(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
2019年4月4日(04.04.2019)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2019/064923 A1

(51) 国際特許分類:
H02K 1/27 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2018/029172

(22) 国際出願日： 2018年8月3日(03.08.2018)

(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 2017-191937 2017年9月29日(29.09.2017) JP

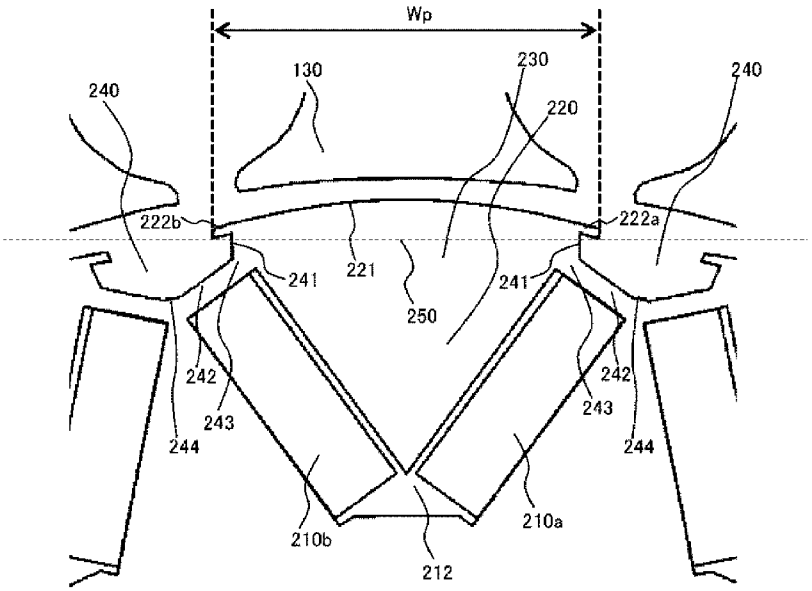
(71) 出願人: 日立オートモティブシステムズ株式会社(**HITACHI AUTOMOTIVE SYSTEMS, LTD.**) [JP/JP]; 〒3128503 茨城県ひたちなか市高場２５２０番地 Ibaraki (JP).

(72) 発明者: 田子 一農(**TAGO Kazutami**); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目６番６号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 金澤 宏至(**KANAZAWA Hiroshi**); 〒3128503 茨城県ひたちなか市高場２５２０番地 日立オートモティブシステムズ株式会社内 Ibaraki (JP). 中山 賢治(**NAKAYAMA Kenji**); 〒3128503 茨城県ひたちなか市高場２５２０番地 日立オートモティブシステムズ株式会社内 Ibaraki (JP). 辻 裕司(**TSUJI Yuji**); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目６番６号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 近岡 貴行(**CHIKAOKA Takayuki**); 〒3128503 茨城県ひたちなか市高場２５２０番地 日立オートモティブシステムズ株式会社内 Ibaraki (JP).

(54) **Title:** ROTOR CORE, ROTOR, ROTATING ELECTRICAL MACHINE, AND ELECTRIC AUXILIARY SYSTEM FOR AUTOMOBILES

(54) 発明の名称： ロータコア、ロータ、回転電機、自動車用電動補機システム

図 3A



(57) **Abstract:** The purpose of the present invention is to sufficiently reduce cogging torque in a rotating electrical machine. This rotor core is provided with magnetic pole parts 220 provided with base parts 230 which are formed further towards the outer circumferential side than accommodation spaces 212. The plurality of magnetic pole parts 220 are disposed in the circumferential direction, and are provided with: first protruding parts 222a which protrude from the base parts 230 in one direction in the circumferential direction along the outer circumference of the rotor core 200; and second

WO 2019/064923 A1

［続葉有］

(74) 代理人: 戸田 裕二(TODA Yuji); 〒1008220 東京都千代田区丸の内一丁目６番１号 株式会社日立製作所内 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：

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

protruding parts 222b which are provided on the opposite sides to the first protruding parts 222a with the base parts 230 therebetween, and which protrude from the base parts 230 in the other direction in the circumferential direction along the outer circumference of the rotor core 200. The first protruding parts 222a and/or the second protruding parts 222b are formed so as to be positioned further towards the outer circumferential side than first line segments 250, which are virtual line segments linking ends of the first protruding parts 222a and ends of the second protruding parts 222b, and such that spaces are provided between the first line segments 250 and the first protruding parts and/or the second protruding parts.

(57) 要約：回転電機におけるコギングトルクを十分に低減する。 回転子コアは、収納空間２１２よりも外周側に形成された基部２３０を有する磁極部２２０を備える。磁極部２２０は、周方向に複数設けられており、基部２３０から回転子コア２００の外周に沿って周方向の一方方向に突出する第１突起部２２２ａと、基部２３０を挟んで第１突起部２２２ａとは反対側に設けられかつ基部２３０から回転子コア２００の外周に沿って周方向の他方方向に突出する第２突起部２２２ｂと、を有する。第１突起部２２２ａおよび第２突起部２２２ｂの少なくとも一方は、第１突起部２２２ａの端部と第２突起部２２２ｂの端部とを結ぶ仮想線分である第１線分２５０よりも外周側に位置し、第１線分２５０との間に空間が設けられるように形成されている。

明　細　書

発明の名称 ：

ロータコア、ロータ、回転電機、自動車用電動補機システム

技術分野

[0001] 本発明は、ロータコアと、これを用いたロータ、回転電機および自動車用電動補機システムとに関する。

背景技術

[0002] 近年の自動車は、油圧システムから電動システムへの移行や、ハイブリッド自動車、電気自動車の市場拡大の流れを受けて、電動パワーステアリング（以下、ＥＰＳ）装置や電動ブレーキ装置の装着率が急速に増大している。また、アイドリングストップやブレーキなどの運転操作の一部を自動化した車の普及を背景に、運転快適性の向上とともに車室内の静音化が進展している。

[0003] 車室内の振動、騒音に繋がる電気モータ起因の加振源としては、電気モータのトルク変動成分（コギングトルクやトルクリップル）と、電気モータのステータと回転子の間に発生する電磁加振力がある。これらのうちトルク変動成分による振動エネルギーは、電気モータの出力軸を介して車室内へ伝搬し、また、電磁加振力による振動エネルギーは、ＥＰＳ装置の機械部品などを介して車室内へ伝搬する。これらの振動エネルギーが車室内へ伝搬することで、車室内の振動、騒音に繋がっている。

[0004] 例えば、ＥＰＳ装置では、電気モータがステアリングホイール操作をアシストすることから、運転者はステアリングホイールを介して、電気モータのコギングトルクやトルクリップルを手に感じることになる。これを抑制するため、ＥＰＳ装置に用いる電気モータでは、一般にコギングトルクをアシストトルクの１／１０００未満に、トルクリップルをアシストトルクの１／１００未満に抑制することが求められる。また、電磁加振力の空間モードの最小次数が２以下でないことがよいとされる。

[0005] ここで、電気モータの価格は、磁石、巻線などの材料費用と、製造費用からなるが、磁石価格の比率が特に高いため、磁石コストの抑制が強く求められている。また、製造の容易化や、必要なマンパワー、製造装置の軽減も望まれている。このため、自動車用電動補機システムに用いられる電気モータも、これらの要望を満たす必要がある。

[0006] ＥＰＳ装置に用いられる電気モータとしては、通常、小型化および信頼性の点から、永久磁石式のブラシレスモータ（以下、「永久磁石式回転電機」と称する）が使用される。

永久磁石式回転電機には、大別して、出力密度で優れる表面磁石式（ＳＰＭ）と、磁石コストで優れる埋め込み磁石式（ＩＰＭ）とがあるが、何れの場合も、磁石コスト低減の点から、極数に応じた個数に分離された磁石が使用されることが多い。

[0007] 例えば、埋め込み磁石式では、通常、磁石収納空間を持つ一体ロータコアを用いる。一体ロータコアはロータ磁極の製造精度が高いため、ロータ磁極とステータ間のエアギャップ長を短縮できる。磁石収納空間のブリッジ部からの磁束漏れにより、表面磁石式に対してトルクが低下するが、エアギャップ長の短縮によりトルク低下を抑制できる。また、矩形の磁石を使用できるため、磁石コストを低減できる。さらに、表面磁石式で必要となる磁石カバーが不要になることも利点である。

[0008] しかしながら、均一な磁化を持つ矩形磁石を周方向に配置するとき、一体ロータコアの外周を円環状にすると、磁束分布が正弦波状でなくなり、トルクリップルとコギングトルクを十分低減できないという問題が発生する。このため、磁極の外周側端部を突出させるなどの、磁極形状の工夫により、トルクリップルとコギングトルクを低減する必要が生じる。表面磁石式を採用する場合でも同様の問題が発生するため、同じく磁石の幅・外周曲率を工夫してトルクリップルとコギングトルクを低減する必要が生じる。ここで、巻線方式、極数、スロット数、磁石方式などが違うと磁束分布が違ってくるため、磁石の幅・外周曲率については、それぞれに異なる磁極形状となるが、

磁極の突出は共通する特徴となる。

[0009] また、ＥＰＳ装置では正逆の両方に回転するため、磁極周囲の磁束分布を両回転方向に対称にする必要があり、対称な形状の磁極が用いられる。

[0010] 磁極形状を対称にしたブラシレスモータの先行技術として、特許文献１に記載されたものがある。特許文献１に記載されたブラシレスモータ１は、ロータ３内にマグネット１６を収容固定したＩＰＭ型となっている。ロータ３は、鋼板材を積層してなるロータコア１５を有する。ロータコア１５は、コア本体部３１と、マグネット取付孔３３と、突極部３２を有し、マグネット取付孔３３には、空隙部３４を形成しつつマグネット１６が収容固定されている。隣接する突極部３２間には凹部３５が設けられている。各突極部３２の周方向両端には、突極部３２の外周面を延長させる形で鍔部４１が突設されている。鍔部４１は、凹部３５の外周側に設けられており、対向する鍔部４１の間には隙間４３が形成されている。

先行技術文献

特許文献

[0011] 特許文献1：特開２０１４－２３９６３３号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0012] 特許文献１に開示されたブラシレスモータは、コギングトルクの低減に関して改良の余地が多く残されている。

課題を解決するための手段

[0013] 本発明によるロータコアは、複数の積層板により構成されかつ磁石の収納空間を形成するものであって、前記収納空間よりも外周側に形成された基部を有する磁極部を備え、前記磁極部は、周方向に複数設けられており、前記磁極部は、前記基部から前記ロータコアの外周に沿って前記周方向の一方方向に突出する第１突起部と、前記基部を挟んで前記第１突起部とは反対側に設けられかつ前記基部から前記ロータコアの外周に沿って前記周方向の他方

方向に突出する第２突起部と、を有し、前記第１突起部および前記第２突起部の少なくとも一方は、前記第１突起部の端部と前記第２突起部の端部とを結ぶ仮想線分である第１線分よりも外周側に位置し、前記第１線分との間に空間が設けられるように形成されている。

本発明によるロータは、上記のロータコアと、前記ロータコアに固定された回転シャフトと、前記収納空間に配置された永久磁石と、を備える。

本発明による回転電機は、上記のロータと、複数の巻線を有し、所定のエアギャップを介して前記ロータと対向して配置されたステータと、を備える。

本発明による自動車用電動補機システムは、上記の回転電機を備え、前記回転電機を用いて、電動パワーステアリングまたは電動ブレーキを行う。

発明の効果

[0014] 本発明によれば、コギングトルクを十分に低減することができる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]本発明の第１の実施形態に係る永久磁石式回転電機の回転面内断面図

