

(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7月12日(12.07.2018)



(10) 国際公開番号

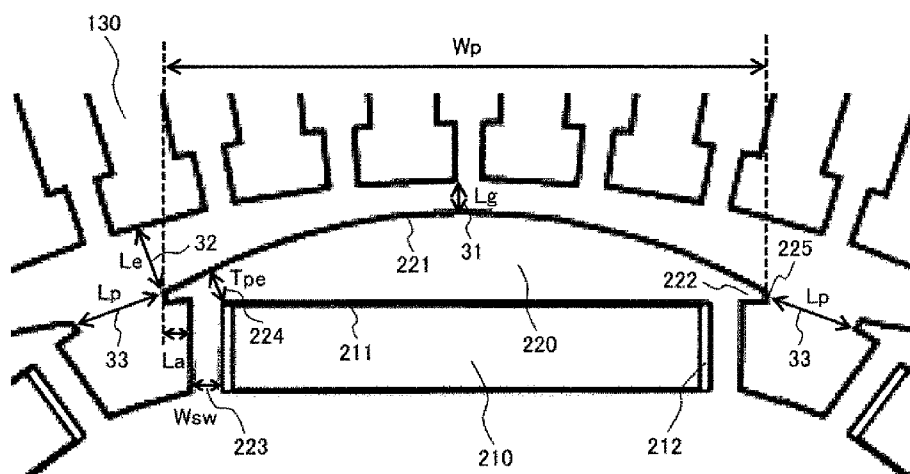
WO 2018/128043 A1

- (51) 国際特許分類:
H02K 1/27 (2006.01) *H02K 1/22* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/043935
- (22) 国際出願日: 2017年12月7日(07.12.2017)
- (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 2017-000834 2017年1月6日(06.01.2017) 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 2 5 2 0 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 2 5 2 0 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 2 5 2 0 番地 日立オートモティブシステムズ株式会社内 Ibaraki (JP). 郡 大祐(KORI Daisuke); 〒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). 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).

(54) Title: ROTATING ELECTRICAL MACHINE AND AUTOMOTIVE ELECTRICAL AUXILIARY SYSTEM USING SAME

(54) 発明の名称: 回転電機、および、それを用いた自動車用電動補機システム

図 3A



(57) Abstract: The present invention addresses the problem of providing a 10-pole 60-slot embedded permanent magnet-type rotating electrical machine of a distributed winding format, wherein a rotor structure of the rotating electrical machine has a magnetic pole shape that enables ample reduction of the cogging torque, with changes in the magnetic pole shape having little effect on the cogging torque. The rotating electrical machine is composed of an inner peripheral-side rotor and an outer peripheral-side stator, and is characterized in that: the rotor is composed of a rotor core obtained by stacking electromagnetic steel sheets, permanent magnets inserted into magnet mounting holes of the rotor core, and a shaft that serves as an axis of rotation; a plurality of magnetic poles having protrusions at two ends are formed on an outer peripheral side of the rotor core; the entirety of magnetic pole arcs, which are an outer peripheral surface of each of the magnetic poles, lies further to the outer peripheral side than the permanent magnets; and a distance L_p between



(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))

a protrusion of a magnetic pole and a protrusion of an adjacent magnetic pole is greater than a distance L_e between an end and the stator.

(57) 要約: 本発明の課題は、分布巻方式の10極60スロットの埋め込み永久磁石式回転電機において、コギングトルクを十分低減可能な磁極形状を有し、磁極形状の変化によるコギングトルクへの影響が小さい、回転子構造を提供することである。内周側の回転子と、外周側の固定子と、からなる回転電機であって、前記回転子は、電磁鋼板を積層した回転子コアと、該回転子コアの磁石取付孔に挿入した永久磁石と、回転軸となるシャフトと、からなり、前記回転子コアの外周側には、両端に突起を有した磁極が複数形成されており、各磁極の外周面となる磁極円弧は、全体が前記永久磁石より外周側にあり、ある磁極の突起と隣接する磁極の突起の距離 L_p が、前記端部と前記固定子の距離 L_e よりも大きいことを特徴とする。

