞部と前記4層目空洞部との間の幅よりも広く設定した
請求項1に記載の同期リラクタンス回転電機。

[請求項3]

前記1層目ブリッジと前記2層目ブリッジとの間の周方向の幅、前記2層目ブリッジと前記3層目ブリッジとの間の周方向の幅、および前記3層目ブリッジと前記4層目ブリッジとの間の周方向の幅をそれぞれ等間隔としたときの前記1層目ブリッジ、前記2層目ブリッジ、前記3層目ブリッジ、および前記4層目ブリッジの位置を、それぞれ第1基準ブリッジ位置、第2基準ブリッジ位置、第3基準ブリッジ位

置、および第4基準ブリッジ位置としたとき、

前記第1基準ブリッジ位置に前記1層目ブリッジを形成し、

前記第4基準ブリッジ位置に前記4層目ブリッジを形成し、

前記第2基準ブリッジ位置から前記第1基準ブリッジ位置寄りに変位させた位置に前記2層目ブリッジを形成し、

前記第3基準ブリッジ位置から前記第4基準ブリッジ位置寄りに変位させた位置に前記3層目ブリッジを形成した

請求項1または請求項2に記載の同期リラクタンس回転電機。

[請求項4]

前記回転子鉄心の周囲を取り囲むように筒状に形成され、且つ巻線が挿通されるスロットを36個有する固定子鉄心を備え、

各前記空洞部の前記ブリッジ側の縁部は、前記外周面に向かうに従って径方向内側に向かって凸となる曲線から径方向外側に向かって凸となる曲線へと変化する変曲点と、曲率半径の大きさが急激に変化する曲率変化点と、を有し、