[図2]本発明の第１の実施形態に係る回転子の断面図

[図3A]本発明の第１の実施形態に係る回転子の断面の磁極付近の拡大図

[図3B]本発明の第１の実施形態に係る回転子における突起端部付近の拡大図

[図4]比較突起例Ａに係る回転子における突起端部付近の拡大図

[図5]比較例１に係る回転子の断面の磁極付近の拡大図

[図6]本発明による実施例１と比較例１、比較突起例Ａとのコギングトルクの相違を説明する図

[図7]本発明の第２の実施形態に係る回転子の断面の磁極付近の拡大図

[図8A]本発明の第３の実施形態に係る回転子における第１板の磁極付近の拡大図

[図8B]本発明の第３の実施形態に係る回転子における第２板の磁極付近の拡大図

[図8C]本発明の第３の実施形態に係る回転子の軸方向端面の断面図

[図8D]本発明の第３の実施形態に係る回転子における部分連結ブリッジ部を示す図

[図8E]本発明の第３の実施形態に係る回転子コアを覆うカバーを示す図

[図8F]本発明の第３の実施形態に係る回転子コアを覆うカバーを示す図

[図9]本発明による実施例３と比較例１、比較突起例Ｃとのコギングトルクの相違を説明する図

[図10]本発明の第４の実施形態に係る回転子の断面の磁極付近の拡大図

[図11A]本発明の第５の実施形態に係る回転子における第１板の磁極付近の拡大図

[図11B]本発明の第５の実施形態に係る回転子における第２板の磁極付近の拡大図

発明を実施するための形態

[0016] 本発明の実施例について、適宜図面を参照しながら詳細に説明する。なお、各図面において、同様の構成要素については、同一の符号を付して説明を省略する。

[0017] （第１の実施形態）

図１から図３Ｂを用いて、本発明の第１の実施形態に係る回転子コアを備えた永久磁石式回転電機１の構成を説明する。図１は、第１の実施形態に係る永久磁石式回転電機１の回転面内断面図である。図２は、第１の実施形態に係る回転子２０の断面図である。図３Ａは、第１の実施形態に係る回転子２０の断面の磁極付近の拡大図であり、図１の点線で囲ったＸ部を拡大して示した図である。図３Ｂは、第１の実施形態における突起端部付近の拡大図である。

[0018] 図１に示すように、本実施形態の永久磁石式回転電機１は、外周側に略環状の固定子１０を配置し、内周側に略円柱状の回転子２０を配置した、１４極１８スロット集中巻の永久磁石式回転電機である。固定子１０と回転子２０の間にはエアギャップ３０が設けられている。固定子１０は、固定子コア１００、コアバック１１０および複数の巻線１４０を有しており、エアギャ

ップ３０を介して回転子２０と対向して配置されている。

[0019] 固定子１０は、例えば次のようにして形成される。まず、電磁鋼板の分割打ち抜きコアを積層した積層体により、Ｔ形のティース１３０を形成する。次に、ティース１３０に電線を巻き回して巻線１４０を形成した後、複数のティース１３０および巻線１４０を円環に組み、図示しないハウジングに焼嵌めまたは圧入して一体化する。このようにして、固定子１０が形成される。

[0020] また、図２に示すように、本実施形態の回転子２０は、電磁鋼板を積層した鉄心である回転子コア２００と、回転軸となるシャフト３００とを有する。回転子コア２００の外周には、周方向に１４極の軟磁性の磁極部２２０が設けられている。磁極部２２０の各々は、固定子１０との対向面を形成して磁極外周面、すなわち回転子コア２００の外周面となる磁極円弧２２１の両端に突起部２２２が設けられるとともに、永久磁石２１０が収納されるＶ字形の収納空間２１２が設けられている。収納空間２１２には、矩形の永久磁石２１０が各磁極部２２０について２個ずつ挿入されて配置されている。

[0021] 図３Ａに示すように、周方向に隣接する一対の磁極部２２０の間には、磁極円弧２２１に対して窪んだ形状の第１空間部２４０が形成されている。第１空間部２４０と収納空間２１２の間には、ブリッジ部２４２が形成されている。なお図３Ａでは、収納空間２１２に収納される２個の永久磁石２１０の一方を第１永久磁石２１０ａ、他方を第２永久磁石２１０ｂとして示している。ブリッジ部２４２は、磁極部２２０に接続されると共に、第１空間部２４０の底に位置するｑ軸方向のコア最外周部２４４（以下、ｑ軸外周部２４４と称する）にも接続されている。すなわち、ブリッジ部２４２は、磁極部２２０とｑ軸外周部２４４とを繋ぐように形成されている。

[0022] 磁極部２２０は、収納空間２１２から外径側に向かって径方向に突出する基部２３０と、基部２３０から磁極円弧２２１に沿って周方向の反対側にそれぞれ突出する突起部２２２とを有する。なお図３Ａでは、周方向の一方方向に突出する突起部２２２を第１突起部２２２ａ、基部２３０を挟んで第１

突起部２２２ａとは反対側に設けられて周方向の他方方向に突出する突起部２２２を第２突起部２２２ｂとして示している。さらに基部２３０は、ブリッジ部２４２との接続部分である一対の接続部２４３と、第１空間部２４０に接する一対の側面部２４１とを有している。側面部２４１は、突起部２２２（第１突起部２２２ａ、第２突起部２２２ｂ）よりも径方向で内周側にそれぞれ配置されている。第１空間部２４０は、突起部２２２、ブリッジ部２４２およびｑ軸外周部２４４に面している。

[0023] ｑ軸外周部２４４は、周方向に隣接する一対の磁極部２２０の中間に位置しており、基部２３０よりも径方向で内周側に設けられている。ｑ軸外周部２４４は、周方向に隣接する一対の磁極部２２０にそれぞれ接続されている２つのブリッジ部２４２の間に挟まれて配置されている。

[0024] 図３Ａおよび図３Ｂに示すように、第１突起部２２２ａの端部と第２突起部２２２ｂの端部である第２突起端部２２５ｂとを結ぶ仮想線分を第１線分２５０と定義すると、第２突起端部２２５ｂと側面部２４１との間の面は、第１線分２５０よりも外径側（外周側）に位置している。これにより、第１線分２５０と第２突起部２２２ｂの間に、第１線分２５０に面する空間２５１が設けられるように、第２突起部２２２ｂが形成されている。なお、図３Ｂでは第２突起部２２２ｂの形状のみを拡大して示しているが、第１突起部２２２ａも同様の形状を有している。

[0025] 一般的に、径方向に突出した磁極形状のロータ構造を有する回転電機において発生するコギングトルク、特に、スロットコンビネーションに応じて定まる次数のコギングトルクは、磁極円弧半径をロータ外表面の回転半径よりも小さくすることで低減できる。磁極円弧半径を小さくしていくと、ある磁極円弧半径Ａにおいてコギングトルクが一旦消える。ところが、さらに磁極円弧半径を小さくしていくと、コギングトルク波形の位相が逆転してコギングトルクが増大する傾向がある。このようなコギングトルクの変化は、磁極端部付近のエアギャップの磁束の減少に伴って生じる。

[0026] また、磁極円弧半径が小さすぎると、磁極端部とステータ間の距離が大き

くなり、その場所での磁束が少なくなるため、磁極端部の形状変化に対してコギングトルクが変化しにくくなる。したがって、磁極端部の形状を変化させてコギングトルクを低減させる場合には、磁極円弧半径が上記の磁極円弧半径Ａよりも小さすぎる形状は好ましくない。以下では、磁極円弧半径Ａより小さく、かつ、磁極端部の形状変化がコギングトルクの変化に十分影響する大きさの磁極円弧半径を、磁極円弧半径Ｂとする。この磁極円弧半径Ｂを維持しつつ、周方向の磁極幅を増加させると、磁極端部付近のエアギャップの磁束が増加するため、磁極円弧半径を大きくするのと同様の効果が生じる。その結果、コギングトルクが一旦消え、その後、位相が元に戻り、コギングトルクが増大する傾向になる。

[0027] ここで、磁極の形状が一般的な蒲鉾状である場合は、磁極端部においても磁気抵抗が小さいため、磁極幅の変化に対する磁極端部付近でのエアギャップの磁束分布の変化が大きく、コギングトルクの変化が大きい。一方、磁極端部の形状として、図３Ａのように磁極外周面の両端に突起を設けた構造の場合は、磁極幅あるいは突起長さが変化したときに、突起先端を通過する磁束が少なくなるので、磁極形状の変化に対する磁極端部付近でのエアギャップの磁束分布の変化が小さくなり、コギングトルクの変化も小さくなることが期待される。すなわち、単位軸長あたりの磁束量が大きい場合も、磁極が蒲鉾形状の場合と比較して、磁極幅の変化に対するコギングトルクの変化を抑制できる。そのため、ロータコアの積厚を短縮して回転電機を小型化できることを意味する。

[0028] 永久磁石式回転電機で用いられる磁石には残留磁束密度が規定されており、磁石の極性を有する面が広いほど磁極を通る磁束が多くなる。したがって、磁石がＶ字型に埋め込まれた埋め込み磁石式（ＶＩＰＭ）回転電機のように、極性を有する面積を大きくできるロータ構造とすることで、１つの磁極を通過する磁束量を多くすることができる。このように磁極を通過する磁束量が多くなると、磁極端部の突起形状によっては、磁極幅の変化に応じてエアギャップの磁束分布が変化し、コギングトルクに影響が生じる。すなわち

、磁束が突起の先端に十分達していることから、磁極幅の変化によって突起先端の位置が変化すると、磁極端部付近でのエアギャップの磁束変化が大きくなり、その結果、磁極幅の変化に対するコギングトルクの変化が大きくなる。ＥＰＳ装置において求められるコギングトルクは、前述のようにアシストトルクの１／１０００未満と微小であるため、こうした磁極端部の突起形状による変化の影響を受けやすい。

[0029] コギングトルクを小さくするためには、形状寸法のバラツキに起因するコギングトルクを低減する必要がある。そのため、上記のような磁極幅の変化に対するコギングトルクの変化をなるべく小さくすることが望ましく、適切な突起形状が求められる。しかしながら、量産製造性の制約等から、突起の先端部分には一定以上の厚さが必要であるため、単に突起の厚さを減らす手段は採用できない。そこで、突起の根本部分を薄くすることにより、突起の先端部分まで到達する磁束を減少させることが有効と考えられる。

[0030] 以上の検討から、永久磁石式回転電機におけるコギングトルクの低減には、次の構成の採用が有効であることが確認された。

（１）磁極端部のパーミアンスの急激な変化を抑制するため、磁極端部に、ロータコアの外周に沿って周方向の反対側にそれぞれ突出する一対の突起部を形成する。これにより、突起部の磁気抵抗が大きいことを利用して、磁極端部付近のエアギャップの磁界の変化を緩やかにすることができる。

（２）突起部の先端まで到達する磁束を減少させるため、突起部の根本側の厚さをなるべく薄くする。これにより、磁極幅の変化に対するコギングトルクの変化をなるべく小さくして、磁極の寸法誤差に対するコギングトルクの変動を小さくすることができる。

[0031] 図１～図３Ｂで説明した本実施形態の永久磁石式回転電機１の構成は、以上の検討結果を踏まえて決定されたものである。すなわち、前述のように、第１突起部２２２ａの端部と第２突起部２２２ｂの端部である第２突起端部２２５ｂとを結ぶ仮想線分を第１線分２５０と定義すると、第２突起端部２２５ｂと側面部２４１との間の面は、第１線分２５０よりも外径側（外周側

）に位置している。これにより、第１線分２５０と第２突起部２２２ｂの間に、第１線分２５０に面する空間２５１が設けられるように、第２突起部２２２ｂが形成されている。なお、図３Ｂでは第２突起部２２２ｂの形状のみを拡大して示しているが、第１突起部２２２ａも同様の形状を有している。これにより、コギングトルク自体を低減しつつ、図３Ａに示した磁極幅Ｗｐの変化に対するコギングトルクの変化についても低減可能としている。これは、特に本実施形態の永久磁石式回転電機１のように、１つの磁極を通過する磁束量を多くできるＶＩＰＭ構造の回転電機において好適である。

[0032] なお、量産時の制約等により、突起部２２２の先端には一定以上の厚さが必要である。本実施形態では、例えば、突起部２２２の根本側の厚さを、電磁鋼板の厚さの４０％以上になるように形成することが好ましい。

[0033] また、本実施形態では、第１突起部２２２ａと第２突起端部２２５ｂの両方について、その端部が図３Ｂのように第１線分２５０よりも外径側（外周側）に位置しており、第１線分２５０との間に空間２５１が設けられるように形成されているとした。しかしながら、第１突起部２２２ａと第２突起端部２２５ｂのいずれか一方のみをこのようにしてもよい。その場合であっても、コギングトルク自体を低減しつつ、磁極幅Ｗｐの変化に対するコギングトルクの変化をある程度は低減することが可能である。