明 細 書

発明の名称：

回転電機、および、それを用いた自動車用電動補機システム

技術分野

[0001] 本発明は、永久磁石式回転電機、および、これを用いた電動パワーステアリング装置や電動ブレーキ装置などの自動車用電動補機システムに関する。

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脈動）と、電気モータの固定子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、電気モータのトルク脈動を手を感じることになる。これを抑制するため、EPS装置に用いる電気モータでは、コギングトルクをアシストトルクの $1/1000$ 未満に、トルク脈動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、製造費用が

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おり、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] E P S 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と、磁石コストで優れる埋め込み磁石式があるが、何れの場合も、磁石コスト低減の点から、極数個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、磁石取付孔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、ロータ磁極と固定子間のエアギャップ長を短縮できる。磁石取付孔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、トルク脈動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、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コギングトルクを低減する必要が生じる。

[0009] 巻線方式、極数、スロット数、磁石方式が違えば磁束分布が違ってくるため、それぞれに異なる磁極形状の工夫が必要となる。また、E P S 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。例えば、特許文献1の要約書には、『ブラシレスモータは、ロータ内にマグネットが収容固定されたIPM型の構成となっている。ロータは、鋼板材を積層してなるロータコアを有する。ロータコアは、コア本体部と、マグネット取付孔と、突極部を有し、マグネット取付孔には、空隙部を形成しつつマグネットが収容固定されている。隣接する突極部間には凹部が設けられている。各突極部の周方向両端には、突極部の外周面を延長させる形で鏝部が突設されている。鏝部は、凹部の外周側に設けられており、対向する鏝部の間には隙間が形成されている。』と記載されている。

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] 以下では、埋め込み磁石式を使用した特許文献1における、コギングトルクの低減余地を検討する。

[0013] 特許文献1の図2等には、ロータ（回転子）において、磁石を収容した取付孔の周方向両端に非磁性部となる空隙部を形成し、磁極部の周方向端部に鏝部を形成されたロータコアが示されている。また、同文献の図4から明らかなように、ロータの回転半径に比べて、磁極円弧の半径（以下「磁極円弧半径」と称する）が小さく、磁極の端は磁石の外周側よりも内周側に位置する形状になっている。この磁極円弧半径の小ささは、同文献の図2等に表示される6極9スロット集中巻のような2：3系列の永久磁石式回転電機に特有な形状であり、磁極円弧半径を小さくすることで、コギングトルクを安定化させることができるが、これだけではコギングトルクを十分低減できないため、さらに工夫が必要となる。

[0014] また、特許文献1の段落0011等には、トルク低下抑制のため鏝部の長

さ（凹部）を開口幅の $1/2$ 未満とする構成が示されており、同文献の図5等には、鏝部の長さを板厚以上としてコギングトルクを20%低減できる効果が示されている。特許文献1で、鏝部を長くしたことによる効果が低減率20%と小さいのは、磁極円弧半径が小さいため、固定子と磁極端部との距離が大きくなる結果、両者間に存在する磁束が少なくなり、磁束分布への鏝部の長さの影響が小さいためと考えられる。また、磁極円弧半径が小さく、固定子と鏝部先端との距離が、隣接する鏝部先端同士の距離より大きいいため、固定子と磁極端部の間に存在する磁束が少なくなることが、20%という小さな低減率の理由と考えられる。

[0015] このように、特許文献1が開示する構成には、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。また、巻線方式、極数、スロット数、磁石方式が異なる場合は、磁束分布が違ってくため、異なる磁極形状の特有の工夫が必要となる。さらに、磁極の外周形状、磁石取付孔の位置と形状が、製造誤差などによって所定値から変化したとき、コギングトルクへの影響が小さい方が製造誤差低減のための労力が軽減されるため、磁極形状の誤差がコギングトルクへ与える影響が小さいことが望ましい。