前記回転軸線と前記1層目ブリッジの前記変曲点とを通る第1直線と、前記極端と、の間の角度を $\theta 1$ とし、

前記回転軸線と前記1層目ブリッジの前記曲率変化点とを通る第2直線と、前記極端と、の間の角度を $\theta 2$ とし、

前記回転軸線と前記2層目ブリッジの前記変曲点とを通る第3直線と、前記極端と、の間の角度を $\theta 3$ とし、

前記回転軸線と前記2層目ブリッジの前記曲率変化点とを通る第4直線と、前記極端と、の間の角度を $\theta 4$ とし、

前記回転軸線と前記3層目ブリッジの前記変曲点とを通る第5直線と、前記極端と、の間の角度を $\theta 5$ とし、

前記回転軸線と前記3層目ブリッジの前記曲率変化点とを通る第6直線と、前記極端と、の間の角度を $\theta 6$ とし、

前記回転軸線と前記4層目ブリッジの前記変曲点とを通る第7直線と、前記極端と、の間の角度を $\theta 7$ とし、

前記回転軸線と前記4層目ブリッジの前記曲率変化点とを通る第8直線と、前記極端と、の間の角度を $\theta 8$ としたとき、各前記角度は、

$$\theta 1 = 3.2^{\circ}$$

$$\theta 2 = 5.5^{\circ}$$

$$\theta 3 = 9.4^{\circ}$$

$$\theta 4 = 12.8^{\circ}$$

$$\theta 5 = 20^{\circ}$$

$$\theta 6 = 23.3^{\circ}$$

$$\theta 7 = 31^{\circ}$$

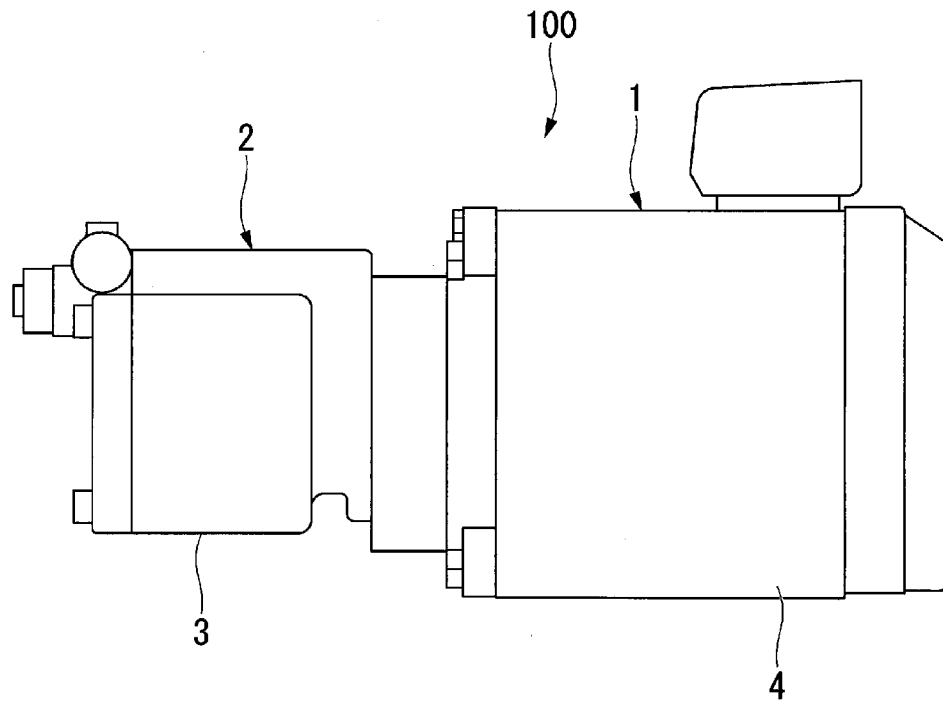
$$\theta 8 = 36.6^{\circ}$$

を満たすように設定されている

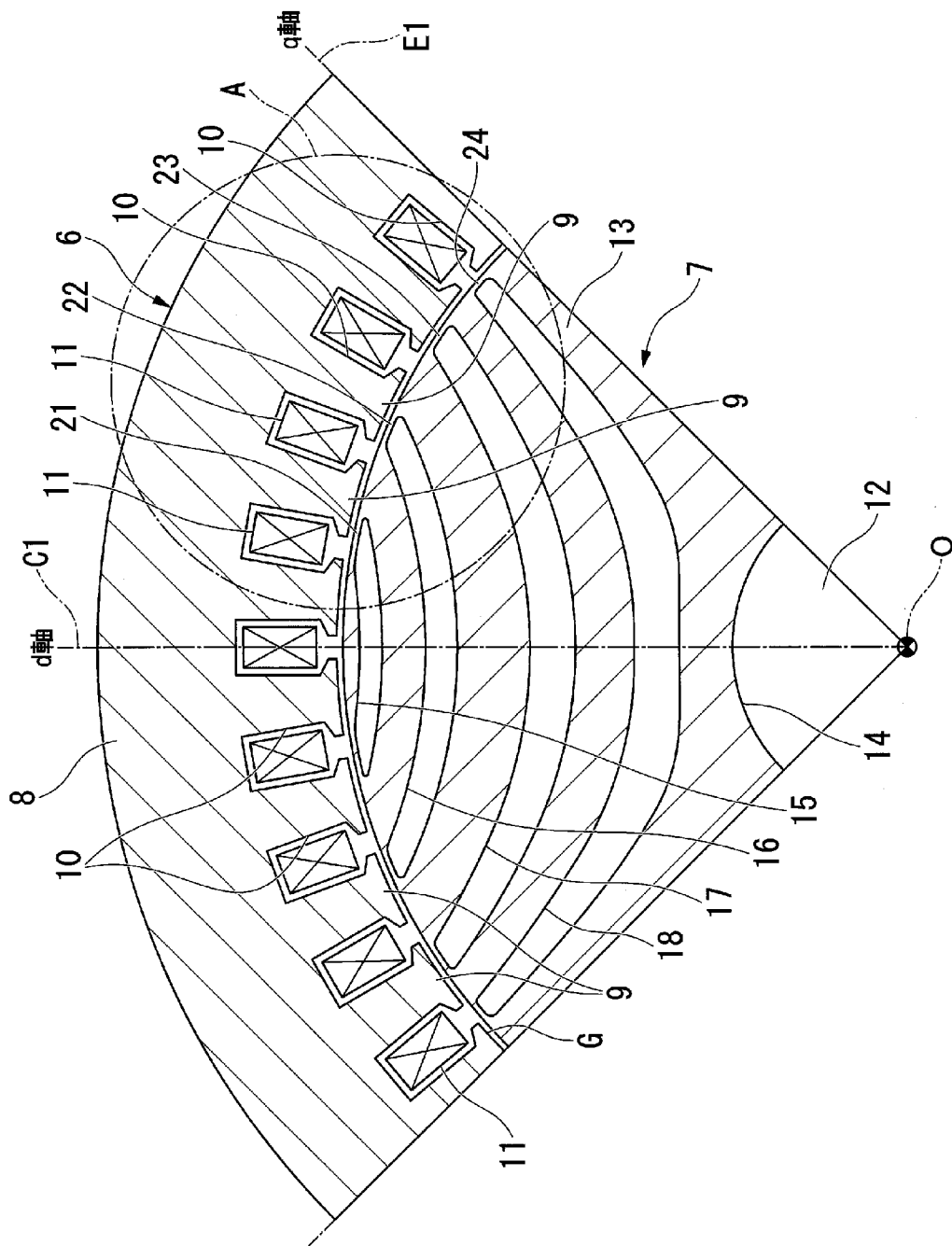
請求項1～請求項3の何れか1項に記載の同期リラクタンس回転電機

。

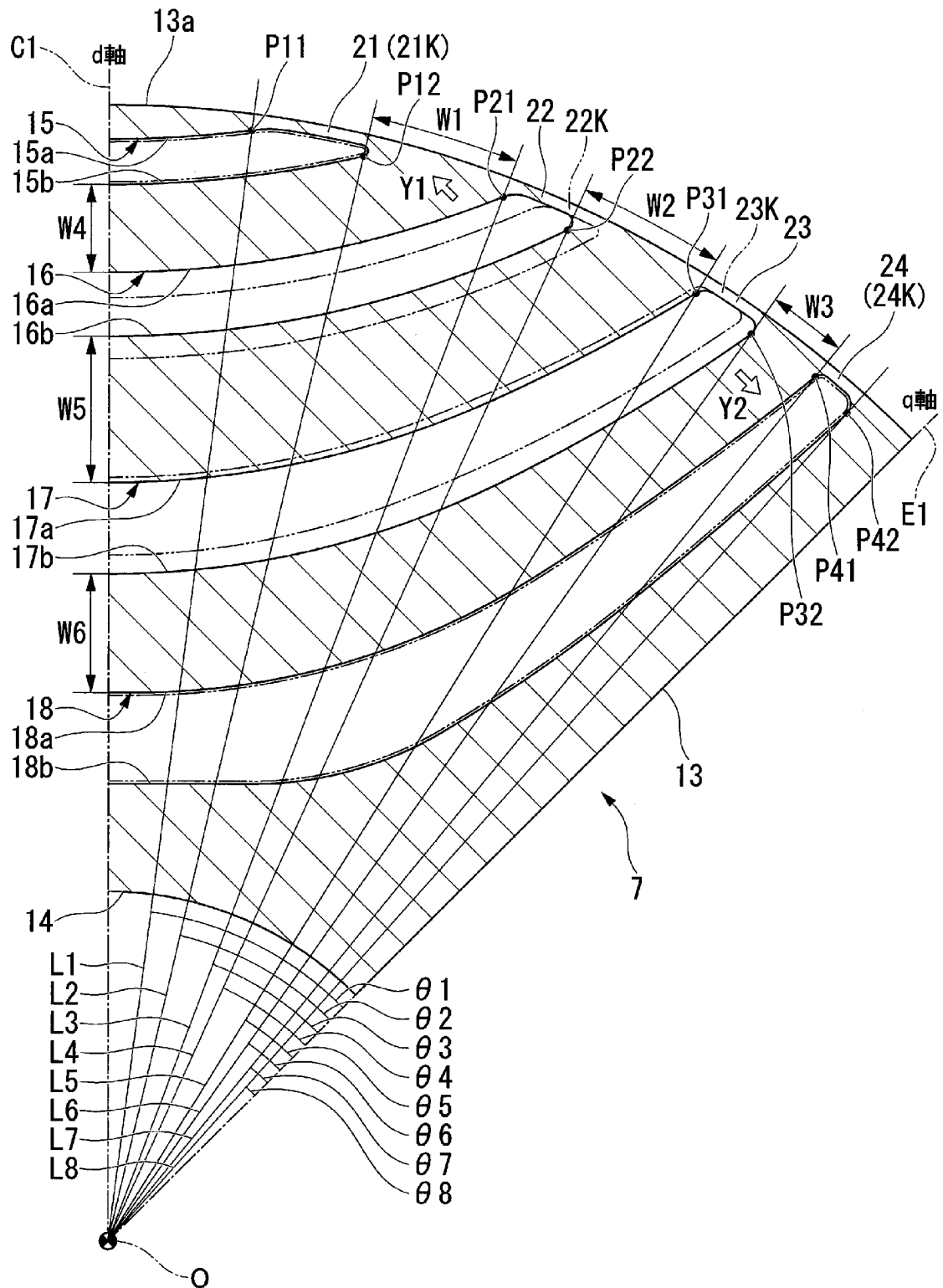
[図1]