[0034] 以上で説明したような形状の磁極部２２０を用いることにより、コギングトルクの低減に優れたロータコアである回転子コア２００と、それを用いた回転子２０および永久磁石式回転電機１とを得ることができる。

[0035] 図６は、本発明による実施例１と比較突起例Ａ、比較例１とのコギングトルクの相違を説明する図である。図６では、図４に示したような形状の比較突起部２２２ｄを突起部２２２の代わりに磁極部２２０に形成した場合を比較突起例Ａとし、図５に示したような蒲鉾型の磁極形状を有する一般的な構造のＩＰＭ回転電機を比較例１として、これらの比較例と本発明による実施例１とのトルクリップルおよびコギングトルクを示すと共に、実施例１のトルクを１としたときの比較例１および比較突起例Ａのトルク比を示している

。なお、図４では第２突起部２２２ｂの代わりに形成される比較突起部２２２ｄの形状のみを拡大して示しているが、第１突起部２２２ａの代わりに形成される比較突起部２２２ｄも同様に、先端部分よりも根元部分の方が太い形状を有している。

[0036] 図６に示す各例でのトルクリップルおよびコギングトルクの値は、固定子１０、回転子２０、および、エアギャップ３０の磁束分布と、エアギャップ３０の電磁応力とを、有限要素法による磁界解析でそれぞれ計算し、回転角に対応するトルクを算出することにより得られたものである。なお、実施例１は、図３Ａおよび図３Ｂに示した磁極構造を有する第１の実施形態の永久磁石式回転電機１に相当する。

[0037] エアギャップ長を0.5mmとした場合、図６に示すように、実施例１ではコギングトルクが0.3mN・m、磁極幅Ｗｐが0.1mm変化したときのコギングトルクの変化が1.3mN・mとそれぞれ計算された。これに対して、比較突起例Ａではコギングトルクが0.4mN・m、磁極幅Ｗｐが0.1mm変化したときのコギングトルクの変化が2.5mN・mとそれぞれ計算された。また、比較例１ではコギングトルクが2.3mN・m、磁極幅が磁石収納空間の幅と共に0.1mm変化したときのコギングトルクの変化が0.1mN・mとそれぞれ計算された。

[0038] 図６により、比較例１では、実施例１および比較突起例Ａと比較してコギングトルクが大きいことが分かる。その理由は、比較例１のような磁極形状では磁極端部の周方向でパーミアンスが急激に変化するため、コギングトルクの基本次数に加えて高次成分が生じるためである。また、比較例１では、実施例１および比較突起例Ａと比較して、磁極幅の変化に対するコギングトルクの変化が小さいことが分かる。その理由は、比較例１のような構造では磁石が周方向に略平行であることから、実施例１や比較突起例Ａと比べて磁石の極性面の面積が小さく、磁極部を通る磁束が少ないので、磁極幅の変化がコギングトルクに与える影響が小さいためである。

[0039] 一方、実施例１や比較突起例ＡのようなＶＩＰＭ構造では、比較例１と比べて、単位軸長あたりの磁石の極性面の面積を大きくできる。例えば実施例

１では、単位軸長あたりの磁石の磁極面の面積を、比較例１の約２倍とすることができる。そのため、１つの磁極を通過する磁束量を比較例１よりも多くできる。しかしながら、磁極を通過する磁束量を多くすると、磁極端部の磁束も多くなるため、そのままではコギングトルクがさらに大きくなってしまう。そこで、ＶＩＰＭ構造の回転電機では、磁束量を増やしつつ磁極端部の磁束量の変化を緩やかにするため、磁極端部に突起を設けることが有効な手段である。

[0040] 例として、図４に示すような形状の比較突起部２２２ｄを磁極外周面の両端に設けることが考えられる。しかし、比較突起部２２２ｄは、本実施形態の突起部２２２と比較して、基部２３０と繋がっている根元部分の厚さが大きい。そのため、比較突起部２２２ｄでは突起部２２２よりも先端まで達する磁束が多くなる。その結果、磁極幅Ｗｐが変化して比較突起部２２２ｄの先端位置が変化すると、それによる磁極端部付近のエアギャップの磁束変化は突起部２２２よりも大きくなるため、コギングトルクの変化が大きくなると考えられる。図６において、実施例１では磁極幅Ｗｐが0.1mm変化したときのコギングトルクの変化が1.3mN・mであったのに対して、比較突起例Ａでは2.5mN・mと大きくなっていたのは、こうした理由によるものである。

[0041] 以上説明したように、本実施形態の構成によれば、コギングトルクを十分に小さくできることが分かる。さらに加えて、磁極の寸法誤差に対するコギングトルクの変動を十分に低減できるため、製造時に要求される寸法精度を軽減し、製造コストの低減にも寄与できることが分かる。

[0042] また、図６に示すように、実施例１ではトルクリップルが0.68％であるのに対して、比較突起例Ａではトルクリップルが0.58％であり、実施例１を基準としたトルク比がほぼ１であった。一方、比較例１ではトルクリップルが1.9％であり、実施例１を基準としたトルク比が0.68であった。したがって、本実施形態や比較突起例Ａの構成によれば、低トルクリップルであり、かつ小型でトルク出力が大きな永久磁石式回転電機を実現できることが分かる。

[0043] なお、本実施形態の永久磁石式回転電機１をＥＰＳ装置に用いることで、

車室内に伝搬する振動や騒音を抑制できる。また、その他の自動車用電動補機装置、たとえば電動ブレーキを行う自動車用電動補機装置に適用することでも、振動や騒音を抑制することが可能である。さらには、本実施形態の永久磁石式回転電機１の採用は自動車分野に限定されず、低振動化が好ましい産業用の永久磁石式回転電機全般にも適用可能である。

[0044] （第２の実施形態）

次に、図７を用いて、本発明の第２の実施形態に係る永久磁石式回転電機１を説明する。図７は、第２の実施形態に係る回転子２０の断面の磁極付近の拡大図であり、第１の実施形態で説明した図３Ａと対応している。なお、第１の実施形態と共通の部分は説明を一部省略する。

[0045] 第１の実施形態で説明した永久磁石式回転電機１は、１４極１８スロット集中巻の回転電機であったが、本実施形態の永久磁石式回転電機１は、１０極６０スロット分布巻の回転電機である。本実施形態の固定子１０は、例えば次のようにして形成される。まず、電磁鋼板の一体打ち抜きコアを積層したステータコア積層体により、内周側に放射状のティース１３０を複数形成する。次に、各ティース１３０に巻線を巻き回して巻線１４０を形成した後、図示しないハウジングに焼嵌めまたは圧入して一体化する。このようにして、固定子１０が形成される。

[0046] 本実施形態の永久磁石式回転電機１における磁極部２２０は、図７に示すように、第１の実施形態と同様の構造を有している。すなわち、磁極部２２０は第１突起部２２２ａと第２突起部２２２ｂを有し、第１の実施形態で示した図３Ｂのように、第１突起部２２２ａおよび第２突起部２２２ｂの端部と側面部２４１との間の面は、第１線分２５０よりも外径側にそれぞれ位置している。これにより、第１線分２５０と第１突起部２２２ａおよび第２突起部２２２ｂとの間にそれぞれ空間が設けられるように、第１突起部２２２ａおよび第２突起部２２２ｂが形成されている。なお、本実施形態でも第１の実施形態と同様に、第１突起部２２２ａと第２突起端部２２５ｂのいずれか一方のみを図３Ｂのような形状にしてもよい。その場合であっても、コギ

ングトルク自体を低減しつつ、磁極幅Ｗｐの変化に対するコギングトルクの変化をある程度は低減することが可能である。

[0047] 本実施形態の永久磁石式回転電機１の特性を磁場解析により計算すると、コギングトルクは0.3mN・mであり、また、磁極幅Ｗｐが0.1mm変化したときのコギングトルクの変化は0.6mN・mであった。これに対して、図７に示したような１０極６０スロット分布巻の回転電機において、前述の図４に示した形状の比較突起部２２２ｄを突起部２２２の代わりに磁極部２２０に形成した場合を比較突起例Ｂとすると、この比較突起例Ｂでは、コギングトルクが0.8mN・m、磁極幅Ｗｐが0.1mm変化したときのコギングトルクの変化が1.6mN・mとそれぞれ計算された。したがって、１４極１８スロット集中巻以外の極スロット組合せや巻線方式においても効果を有することが確認できた。

[0048] また、本実施形態のトルクリップルは0.82%、比較突起例Ｂのトルクリップルは0.85%であり、いずれの場合でもトルクリップルは十分に小さかった。さらに、本実施形態を基準とした比較突起例Ｂのトルク比はほぼ１であり、トルクは同等であった。なお、上記のトルクリップルとコギングトルクは、エアギャップ長を0.7mmとして、図６と同じ方法で計算されたものである。

[0049] （第３の実施形態）

次に、図８Ａから図９を用いて、本発明の第３の実施形態に係る永久磁石式回転電機１を説明する。本実施形態の永久磁石式回転電機１は、第１の実施形態と同様に、１４極１８スロット集中巻の回転電機である。図８Ａ、８Ｂ、８Ｄ、８Ｅおよび８Ｆは、第３の実施形態に係る回転子２０の断面の磁極付近の拡大図であり、第１、第２の実施形態でそれぞれ説明した図３、７と対応している。図８Ｃは、第３の実施形態に係る回転子２０の軸方向端面の断面図である。なお、第１、第２の実施形態と共通の部分は説明を一部省略する。

[0050] 本実施形態の永久磁石式回転電機１における回転子コア２００は、第１の実施形態で説明したように、複数の電磁鋼板を軸方向に積層して構成される。この複数の電磁鋼板は、図８Ａに示す形状のものと、図８Ｂに示す形状の

ものとに分類される。以下では、図８Ａに示す形状の電磁鋼板を「第１板」、図８Ｂに示す形状の電磁鋼板を「第２板」とそれぞれ称する。すなわち、本実施形態の回転子コア２００は、第１板および第２板がそれぞれ複数ずつ積層されて構成されている。第１板および第２板は、軸方向締結部２６１によって軸方向に互いに締結されている。

[0051] 図８Ａに示すように、第１板は、第１、第２の実施形態で説明したのと同様の磁極構造を有している。すなわち、第１板の磁極部２２０は第１突起部２２２ａと第２突起部２２２ｂを有し、第１の実施形態で示した図３Ｂのように、第１突起部２２２ａおよび第２突起部２２２ｂの端部と側面部２４１との間の面は、第１線分２５０よりも外径側にそれぞれ位置している。これにより、第１線分２５０と第１突起部２２２ａおよび第２突起部２２２ｂとの間にそれぞれ空間が設けられるように、第１突起部２２２ａおよび第２突起部２２２ｂが形成されている。また、第１板の磁極部２２０は、第１空間部２４０と収納空間２１２の間に形成されたブリッジ部２４２と接続部２４３において接続されている。一方、図８Ｂに示すように、第２板では第１空間部２４０と収納空間２１２の間にブリッジ部２４２が形成されていない。そのため、磁極部２２０とｑ軸外周部２４４の間には、収納空間２１２と第１空間部２４０の間を貫通する開口部が形成されている。なお、第１板と第２板とは別々の製造工程で製造されるものであってもよいし、第１板からブリッジ部２４２を切除することで第２板を製造してもよい。また、本実施形態でも第１の実施形態と同様に、第１突起部２２２ａと第２突起端部２２５ｂのいずれか一方のみを図３Ｂのような形状にしてもよい。その場合であっても、コギングトルク自体を低減しつつ、磁極幅Ｗｐの変化に対するコギングトルクの変化をある程度は低減することが可能である。

[0052] 図８Ｃに示すように、本実施形態の回転子コア２００の軸方向端面には、ブリッジ部２４２を有する第１板が配置されている。図８Ｃにおいて、第１の実施形態で説明した図２の断面図との違いは、磁極部２２０に軸方向締結部２６１がそれぞれ設けられている点である。回転子コア２００を構成する

複数の電磁鋼板、すなわち複数の第１板および第２板は、軸方向締結部２６１に挿入される図示しない締結シャフトにより、軸方向に互いに締結して積層されている。そのため、第１板のブリッジ部２４２により、収納空間２１２に収納された永久磁石２１０が回転面内で保持され、回転子コア２００の積層体と連結されている。