[0016] 本発明は、このような背景に鑑みてなされたのであり、コギングトルクを十分に低減でき、磁極形状の誤差がコギングトルクへ与える影響を小さくできる永久磁石式回転電機を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0017] 前記の課題は、内周側の回転子と、外周側の固定子と、からなる回転電機であって、前記回転子は、電磁鋼板を積層した回転子コアと、該回転子コアの磁石取付孔に挿入した永久磁石と、回転軸となるシャフトと、からなり、前記回転子コアの外周側には、両端に突起を有した磁極が複数形成されており、各磁極の外周面となる磁極円弧は、全体が前記永久磁石より外周側にあり、ある磁極の突起と隣接する磁極の突起の距離 L_p が、前記端部と前記固定子の距離 L_e よりも大きい回転電機により解決できる。

[0018] その他の解決手段は、実施形態において適宜記載する。

発明の効果

- [0019] 本発明の永久磁石式回転電機によれば、コギングトルクを十分低減でき、磁極形状の変化がコギングトルクへ与える影響が小さく、製造誤差低減のための労力を軽減することができる。
- [0020] 上記した以外の課題、構成及び効果は、以下の実施形態の説明により明らかにされる。

図面の簡単な説明

- [0021] [図1]実施例1の永久磁石式回転電機の回転面内断面図
[図2]実施例1の回転子の断面図
[図3A]実施例1の回転子断面の磁極付近の拡大図
[図3B]実施例1の突起端部付近の拡大図
[図4]実施例2の回転子断面の磁極付近の拡大図
[図5]実施例3の回転子断面の磁極付近の拡大図
[図6]比較例の回転子断面の磁極付近の拡大図
[図7]コギングトルクと突起長さおよび角部厚さとの関係を説明する図
[図8]実施例1と比較例の効果の比較説明図

発明を実施するための形態

- [0022] 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。

実施例 1

- [0023] 図1から図3Bを用いて、実施例1の永久磁石式回転電機1の構成を説明する。図1は、本実施例の永久磁石式回転電機1の回転面内断面図であり、図2は、図1の回転子20の断面図、図3Aは、図1の点線で囲ったX部の拡大図、図3Bは、突起端部付近の拡大図である。
- [0024] 図1に示すように、本実施例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、10極

60スロット分布巻の永久磁石式回転電機であり、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、外周側に環状のコアバック110を配し、内周側に放射状のティース130を配した電磁鋼板を積層して固定子コア100を構成し、固定子コア100の巻線部140に巻線を形成して分布巻線を形成した後、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とで形成される。

[0025] また、図2に示すように、本実施例の回転子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からなる。そして、回転子コア200の外周に設けられた10極の軟磁性磁極220の各々は、磁極外周面となる磁極円弧221の両端に突起222が設けられるとともに、矩形の磁石取付孔212に矩形の永久磁石210が挿入されている。なお、図3Aに示すように、軟磁性磁極220の磁極幅を W_p 、突起222の突起長さを L_a 、磁石取付孔212の側壁厚さを W_{sw} 、磁石取付孔212の角部磁極材厚さを T_{pe} 、隣接する突起222間の距離を L_p 、磁極中央と固定子内周の距離を L_g 、突起端部225と固定子10の距離を L_e とする。以下では、軟磁性磁極220の形状とコギングトルクの関係の検討結果を説明した後、本実施例の詳細構造について説明する。

[0026] 一般的に、コギングトルク、特に、スロットコンビネーションから指定される次数のコギングトルクは、磁極円弧221の円弧半径（以下「磁極円弧半径」と称する）を回転子20の外表面の回転半径よりも小さくすることで、小さくできる。ところが、磁極円弧半径を小さくしていくと、コギングトルクが一旦消えるが（このときの磁極円弧半径を磁極円弧半径Aとする）、さらに小さくしていくと、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。