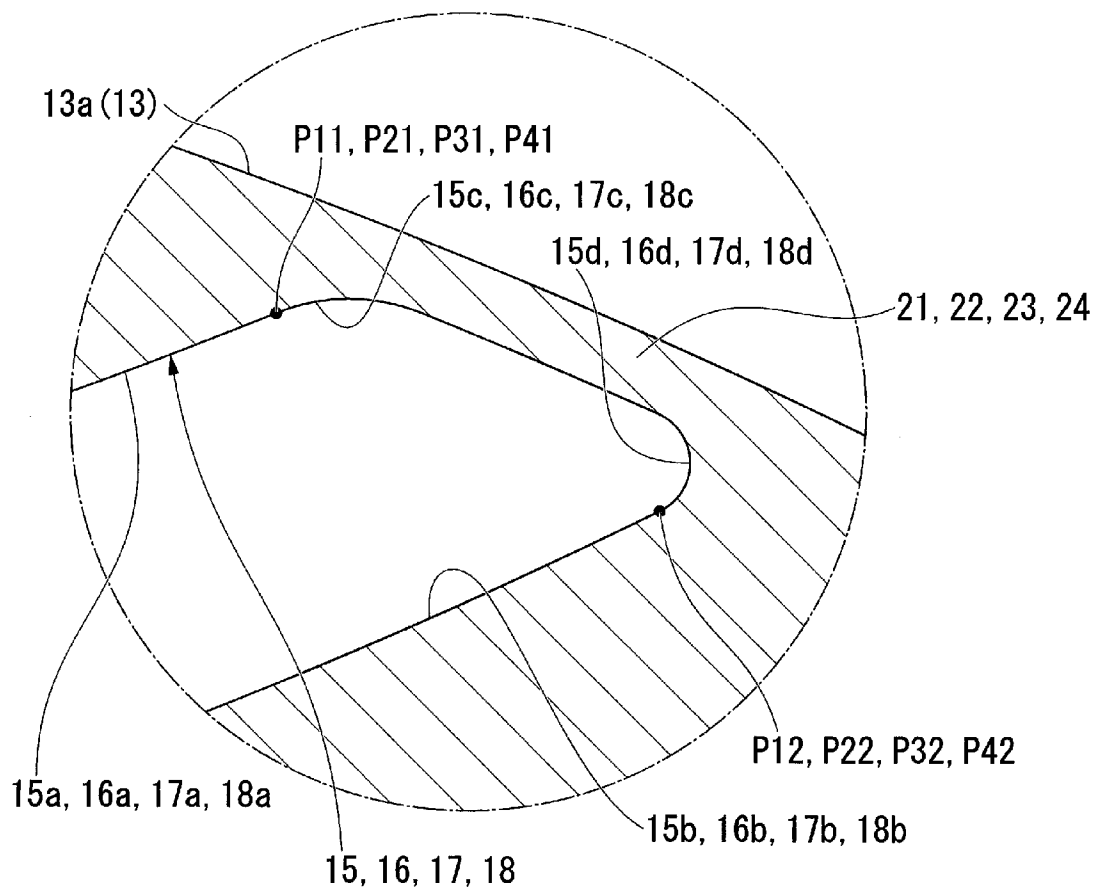
[図2]