[0053] 本実施形態の回転子コア２００では、回転時の強度に問題のない範囲であれば、第１板を減らして第２板を増加することにより、ブリッジ部２４２を経由する磁束の漏れを低減して、トルクを増加させることができる。但し、組立て時の積厚調整のために軸方向端面の積層板を１枚取り除く場合があるため、組立て開始時の軸方向端部における第１板の積層数は、少なくとも一方の端部において２枚以上であることが望ましい。

[0054] 以上説明したように、本実施形態の回転子コア２００は、複数の第１板および第２板が軸方向に締結積層された構造を有している。ここで、第１板と第２板の違いは、ブリッジ部２４２の有無のみである。そのため、本実施形態の回転子コア２００では、図８Ｄに示すように、ブリッジ部２４２が部分的に連結されて、軸方向に厚さを持つ３次元的な構造になっている。なお、図８Ｄでは、破線で示した部分連結ブリッジ部２４２Ａにより、部分連結されたブリッジ部２４２の軸方向への射影を表している。磁極部２２０は、部分接続部２４３Ａにおいて、この部分連結ブリッジ部２４２Ａと接続されている。

[0055] 本実施形態によれば、ブリッジ部２４２を部分連結ブリッジ部２４２Ａとしたことで、この部分における磁束漏れが減少する。そのため、第１の実施形態と同じトルクを同じ積層厚で得る際に、永久磁石２１０の極性面の幅を小さくできるため、磁石量をより低減することが可能である。

[0056] なお、本実施形態の回転子コア２００では、永久磁石２１０の飛散防止のために、少なくとも第２板において収納空間２１２と第１空間部２４０の間を貫通している開口部を覆うことができるカバーを設けることが好ましい。例えば、図８Ｅに示すように、磁極部２２０および第１空間部２４０を含む

回転子コア２００の表面を全周方向に覆うカバー２６５を用いることができる。このカバー２６５の材質には、例えば非磁性の金属または合成樹脂を使用することができる。また、例えば図８Ｆに示すように、第１空間部２４０に接着剤や合成樹脂を塗布し、これをカバー２６５として用いることもできる。この場合、第１空間部２４０に隣接する回転子２０の軸方向端部にも接着剤や合成樹脂を塗布し、各磁極部２２０の周囲を覆う形状として固化することが好ましい。これにより、接着剤や合成樹脂で構成されたカバー２６５のはく離を防止して、永久磁石２１０の飛散防止が可能になる。また、回転子２０の軸方向端面における永久磁石２１０の表面またはカバー２６５の表面の少なくとも一方は、エンドプレートを配置して覆うこととしてもよい。これにより、さらなる永久磁石２１０の飛散防止が可能になる。

[0057] 図９は、本発明による実施例３と比較突起例Ｃ、比較例１とのコギングトルクの相違を説明する図である。図９では、前述の第１板および第２板で回転子コア２００が構成される本実施形態の回転電機において、前述の図４に示した形状の比較突起部２２２ｄを突起部２２２の代わりに磁極部２２０に形成した場合を比較突起例Ｃとし、前述の図５に示したような蒲鉾型の磁極形状を有する一般的な構造のＩＰＭ回転電機を比較例１として、これらの比較例と本発明による実施例３とのトルクリップルおよびコギングトルクを示すと共に、実施例３のトルクを１としたときの比較例１および比較突起例Ｃのトルク比を示している。また、図９に示す各例でのトルクリップルとコギングトルクは、エアギャップ長を0.5mmとして、図６と同じ方法で計算されたものである。

[0058] 図９に示すように、実施例３のコギングトルクは0.43mN・m、比較突起例Ｃのコギングトルクは0.17mN・mであるため、いずれも十分に小さい。一方、磁極幅Ｗｐが0.1mm変化したときのコギングトルクの変化は、実施例３では1.3mN・mであるのに対して、比較突起例Ｃでは2.4mN・mと大きい。したがって、製造誤差によるコギングトルクの増加を考慮すると、比較突起例Ｃではコギングトルクの低減がやや不十分である。また、比較例１ではコギングトルク

が2.34mN・mと大きく、コギングトルクの低減という本発明の目的を達成することが困難であることが分かる。なお、比較例１では、磁極幅が磁石収納空間の幅と共に0.1mm変化したときのコギングトルクの変化は0.1mN・mと小さいが、これは磁極部を通る磁束が実施例３や比較突起例Ｃと比べて少ないためである。

[0059] また、図９に示すように、実施例３ではトルクリップルが0.75%であるのに対して、比較突起例Ｃではトルクリップルが0.63%であり、実施例３を基準としたトルク比がほぼ１であった。一方、比較例１ではトルクリップルが1.9%であり、実施例３を基準としたトルク比が0.68であった。したがって、本実施形態や比較突起例Ｃの構成によれば、低トルクリップルであり、かつ小型でトルク出力が大きな永久磁石式回転電機を実現できることが分かる。

[0060] 本実施形態によれば、ブリッジ部２４２を経由する磁束の漏れを低減してトルクを増加させつつ、軸方向端部における回転子コア２００の剛性を高めて、一体化された回転子コア２００の強度を確保することができる。なお、本実施形態では全積層板中での第１板の積層数の比率を0.15としたが、他の比率としてもよい。

[0061] （第４の実施形態）

次に、図１０を用いて、本発明の第４の実施形態に係る永久磁石式回転電機１を説明する。図１０は、第４の実施形態に係る回転子２０の断面の磁極付近の拡大図であり、第２の実施形態で説明した図７と対応している。

[0062] 本実施形態の永久磁石式回転電機１は、第２の実施形態と同様に、１０極６０スロット分布巻の回転電機である。また、本実施形態の回転子コア２００は、第３の実施形態と同様に、第１板および第２板がそれぞれ複数ずつ積層されて構成されている。すなわち、図１０に示すように、ブリッジ部２４２を有する第１板と、ブリッジ部２４２を有しない第２板とが、それぞれ複数ずつ積層されて構成されることで、ブリッジ部２４２が部分的に連結されて、軸方向に厚さを持つ３次元的な構造になっている。なお、図１０では、破線で示した部分連結ブリッジ部２４２Ａにより、部分連結されたブリッジ

部２４２の軸方向への射影を表している。磁極部２２０は、部分接続部２４３Ａにおいて、この部分連結ブリッジ部２４２Ａと接続されている。

[0063] また、本実施形態の永久磁石式回転電機１において、磁極部２２０は、図１０に示すように、第１～第３の実施形態と同様の構造を有している。すなわち、磁極部２２０は第１突起部２２２ａと第２突起部２２２ｂを有し、第１の実施形態で示した図３Ｂのように、第１突起部２２２ａおよび第２突起部２２２ｂの端部と側面部２４１との間の面は、第１線分２５０よりも外径側にそれぞれ位置している。これにより、第１線分２５０と第１突起部２２２ａおよび第２突起部２２２ｂとの間にそれぞれ空間が設けられるように、第１突起部２２２ａおよび第２突起部２２２ｂが形成されている。なお、本実施形態でも第１の実施形態と同様に、第１突起部２２２ａと第２突起端部２２５ｂのいずれか一方のみを図３Ｂのような形状にしてもよい。その場合であっても、コギングトルク自体を低減しつつ、磁極幅Ｗｐの変化に対するコギングトルクの変化をある程度は低減することが可能である。

[0064] 本実施形態の構成では、第３の実施形態と同様に、ブリッジ部２４２を部分連結ブリッジ部２４２Ａとしたことで、この部分における磁束漏れが減少する。そのため、第２の実施形態と同じトルクを同じ積厚で得る際に、永久磁石２１０の極性面の幅を小さくできるため、磁石量をより低減することが可能である。なお、本実施形態でも第３の実施形態と同様に、図８Ｅ、図８Ｆで説明したようなカバー２６５を設けて、永久磁石２１０の飛散防止を図ることが好ましい。

[0065] 本実施形態の永久磁石式回転電機１の特性を磁場解析により計算すると、コギングトルクは0.4mN・mであり、また、磁極幅Ｗｐが0.1㎜変化したときのコギングトルクの変化は0.7mN・mであった。これに対して、図１０に示したような１０極６０スロット分布巻の回転電機において、前述の図４に示した形状の比較突起部２２２ｄを突起部２２２の代わりに磁極部２２０に形成した場合を比較突起例Ｄとすると、この比較突起例Ｄでは、コギングトルクが0.1mN・m、磁極幅Ｗｐが0.1㎜変化したときのコギングトルクの変化が1.7mN・

mとそれぞれ計算された。したがって、１４極１８スロット集中巻以外の極スロット組合せや巻線方式においても効果を有することが確認できた。

[0066] また、本実施形態のトルクリップルは1.04%、比較突起例Ｄのトルクリップルは1.03%であり、いずれの場合でもトルクリップルは十分に小さかった。さらに、本実施形態を基準とした比較突起例Ｄのトルク比はほぼ１であり、トルクは同等であった。なお、上記のトルクリップルとコギングトルクは、エアギャップ長を0.7mmとして、図６と同じ方法で計算されたものである。

[0067] （第５の実施形態）

次に、図１１Ａ、１１Ｂを用いて、本発明の第５の実施形態に係る永久磁石式回転電機１を説明する。本実施形態の永久磁石式回転電機１における回転子コア２００では、軸方向に積層された第１板および第２板が、図１１Ａ、図１１Ｂに示すように、第３の実施形態で説明したのとは異なる形状をそれぞれ有している。具体的には、本実施形態の第１板には、図１１Ａに示すように、ブリッジ部２４２が形成されておらず、その代わりに、収納空間２１２内に永久磁石２１０を保持するための磁石留め部２４５が形成されている。磁極部２２０は、その中央部がブリッジ部２４２ｂを介して回転子コア２００と接続されている。また、本実施形態の第２板には、図１１Ｂに示すように、第１板と同様の磁石留め部２４５が形成されている。これらの第１板および第２板は、軸方向締結部２６１によって軸方向に互いに締結されている。

[0068] 本実施形態では、磁極部２２０の中央部分がブリッジ部２４２ｂを介して回転子コア２００と接続されている。そのため、磁極部２２０の両端部分がブリッジ部２４２を介して回転子コア２００と接続されている第３の実施形態と比べて、径方向の引っ張りには強くなるが、周方向の変位には弱くなる。本実施形態では、この点を考慮してブリッジ部２４２ｂの幅と数を決定することになる。なお、第３の実施形態と比較すると、本実施形態では収納空間２１２が中央のブリッジ部２４２ｂで二つに分断されており、第１永久磁石２１０ａおよび第２永久磁石２１０ｂがブリッジ部２４２ｂと磁石留め部

２４５に挟まれて配置される。そのため、これらの磁石の幅がやや小さくなる傾向になる。

[0069] また、本実施形態では部分連結ブリッジ部２４２Ａが存在しないため、第３の実施形態で説明した開口部とは異なり、第１空間部２４０と収納空間２１２の間に、軸方向に連続した開口部が形成される。したがって、本実施形態でも第３の実施形態と同様に、図８Ｅ、図８Ｆで説明したようなカバー２６５を開口部を覆うように設けて、永久磁石２１０の飛散防止を図ることが好ましい。

[0070] 以上説明したように、本発明の各実施形態による回転子コア２００の構成は、従来の構成と比較して、トルクリップル、コギングトルク、トルク比、の何れの面でも優れており、効果のあることが示された。また、磁極形状の寸法誤差に対するコギングトルク変動の抑制についても、十分に効果のあることが示された。すなわち、各実施形態で説明した永久磁石式回転電機１の構造は、コギングトルク低減に有効な構造である。

[0071] なお、第２～第５の各実施形態についても、第１の実施形態と同様に、各実施形態の永久磁石式回転電機１をＥＰＳ装置に用いることで、車室内に伝搬する振動や騒音を抑制できる。また、その他の自動車用電動補機装置、たとえば電動ブレーキを行う自動車用電動補機装置に適用することでも、振動や騒音を抑制することが可能である。さらには、各実施形態の永久磁石式回転電機１の採用は自動車分野に限定されず、低振動化が好ましい産業用の永久磁石式回転電機全般にも適用可能である。

[0072] 以上説明した本発明の実施形態によれば、以下の作用効果を奏する。

[0073] （１）回転子コア２００は、複数の積層板により構成されかつ永久磁石２１０の収納空間２１２を形成する。回転子コア２００は、収納空間２１２よりも外周側に形成された基部２３０を有する磁極部２２０を備える。磁極部２２０は、周方向に複数設けられており、基部２３０から回転子コア２００の外周に沿って周方向の一方方向に突出する第１突起部２２２ａと、基部２３０を挟んで第１突起部２２２ａとは反対側に設けられかつ基部２３０から回