[0027] また、磁極円弧半径が小さすぎると、突起端部225と固定子10の距離 L_e が大きくなるため、そこでの磁束が少なくなり、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。このため、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たい場合には、磁極円弧半径が磁極円弧

半径Aより小さすぎる形状は好ましくない。以下では、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。

[0028] この磁極円弧半径Bを維持したまま磁極端部の形状を変化させる構造として、磁極外周面の両端に突起222を設ける構造がある。この突起222を適切に設計することで、突起222と固定子10の間の磁束を増加させることができ、実効的に磁極円弧半径Aと同等の効果を得ることができる。すなわち、磁極円弧半径Bの磁極端部付近の磁束分布を改善することで、コギングトルクを磁極円弧半径Aと同程度の小ささに改善できると考えられる。なお、軟磁性磁極220に施す形状変化は、突起222のみの局所的なものであるため、突起長さ L_a に対する磁束の変化は、磁極幅 W_p や磁極円弧半径を変化させるより緩やかになると考えられる。また、突起222を経由して隣接する突起222に漏れる磁束は、微少量であるため、トルク低下も抑制できると考えられる。

[0029] 突起222の延長によりコギングトルクを十分小さくできる場合は、磁極円弧半径Bの突起端部225と固定子10の間に、コギングトルクに影響し、かつ、トルクに寄与するほどの磁束が存在することになる。このため、突起222は、永久磁石210の磁束を固定子10に導きやすい形状であることが望ましい。具体的には、突起端部225を固定子10に近づけるため、磁極円弧221が全面に亘り磁石外周面211よりも外周側に位置し、かつ、突起端部225と固定子10の距離 L_e が磁極中央と固定子内周の距離 L_g の2.5倍以内となる形状であることが望ましい。また、突起222を経由して隣接する突起222に漏れる磁束量を微少量に留めるには、突起間の距離 L_p が、突起端部225と固定子10の距離 L_e より大きい形状であることが望ましい。

[0030] さらに、軟磁性磁極220の幅 W_p が小さすぎると、磁極円弧半径が小さすぎる場合と同様に、磁極間に磁束の少ない領域が発生し、コギングトルクを小さくできる磁束分布から遠ざかることに加え、永久磁石210の幅の縮

小によりトルクを低下させることになるため、好ましくない。一方、高トルクを得ようとして永久磁石 210 の幅を増加させ過ぎると、磁極円弧半径が大きすぎる場合と同様に、コギングトルクの低減が困難になる。このため、磁極幅 W_p は適度な大きさである必要があり、磁極中央と固定子内周の距離 L_g に対して、突起端部 225 と固定子 10 の距離 L_e が 2.5 倍以内となる範囲に、磁極円弧半径 A と磁極円弧半径 B がともに存在するような磁極幅 W_p が望ましい。

[0031] また、磁石取付孔 212 の角部と磁極外周面との最短距離である、角部磁極材厚さ T_{pe} は、熱減磁とコギングトルクに影響する。熱減磁に関しては、固定子 10 のティース 130 からの減磁界が 60 スロットにより分散して、磁石端部への集中が緩和され、問題にならない程度になるため、ここでは議論しない。

[0032] 一方、磁極円弧半径 B を維持したまま、角部磁極材厚さ T_{pe} を側壁厚さ W_{sw} よりも大きな値から側壁厚さよりも小さな値に小さくしていくと、側壁を通る磁束漏れ量を角部磁極材厚さ T_{pe} が支配してコギングトルクが減少するようになる。この磁束漏れの減少は、磁石取付孔 212 の角部から内側の磁極の磁束を増加させ、実効的に磁石の残留磁束密度を増加するのと同様の効果になる。このとき、増加する磁束は、結果として、磁束の過密な中央部よりも端部の磁極と固定子の間で増加する。これにより、磁極円弧半径を増加させた場合と似た効果になり、磁極と固定子の間の磁束分布がコギングトルクを小さくする方向に変化すると考えられる。ただし、この突起端部 225 と固定子 10 の間の磁束増加は、角部磁極材厚さ T_{pe} の変化による磁性体内の磁束量の減少に起因するため、突起延長による突起端部 225 と固定子 10 の間の空間の磁束量の増加より変化が大きいと考えられる。