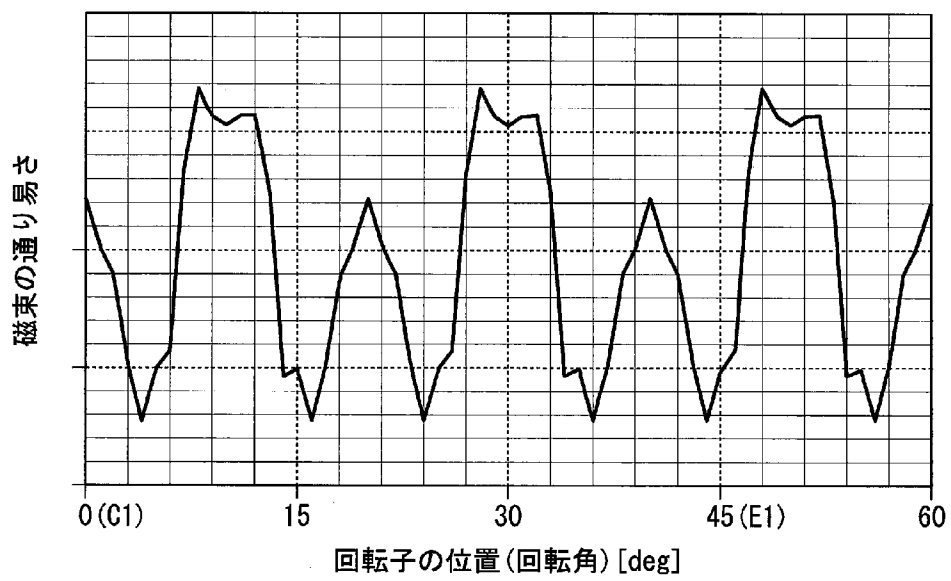
[図3]



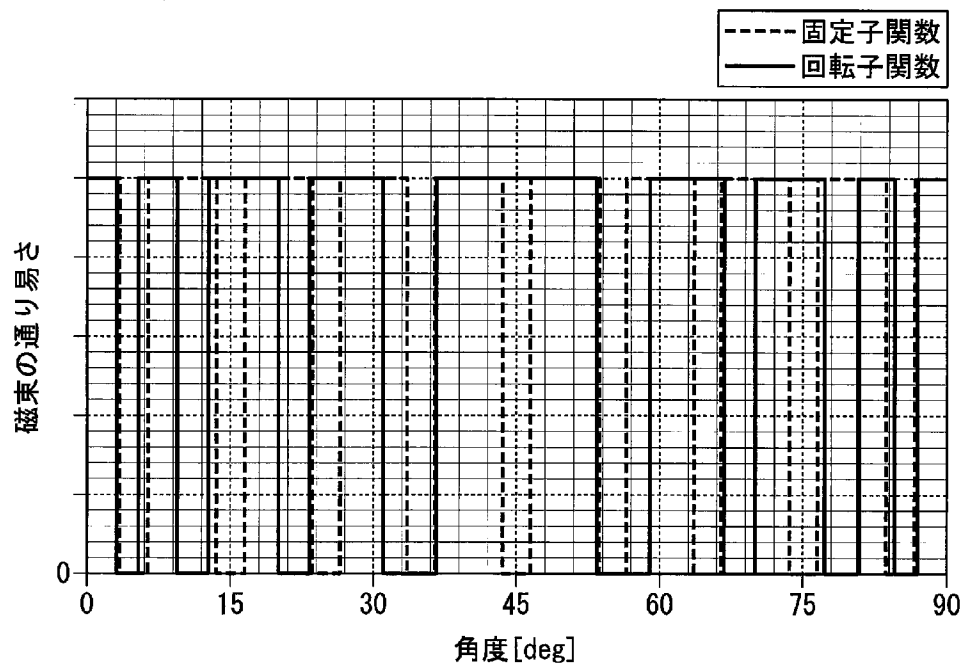
[図4]