転子コア２００の外周に沿って周方向の他方方向に突出する第２突起部２２２ｂと、を有する。第１突起部２２２ａおよび第２突起部２２２ｂの少なくとも一方は、第１突起部２２２ａの端部と第２突起部２２２ｂの端部とを結ぶ仮想線分である第１線分２５０よりも外周側に位置し、第１線分２５０との間に空間２５１が設けられるように形成されている。このようにしたので、コギングトルクを十分に低減することができる。

[0074] （２）第３～第５の実施形態では、複数の積層板は、磁極部２２０および磁極部２２０に接続されたブリッジ部２４２または２４２ｂを有する第１板と、磁極部２２０を有してブリッジ部２４２、２４２ｂを有しない第２板とを含む。第１板の磁極部２２０と第２板の磁極部２２０とは、軸方向に互いに締結されている。このようにしたので、永久磁石２１０の極性面の幅を小さくし、磁石量を低減することが可能である。

[0075] （３）第３、第４の実施形態では、周方向に隣り合う一対の磁極部２２０の基部２３０の間には、第１空間部２４０が形成されており、周方向に隣り合う一対の磁極部２２０の中間に、第１空間部２４０に接するｑ軸外周部２４４が形成されている。第１板のブリッジ部２４２は、磁極部２２０とｑ軸外周部２４４を繋いで収納空間２１２と第１空間部２４０の間に設けられている。また、第２板の磁極部２２０とｑ軸外周部２４４の間には、収納空間２１２と第１空間部２４０の間を貫通する開口部が形成されている。このようにしたので、永久磁石２１０を収納空間２１２内に確実に保持しつつ、磁石量の低減が可能である。

[0076] （４）第５の実施形態では、周方向に隣り合う一対の磁極部２２０の基部２３０の間には、第１空間部２４０が形成されており、周方向に隣り合う一対の磁極部２２０の中間に、第１空間部２４０に接するｑ軸外周部２４４が形成されている。第１板のブリッジ部２４２ｂは、収納空間２１２を分断して磁極部２２０に接続されている。また、第１板および第２板の磁極部２２０とｑ軸外周部２４４の間には、収納空間２１２と第１空間部２４０の間を貫通する開口部が形成されている。このようにしたので、軸方向に連続した開

口部が形成され、さらなる磁石量の低減が可能である。

[0077] （５）回転子２０は、第１～第５のいずれかの実施形態による回転子コア２００と、この回転子コア２００に固定されたシャフト３００と、収納空間２１２に配置された永久磁石２１０とを備えて構成される。また、永久磁石式回転電機１は、この回転子２０と、複数の巻線１４０を有して所定のエアギャップ３０を介して回転子２０と対向して配置された固定子１０とを備えて構成される。このようにしたので、コギングトルクを十分に低減した回転電機と、この回転電機に用いられるロータとを実現できる。

[0078] （６）なお、回転子２０は、第３～第５のいずれかの実施形態による回転子コア２００と、この回転子コア２００に固定されたシャフト３００と、収納空間２１２に配置された永久磁石２１０と、前述の開口部を覆うカバー２６５とを備えて構成してもよい。このようにすれば、磁石量を低減しつつ、永久磁石２１０の飛散を防止することができる。

[0079] （７）永久磁石式回転電機１は、たとえば自動車の電動パワーステアリング用モータとすることができる。また、第２、第４の各実施形態で説明したような１０極６０スロット分布巻、または、第１、第３、第５の各実施形態で説明したような１４極１８スロット集中巻の、いずれかの構成を有することができる。したがって、様々な形態の回転電機において本発明を適用可能である。

[0080] （８）上記のような永久磁石式回転電機１を備え、この永久磁石式回転電機１を用いて、電動パワーステアリングまたは電動ブレーキを行う自動車用電動補機システムを構成してもよい。このようにすれば、振動や騒音を抑制した自動車用電動補機システムを実現できる。

[0081] 以上説明した各実施形態や各種変形例はあくまで一例であり、発明の特徴が損なわれない限り、本発明はこれらの内容に限定されるものではない。また、上記では種々の実施形態や変形例を説明したが、本発明はこれらの内容に限定されるものではない。本発明の技術的思想の範囲内で考えられるその他の態様も本発明の範囲内に含まれる。

符号の説明

[0082] １　永久磁石式回転電機

１０　固定子

２０　回転子

３０　エアギャップ

１００　固定子コア

１１０　コアバック

１３０　ティース

１４０　巻線

２００　回転子コア

２１０　永久磁石

２１０ａ　第１永久磁石

２１０ｂ　第２永久磁石

２１２　収納空間

２２０　磁極部

２２１　磁極円弧

２２２　突起部

２２２ａ　第１突起部

２２２ｂ　第２突起部

２３０　基部

２４０　第１空間部

２４１　側面部

２４２、２４２ｂ　ブリッジ部

２４３　接続部

２４４　ｑ軸方向のコア最外周部

２４５　磁石留め部

２５０　第１線分

２５１　第１線分に面する空間

２６１　軸方向締結部

２６２　第１板

２６３　第２板

２６４　開口部

２６５　カバー

３００　シャフト

請求の範囲

[請求項1] 複数の積層板により構成されかつ磁石の収納空間を形成するロータコアであって、

前記収納空間よりも外周側に形成された基部を有する磁極部を備え、

前記磁極部は、周方向に複数設けられており、

前記磁極部は、前記基部から前記ロータコアの外周に沿って前記周方向の一方方向に突出する第１突起部と、前記基部を挟んで前記第１突起部とは反対側に設けられかつ前記基部から前記ロータコアの外周に沿って前記周方向の他方方向に突出する第２突起部と、を有し、

前記第１突起部および前記第２突起部の少なくとも一方は、前記第１突起部の端部と前記第２突起部の端部とを結ぶ仮想線分である第１線分よりも外周側に位置し、前記第１線分との間に空間が設けられるように形成されているロータコア。

[請求項2] 請求項１に記載のロータコアにおいて、

前記複数の積層板は、前記磁極部および前記磁極部に接続されたブリッジ部を有する第１板と、前記磁極部を有して前記ブリッジ部を有しない第２板とを含み、

前記第１板の前記磁極部と前記第２板の前記磁極部とは、軸方向に互いに締結されているロータコア。

[請求項3] 請求項２に記載のロータコアにおいて、

前記周方向に隣り合う一対の前記磁極部の前記基部の間には、第１空間部が形成されており、

前記周方向に隣り合う一対の前記磁極部の中間に、前記第１空間部に接するｑ軸外周部が形成されており、

前記第１板の前記ブリッジ部は、前記磁極部と前記ｑ軸外周部を繋いで前記収納空間と前記第１空間部の間に設けられており、

前記第２板の前記磁極部と前記ｑ軸外周部の間には、前記収納空間

と前記第１空間部の間を貫通する開口部が形成されているロータコア。

[請求項4] 請求項２に記載のロータコアにおいて、

前記周方向に隣り合う一対の前記磁極部の前記基部の間には、第１空間部が形成されており、

前記周方向に隣り合う一対の前記磁極部の中間に、前記第１空間部に接するｑ軸外周部が形成されており、

前記第１板の前記ブリッジ部は、前記収納空間を分断して前記磁極部に接続されており、

前記第１板および前記第２板の前記磁極部と前記ｑ軸外周部の間には、前記収納空間と前記第１空間部の間を貫通する開口部が形成されているロータコア。

[請求項5] 請求項１から請求項４までのいずれか一項に記載のロータコアと、

前記ロータコアに固定された回転シャフトと、

前記収納空間に配置された永久磁石と、を備えるロータ。

[請求項6] 請求項３または請求項４に記載のロータコアと、

前記ロータコアに固定された回転シャフトと、

前記収納空間に配置された永久磁石と、

前記開口部を覆うカバーと、を備えるロータ。

[請求項7] 請求項５または請求項６に記載のロータと、

複数の巻線を有し、所定のエアギャップを介して前記ロータと対向して配置されたステータと、を備える回転電機。

[請求項8] 請求項７に記載の回転電機において、

前記回転電機は、自動車の電動パワーステアリング用モータである回転電機。

[請求項9] 請求項７または請求項８に記載の回転電機において、

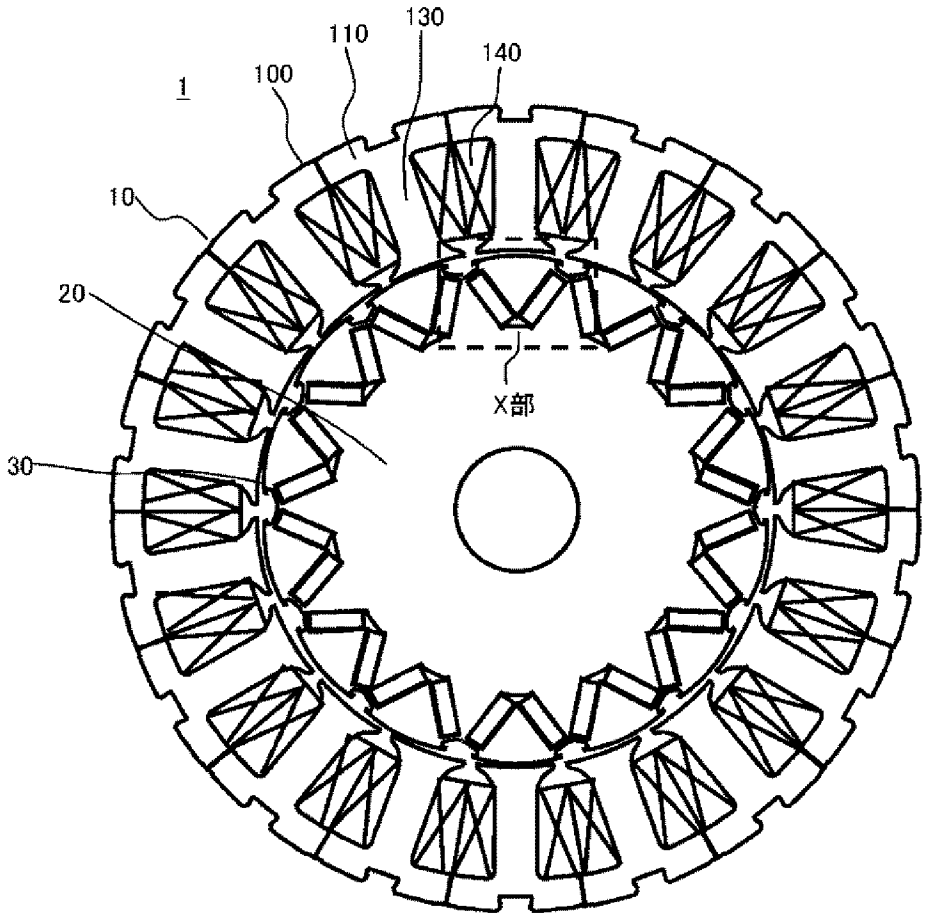
前記回転電機は、１０極６０スロット分布巻、または、１４極１８スロット集中巻の構成を有する回転電機。