[0033] このため、角部磁極材厚さ T_{pe} を側壁厚さ W_{sw} より大きくした上で、コギングトルクを小さくする突起 222 を形成すると、角部磁極材厚さ T_{pe} が製造誤差により変化しても、コギングトルクの変動を小さくできると考えられる。

[0034] また、側壁厚さ W_{sw} が大きいと永久磁石210のNS極間の磁束漏れが増加してトルクが低下するため、側壁厚さ W_{sw} は、安定して量産可能な最小の厚さに設定するのが望ましい。角部磁極材厚さ T_{pe} が側壁厚さ W_{sw} より大きい場合、側壁厚さ W_{sw} の減少による磁極磁束増加の影響は、磁極幅 W_p 全体に及ぶ。このとき、実効的に、永久磁石210の残留磁束密度増加と磁石幅増加が両方生じたと考えることができ、磁石幅増加では磁極中央部でより磁束が増加するため、角部磁極材厚さ T_{pe} の減少の場合よりも影響が均される。このため、角部磁極材厚さ T_{pe} の減少の場合よりもコギングトルクへの影響は小さくなると考えられる。

[0035] 以上の検討から、永久磁石式回転電機には、次の構成の採用が有効であることが確認された。

(1) 磁極円弧221が、全面に亘り磁石外周面211より外周側にあること、

(2) 磁極円弧221を延長する突起222を設け、当該突起と隣り合っている磁極の突起との距離 L_p が、磁極円弧221と固定子との距離が最も大きい部分の距離 L_e よりも大きいこと、

(3) 角部磁極材厚さ T_{pe} が、側壁厚さ W_{sw} より大きいこと、

(4) 磁極中央と固定子内周の距離 L_g に対して、磁極端部と固定子の間の距離 L_e が2.5倍以内となる磁極円弧221を有すること。

[0036] 以上の検討結果を踏まえ、本実施例の永久磁石式回転電機1の構成を詳細に説明する。図1に示すように、永久磁石式回転電機1は、固定子10と回転子20を備えるものである。また、回転子20は、図2に示すように、回転子コア200を有し、これと一体化して径方向に突出した軟磁性磁極220には磁石取付孔212が穿たれており、そこに永久磁石210が配置される。回転子コア200は、打ち抜き形成された電磁鋼板を積層することで、回転軸方向に厚さを持つ回転子20を形成する。

[0037] 軟磁性磁極220は、図3Aに示すように、固定子10に近い側に磁極円弧221を有し、磁石取付孔212の側面に打ち抜き形成した側壁223を

有する。側壁 223 が存在すると、永久磁石自身の NS 極間に磁束漏れが起きてトルク低下を引き起こすので、側壁厚さ W_{sw} は量産打ち抜き工程で可能となる最小の厚さであることが望ましい。また、軟磁性磁極 220 は、磁石取付孔 212 の角部と磁極円弧 221 の間に、角部磁極材 224 を有する。この厚さである角部磁極材厚さ T_{pe} も磁束漏れ量に影響しトルクに影響する。また、軟磁性磁極 220 は、磁極円弧 221 が延長された突起 222 と、その先端の突起端部 225 を有し、軟磁性磁極 220 の両端の距離が磁極幅 W_p である。また、突起 222 付近の拡大図である図 3B に示す、磁極幅 W_p の突出方向と磁極円弧 221 が交わる交点 226 が、磁極円弧 221 と固定子 10 との距離が最も大きい部分に該当し、磁極円弧 221 の端部でもある交点 226 が、磁石外周面 211 の延長面より外周側にある形状を有する。また、本実施例では、隣接する突起 222 同士の距離 L_p が、交点 226 と固定子 10 との距離 L_e よりも大きい形状を有する。また、角部磁極材厚さ T_{pe} が、側壁厚さ W_{sw} より大きい形状を有し、さらに、交点 226 と固定子内周の距離 L_e が、磁極中央と固定子内周の距離 L_g の 2.5 倍以内となる磁極円弧 221 を有する。