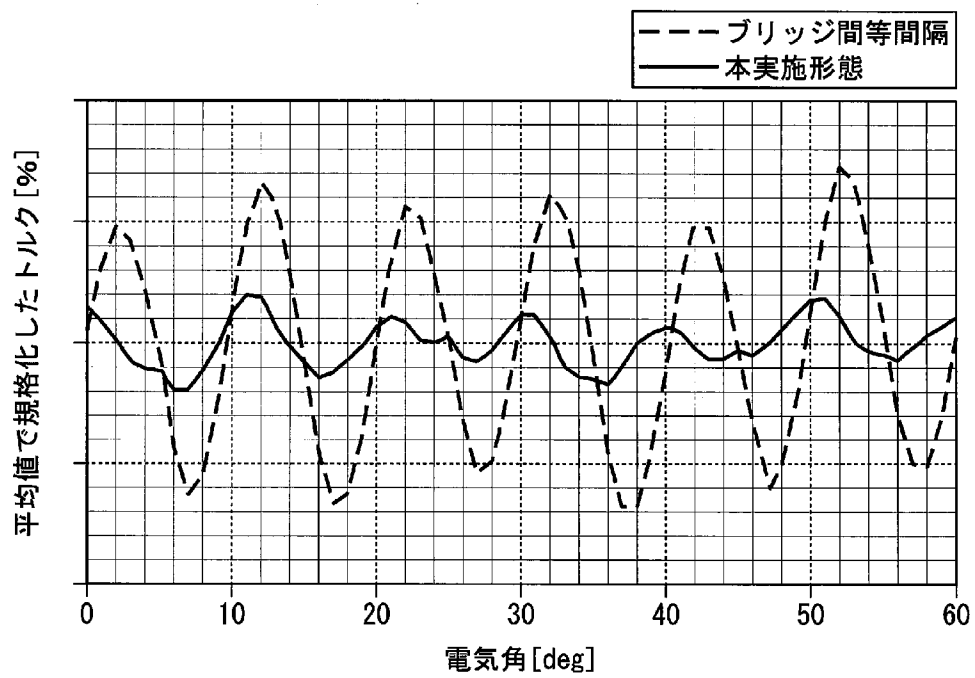
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/038031

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H02K19/10 (2006.01) i, H02K1/22 (2006.01) i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. H02K19/10, H02K1/22

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.
A	JP 11-262205 A (FUJITSU GENERAL LIMITED) 24 September 1999, paragraphs [0013]-[0033], fig. 1-5 (Family: none)	1-4
A	JP 2013-225997 A (HITACHI AUTOMOTIVE SYSTEMS LTD.) 31 October 2013, paragraphs [0015]-[0056], fig. 2, 3 & US 2015/0115758 A1, paragraphs [0030]-[0071]	1-4
A	JP 2005-198487 A (HYUNDAI MOTOR CO., LTD.) 21 July 2005, entire text, all drawings & US 2005/0140236 A1, entire text, all drawings	1-4

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.	☐ See patent family annex.
--	---

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 05 January 2018	Date of mailing of the international search report 16 January 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/JP2017/038031

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2009/0224624 A1 (KUMAR, A. K.) 10 September 2009, entire text, all drawings (Family: none)	1-4

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H02K19/10(2006.01)i, H02K1/22(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. H02K19/10, H02K1/22

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
A	JP 11-262205 A (株式会社富士通ゼネラル) 1999. 09. 24, 段落[0013]-[0033], 図 1-5 (ファミリーなし)	1-4
A	JP 2013-225997 A (日立オートモティブシステムズ株式会社) 2013. 10. 31, 段落[0015]-[0056], 図 2-3 & US 2015/0115758 A1, 段落[0030]-[0071]	1-4
A	JP 2005-198487 A (現代自動車株式会社) 2005. 07. 21, 全文, 全図 & US 2005/0140236 A1, 全文, 全図	1-4

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	「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

05. 01. 2018

国際調査報告の発送日

16. 01. 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)

池田 貴俊

3 V

9 2 5 6

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
A	US 2009/0224624 A1 (KUMAR, Ajith Kuttannair) 2009.09.10, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-4