[請求項10] 請求項７から請求項９までのいずれか一項に記載の回転電機を備え、

前記回転電機を用いて、電動パワーステアリングまたは電動ブレーキを行う自動車用電動補機システム。

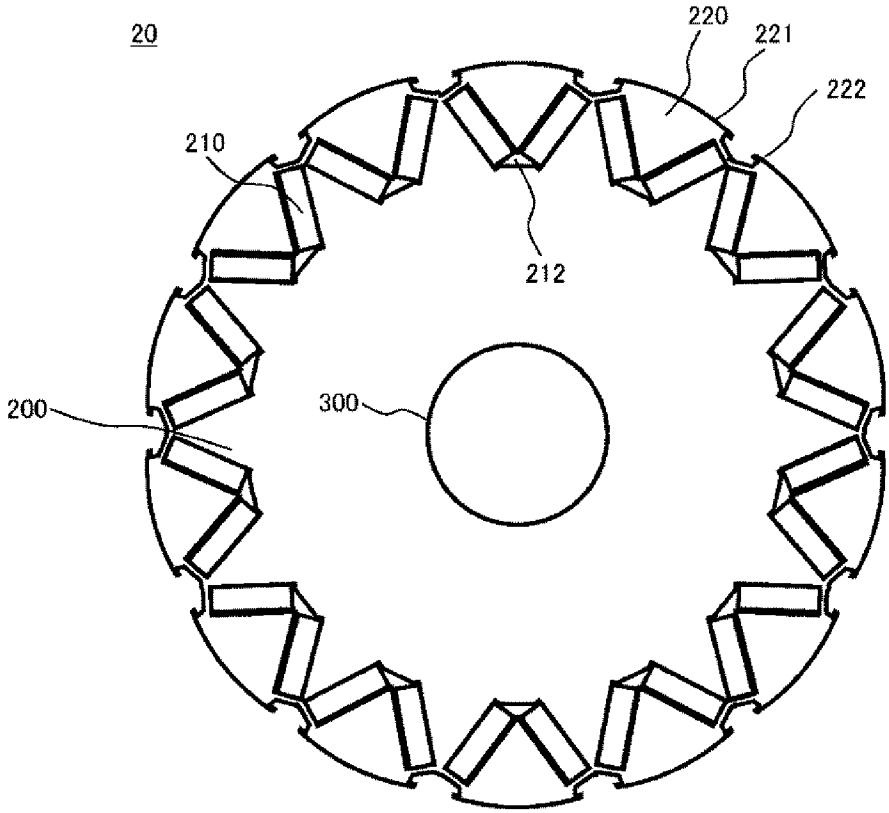
[図1]

図 1



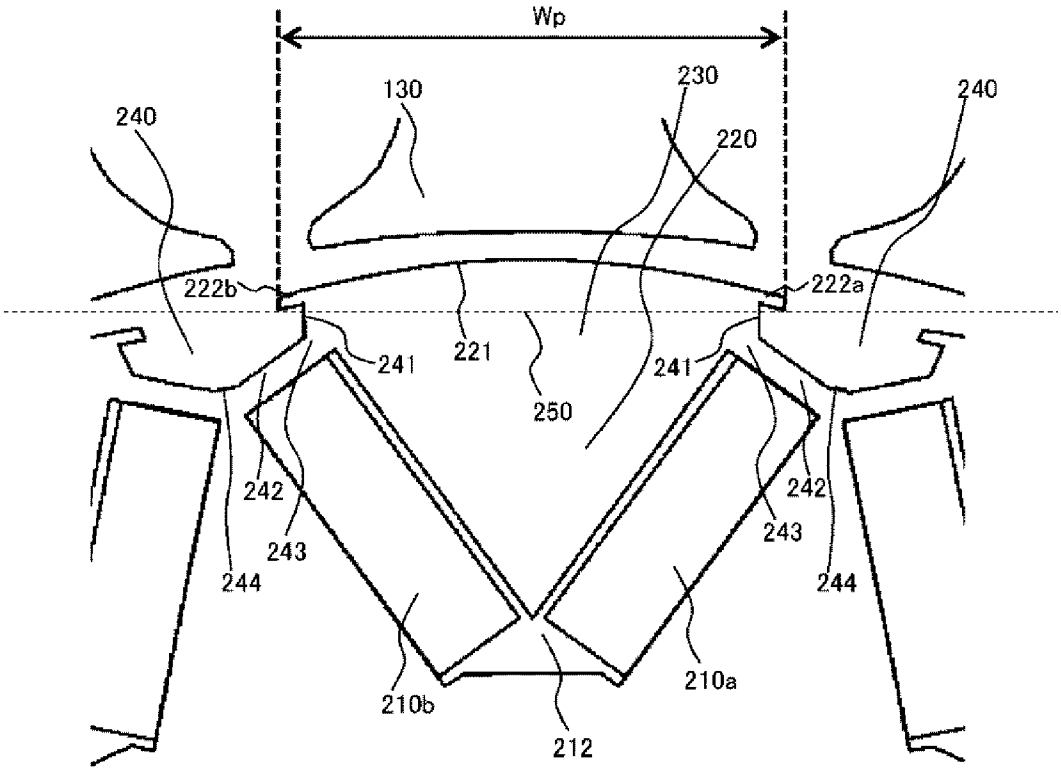
[図2]

図 2



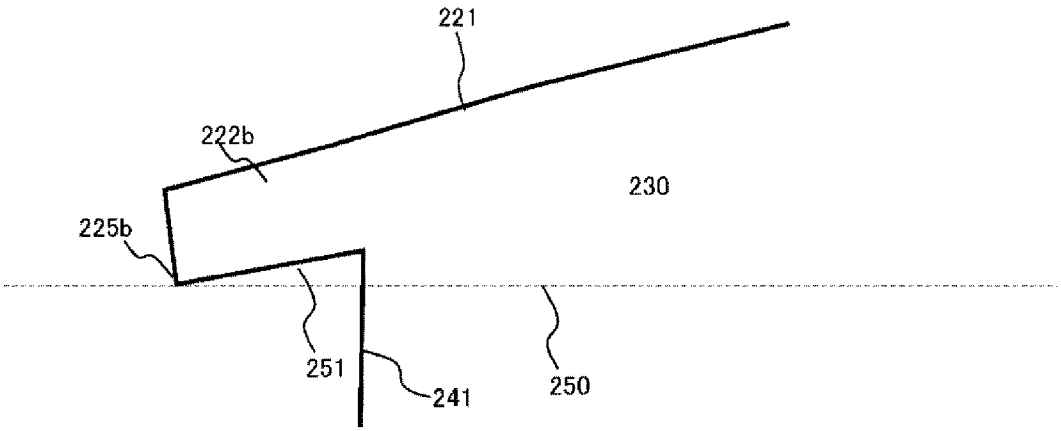
[図3A]

図 3A



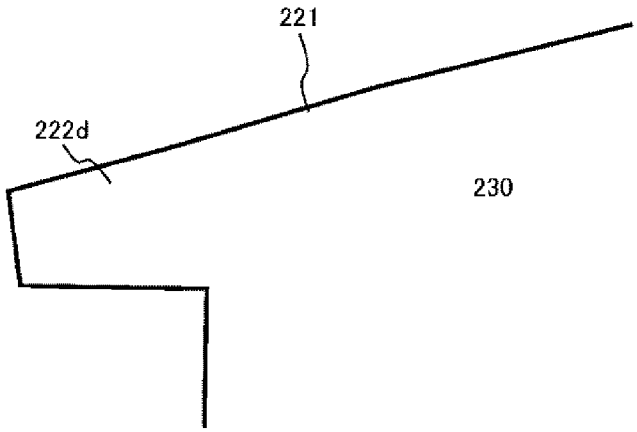
[図3B]

図 3B



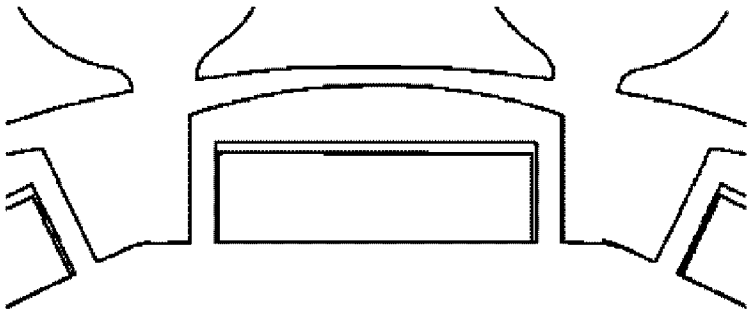
[図4]

図 4



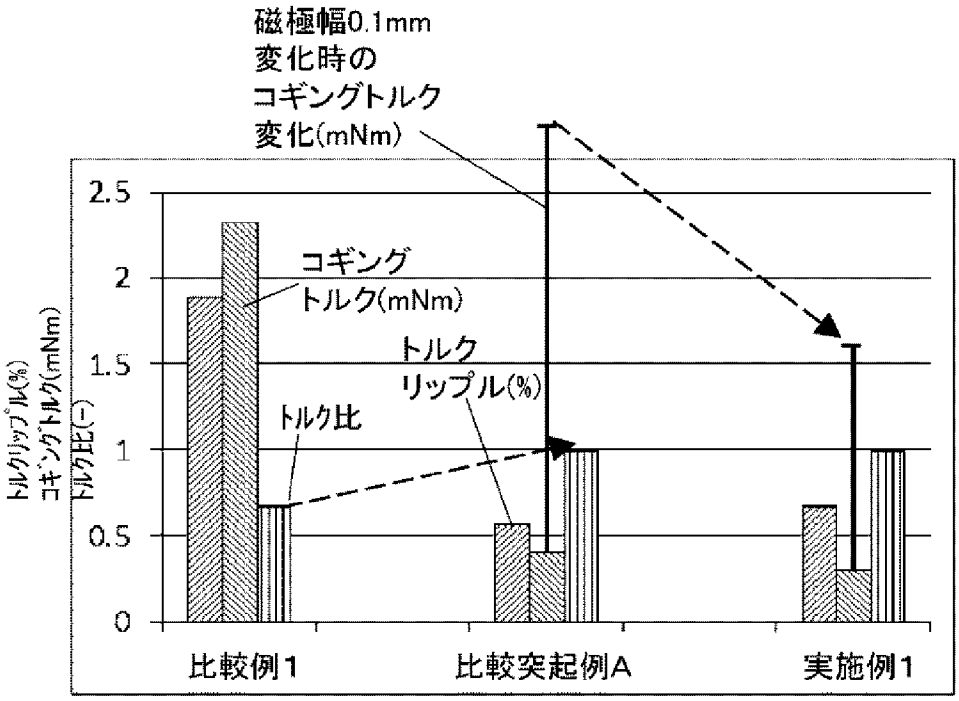
[図5]

図 5



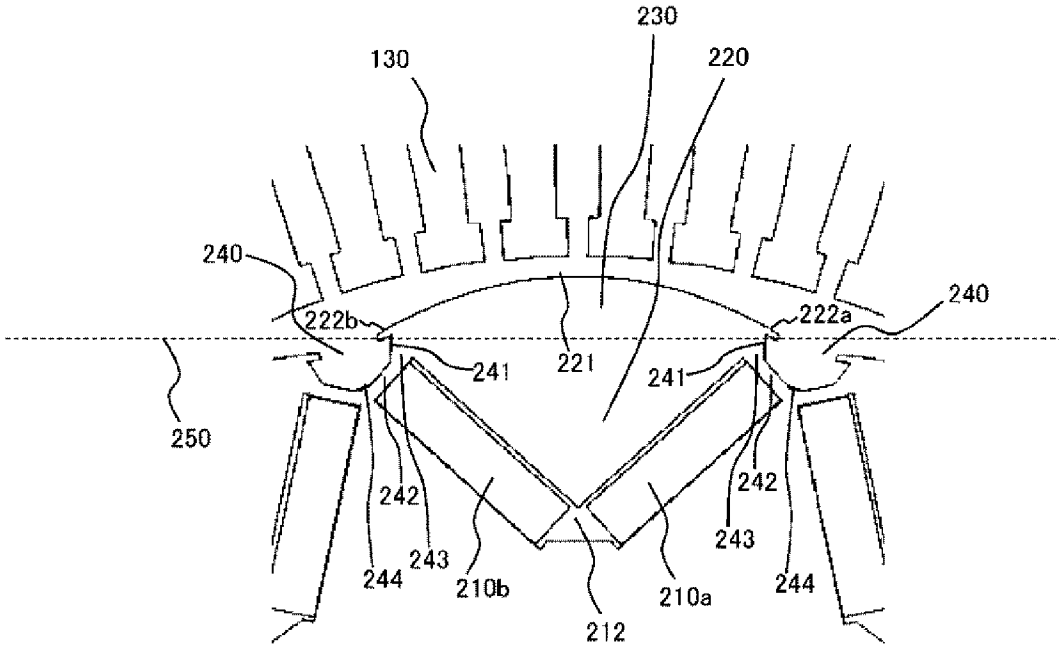
[図6]

図 6


磁極幅0.1mm
変化時の
コギングトルク
変化(mNm)
2.5
2
1.5
1
0.5
0
コギング
トルク(mNm)
トルク
リップル(%)
トルク比
トルクリップル(%)
コギングトルク(mNm)
トルク比(−)
比較例1
比較突起例A
実施例1