[0038] 以上で説明した形状の軟磁性磁極 220 を用いることにより、磁石使用量に対するトルク出力が大きく、コギングトルク、トルクリップルに優れた永久磁石式回転電機を得ることができる。

[0039] 本実施例の永久磁石式回転電機 1 の回転子構造を磁場解析して得られたコギングトルクの 60 次成分の計算結果を図 7 に示す。この磁場解析時に変化した磁極形状は、突起 222 の長さ L_a と、角部磁極材厚さ T_{pe} である。図 7 では、横軸を、突起長さ L_a / 最大突起長さ L_{amax} とし、縦軸を、角部磁極材厚さ T_{pe} / 側壁厚さ W_{sw} とした。なお、最大突起長さ L_{amax} は隣接する突起 222 の間隔が 0 になる長さである。また、図 7 の等高線は、コギングトルクの 60 次成分の両振幅を mNm の単位で示したものである。数値の符号は、コギングトルクの波形が計算開始から正方向に振れるか、負方向に振れるかに対応させたもので、便宜的に正負を記したもので

あり、軟磁性磁極 220 の形状によってコギングトルク波形の位相が逆になることを示している。

[0040] 図 7 の等高線から分かるように、横軸方向（突起長さ L_a / 最大突起長さ L_{amax} ）の変化に対して、コギングトルク 60 次成分の変化は小さいといえる。これは突起長さ L_a が変化してもエアギャップ 30 内の磁束分布の変化が小さいことと対応する。

[0041] 一方、縦軸方向（角部磁極材厚さ T_{pe} / 側壁厚さ W_{sw} ）の変化に関しては、角部磁極材厚さ T_{pe} が側壁厚さ W_{sw} より大きいとき（縦軸が 1 より大きいとき）は小さいが、角部磁極材厚さ T_{pe} が側壁厚さより小さいとき（縦軸が 1 より小さいとき）は大きいといえる。これは、角部磁極材厚さ T_{pe} が大きいときは、その厚さが変化してもエアギャップ 30 内の磁束分布の変化が小さいのに対し、角部磁極材厚さ T_{pe} が小さいときは、その厚さが変化したときのエアギャップ 30 内の磁束分布の変化が大きいことと対応する。図 7 から得られる知見は、本実施例の前段で、磁極構造とコギングトルクの関係の検討から得られた知見（1）～（4）と一致する。

[0042] ここで、突起長さ L_a を大きく、また、角部磁極材厚さ T_{pe} を小さくしていくことは、交点 226 が、磁石外周面 211 の延長面の外周側から内周側の方向に移っていくことと対応する。このとき、図 7 から分かるように、突起長さ L_a に対するコギングトルク 60 次成分の変化は小さくなるが、角部磁極材厚さ T_{pe} に対するコギングトルク 60 次成分の変化が大きくなるため、全体としては好ましくない。前記の磁極構造とコギングトルクの関係の検討においては、磁極円弧半径との関係から、交点 226 が磁石外周面 211 の延長面の外周側にあることが好ましいことを述べたが、突起長さ L_a および角部磁極材厚さ T_{pe} との関係においても交点 226 が磁石外周面 211 の延長面の外周側にあることが好ましいことが分かる。したがって、交点 226 が磁石外周面 211 の延長面の外周側にある形状は、コギングトルクの低減と形状の変化に対する安定性の観点から好ましいことになる。