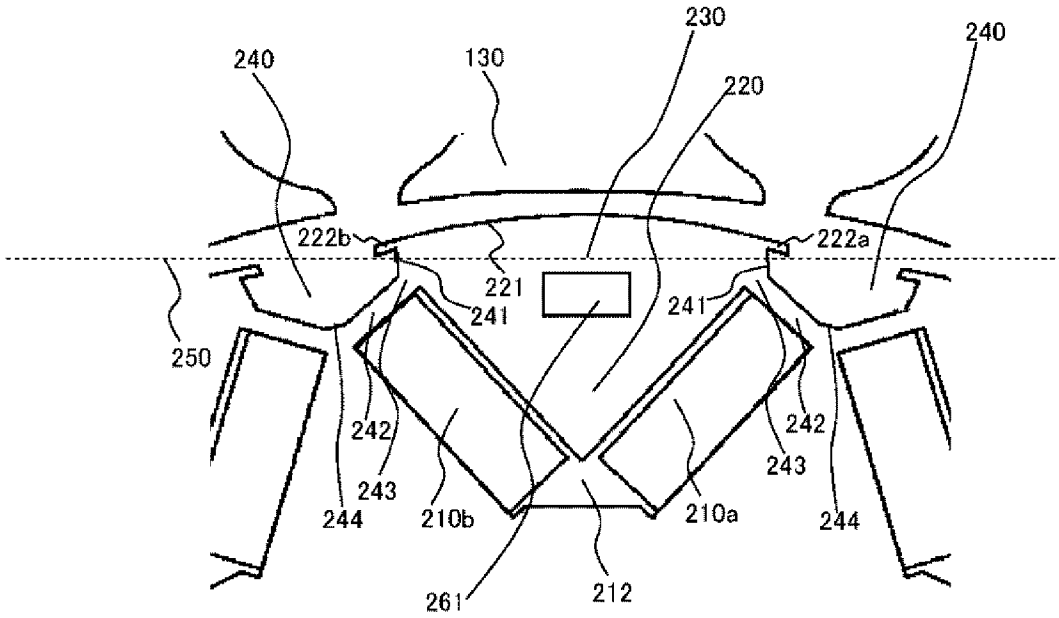
[図7]

図 7


230
130
220
240
240
222b
222a
241
221
241
250
242
242
243
243
244
244
210b
210a
212

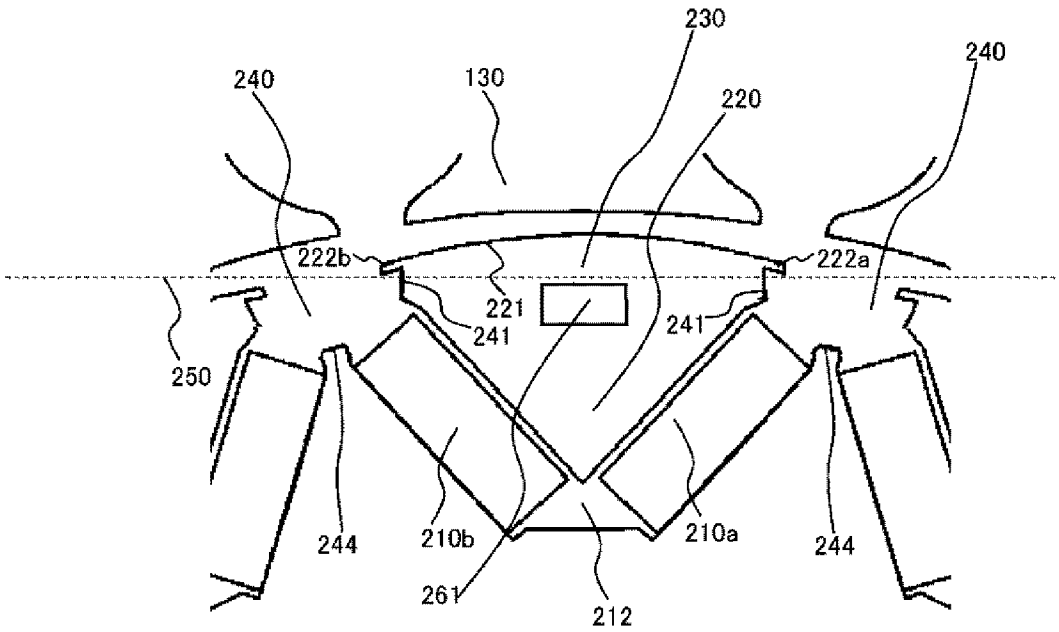
[図8A]

図 8A



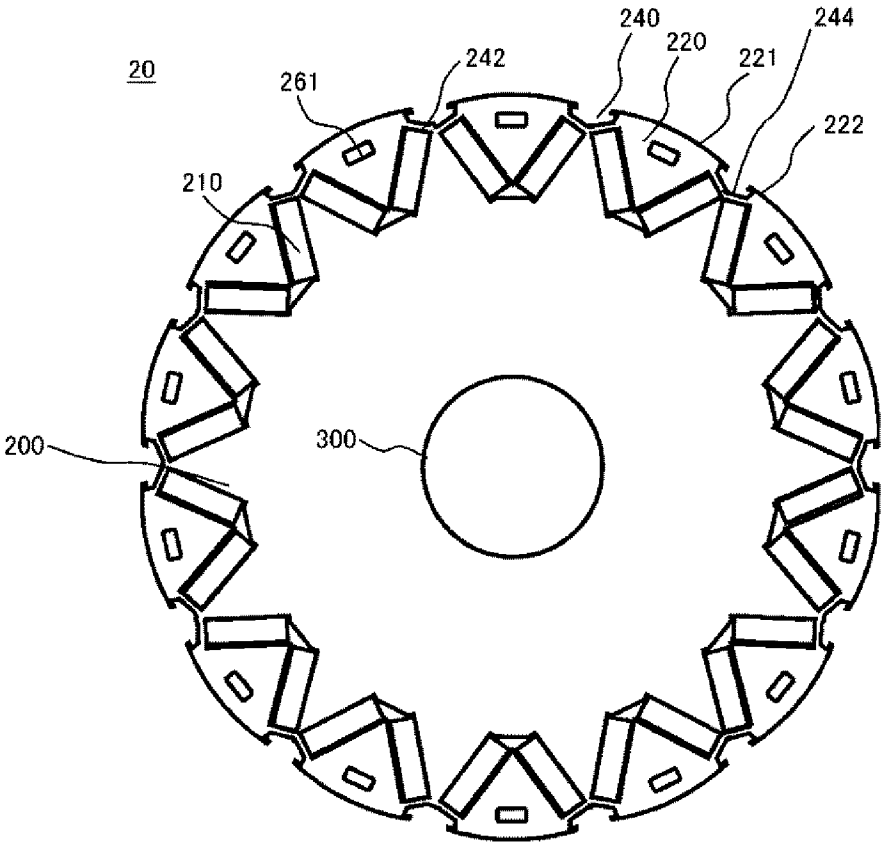
[図8B]

図 8B



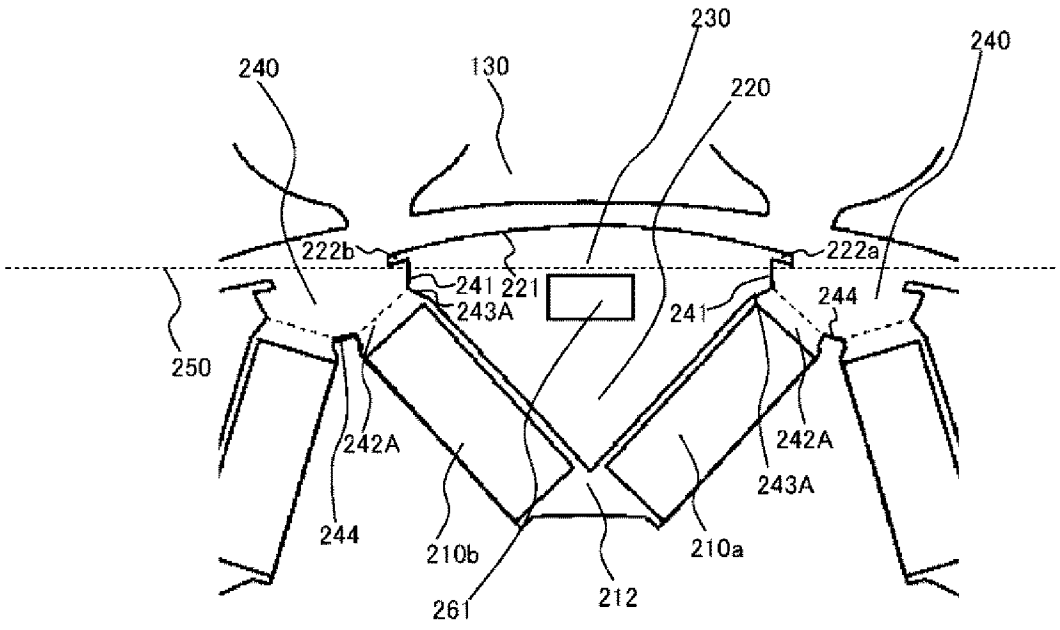
[図8C]

図 8C



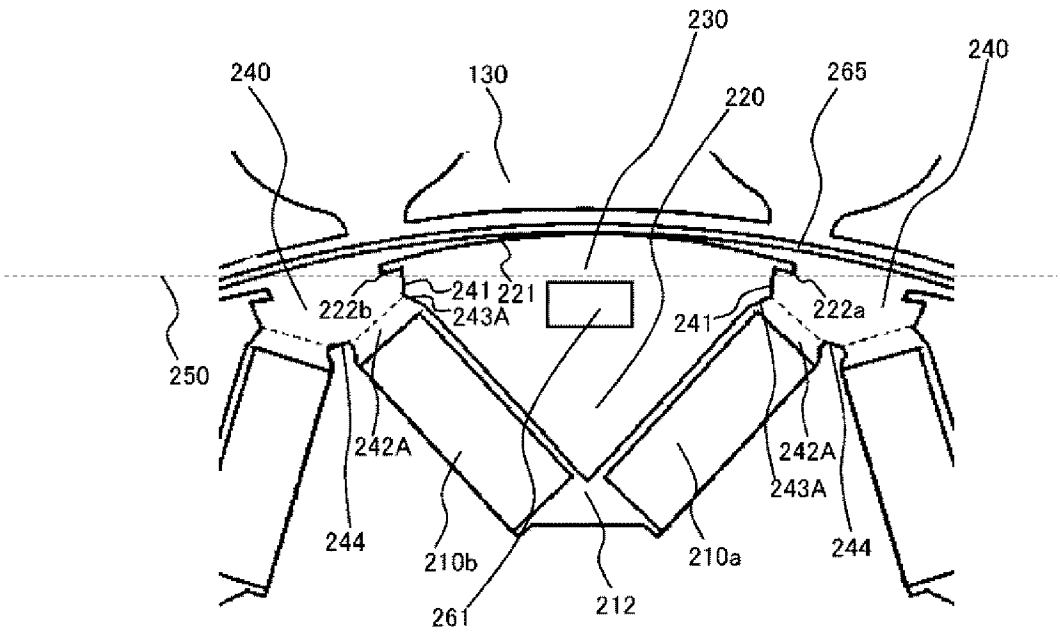
[図8D]

図 8D



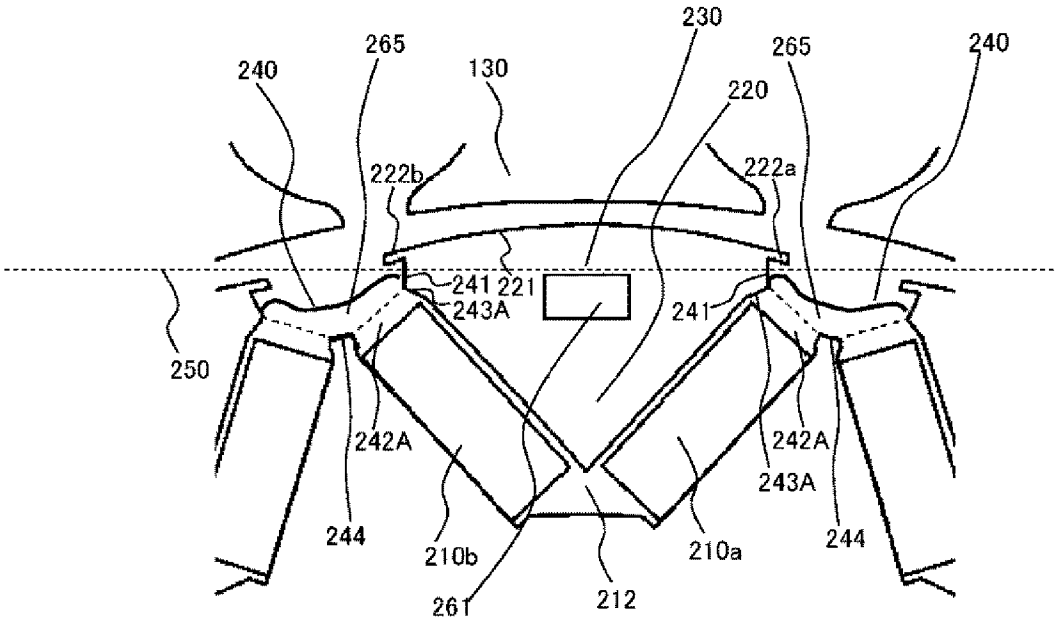
[図8E]

図 8E



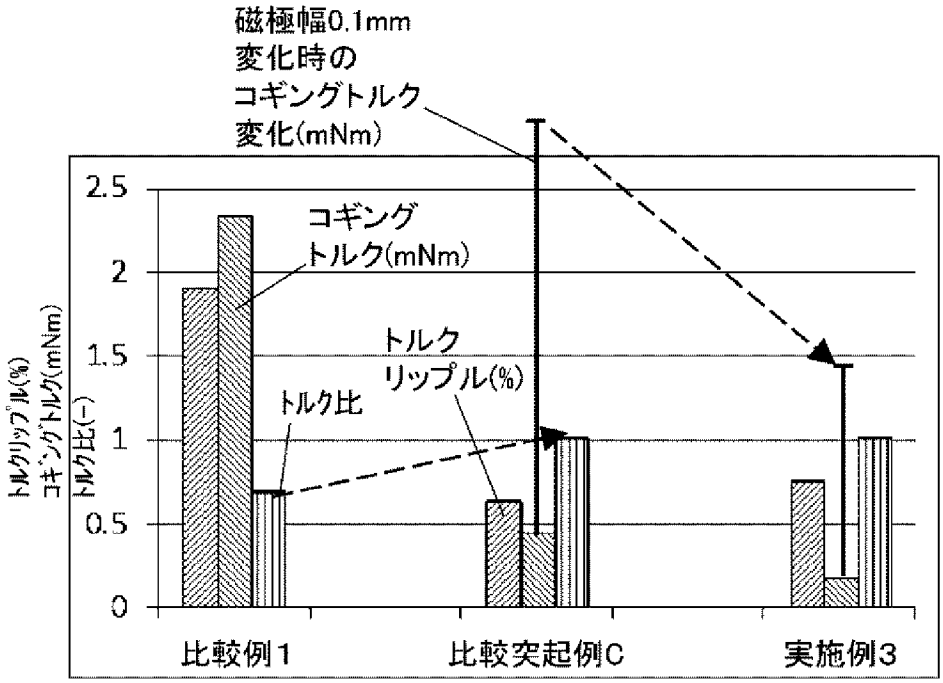
[図8F]

図 8F



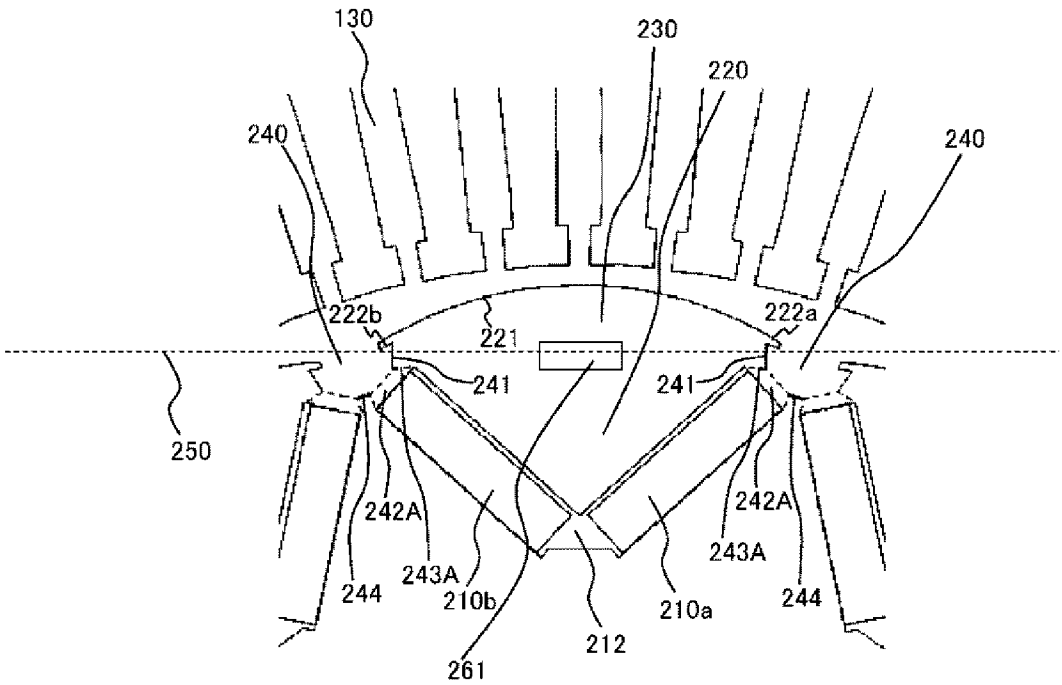
[図9]

図 9


磁極幅0.1mm
変化時の
コギングトルク
変化(mNm)
2.5
2
1.5
1
0.5
0
コギング
トルク(mNm)
トルク
リップル(%)
トルク比
トルクリップル(%)
コギングトルク(mNm)
トルク比(-)
比較例1
比較突起例C
実施例3

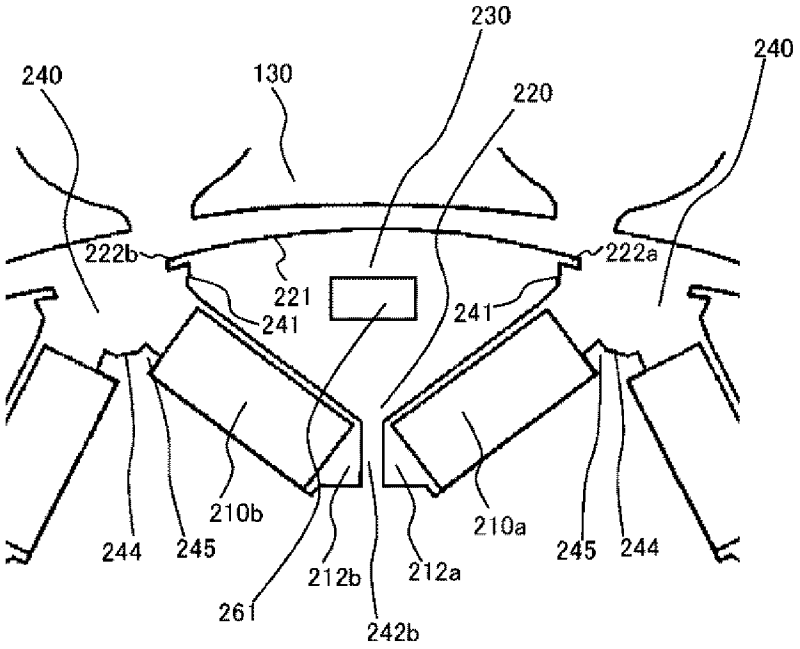
[図10]

図 10


130
230
220
240
240
222b
221
222a
241
241
250
242A
242A
243A
243A
244
244
210b
210a
212
261

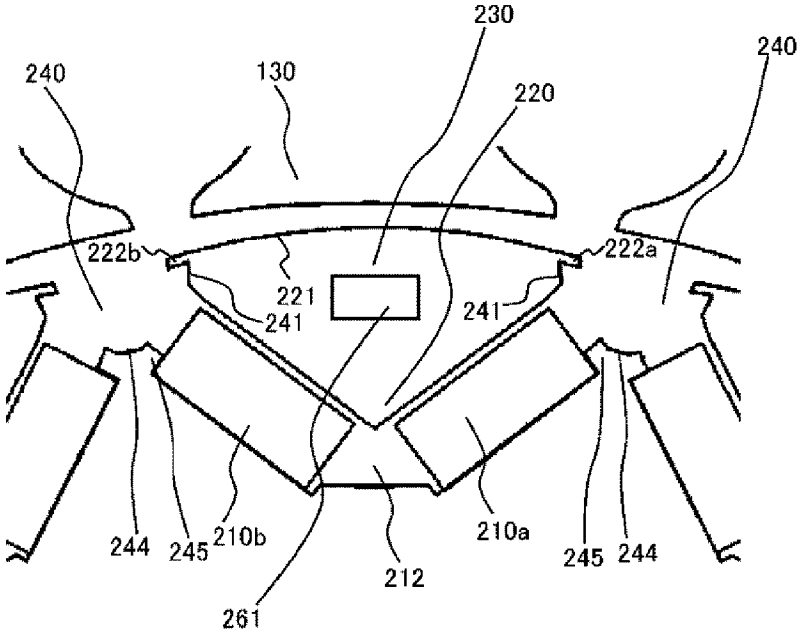
[図11A]

図 11A



[図11B]

図 11B



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2018/029172

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int. Cl. H02K1/27(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. H02K1/27

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 Y	JP 2010-246301 A (NISSAN MOTOR CO., LTD.) 28 October 2010, paragraphs [0010]-[0037], fig. 1-3, 12, 13 (Family: none)	1, 5, 7 2-4, 6, 8-10
Y A	JP 2014-79068 A (DAIKIN INDUSTRIES, LTD.) 01 May 2014, paragraphs [0074], [0081], fig. 9, 10 (Family: none)	2-4, 6, 8-10 1, 5, 7
Y A	JP 2014-239633 A (MITSUBA CORP.) 18 December 2014, paragraphs [0024]-[0030], fig. 1-4 (Family: none)	3-4, 6, 8-10 1-2, 5, 7
Y A	JP 2016-178863 A (ASMO CO., LTD.) 06 October 2016, paragraphs [0094], [0095] (Family: none)	8-10 1-7

☒ 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	Date of mailing of the international search report
@@@o8.11.2018	20.11.2018
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/JP2018/029172

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	WO 2016/170624 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 27 October 2016, paragraphs [0172]-[0178] & US 2018/0115202 A1, paragraphs [0219]-[0222] & EP 3288155 A1 & CN 107534331 A	8-10 1-7
A	US 2004/0189132 A1 (EMERSON ELECTRIC COMPANY) 30 September 2004, entire text, all drawings & WO 2004/095679 A1, entire text, all drawings	1-10

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１８／０２９１７２

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H02K1/27(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.　H02K1/27

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 Y	JP 2010-246301 A（日産自動車株式会社）2010.10.28, 段落[0010]-[0037],図 1-3,12-13（ファミリーなし）	1,5,7 2-4,6,8-10
Y A	JP 2014-79068 A（ダイキン工業株式会社）2014.05.01, 段落[0074],[0081],図 9-10（ファミリーなし）	2-4,6,8-10 1,5,7
Y A	JP 2014-239633 A（株式会社ミツバ）2014.12.18, 段落[0024]-[0030],図 1-4（ファミリーなし）	3-4,6,8-10 1-2,5,7

☑　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	国際調査報告の発送日
０８．１１．２０１８	２０．１１．２０１８

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　３Ｖ　９２５６
池田　貴俊
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３５７

C（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y	JP 2016-178863 A (アスモ株式会社) 2016.10.06,	8-10
A	段落[0094]-[0095] (ファミリーなし)	1-7
Y	WO 2016/170624 A1 (三菱電機株式会社) 2016.10.27,	8-10
A	段落[0172]-[0178] & US 2018/0115202 A1,段落[0219]-[0222] & EP 3288155 A1 & CN 107534331 A	1-7
A	US 2004/0189132 A1 (EMERSON ELECTRIC COMPANY) 2004.09.30, 全文,全図 & WO 2004/095679 A1,全文,全図	1-10