[0043] また、突起長さ L_a を大きくしていくことは、隣接する突起間の距離 L_p

が、交点226と固定子10の距離 L_e よりも大きい形状から、小さい形状へと移っていくことと対応する。このとき、図7から分かるように、突起長さ L_a に対するコギングトルク60次成分の変化は小さくなる。これは、角部磁極材厚さ T_{pe} が小さいために、突起長さ L_a が大きいとエアギャップ30の磁束分布の変化が小さくなることを示している。一方、距離 L_p が小さくなると、隣りあう磁極への磁束漏れが増大して、トルク低下と、トルクリップル増加が生じて好ましくない。このために $L_p > L_e$ となる形状が好ましい。

[0044] また、突起長さ L_a を大きくしていく場合は、交点226と固定子10との距離 L_e も大きくなるため、前記の磁極構造とコギングトルクの関係の検討において議論したように、磁極端部での磁束が減少し、コギングトルク60次成分の変化が小さくなる現象も生じている。ただし、実施例1において $L_p > L_e$ となる形状の場合は、 L_e の磁極中央と固定子内周のエアギャップ31の距離 L_g に対する比(L_e / L_g)が2.5を超えないため、 L_e / L_g による形状の制限は問題にならない。しかし、磁極の円弧半径が小さすぎることによって、 $L_p \leq L_e$ であっても L_e / L_g が2.5を超えることは好ましくない。

[0045] また、コギングトルク60次成分を小さくするには、突起長さ L_a ／最大突起長さ L_{amax} と、角部磁極材厚さ T_{pe} ／側壁厚さ W_{sw} の関係が、図7の一点破線(0 mNm)に近い位置にある磁極形状を有すると好ましい。また、突起長さ $L_a = 0$ かつ $T_{pe} / W_{sw} = 1$ の形状に対して、突起長さ L_a を大きくしていくとき、および、 T_{pe} / W_{sw} を小さくしていくときに、コギングトルク60次成分が小さくなることは、前記の磁極構造とコギングトルクの関係の検討から得られた知見と一致する。ただし、一点破線において、 $T_{pe} / W_{sw} < 1$ の場合は、 T_{pe} / W_{sw} の変化に対するコギングトルク60次成分の変化が大きいことが問題である。このため、 $T_{pe} / W_{sw} > 1$ となる形状であることが好ましい。

[0046] 本実施例の永久磁石式回転電機1の軟磁性磁極220に相当する、突起長

さ L_a / 最大突起長さ $L_{a\max} = 0.4$ 、角部磁極材厚さ T_{pe} / 側壁厚さ $W_{sw} = 1.2$ は、図 7 の点 α で示され、コギングトルク 60 次成分が十分小さいことが分かる。なお、点 α の近傍では、突起長さ L_a の 0.1 mm の変化に対してコギングトルクの変化は 0.5 mNm であり、また、角部磁極材厚さ T_{pe} の 0.1 mm の変化に対してコギングトルクの変化は 0.4 mNm であった。すなわち、本実施例の構成によれば、突起長さ L_a や角部磁極材厚さ T_{pe} の製造誤差に対するコギングトルクの変化が抑制されていることが確認された。

[0047] また、側壁厚さ W_{sw} の変化に関しては、角部磁極材厚さ T_{pe} と磁極幅 W_p を変えずに、 W_{sw} を 0.75 mm から 0.5 mm に変化させたときに、コギングトルクの変化の計算結果が 0.6 mNm であったため、 W_{sw} の影響は小さいと考えられる。このことは、前記の磁極構造とコギングトルクの関係の検討において議論した現象と一致する。

[0048] 図 7 の計算結果を用いて説明したように、本実施例の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り、また、形状変化のコギングトルクへの影響を低減できて製造精度向上努力を軽減できる効果を有する。

[0049] なお、本実施例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が、その他の自動車用電動補機装置へ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、本実施例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。

実施例 2

[0050] 図 4 を用いて、実施例 2 の永久磁石式回転電機 1 を説明する。なお、実施例 1 と共通の部分は説明を一部省略する。

[0051] 実施例 1 の軟磁性磁極 220 では、突起長さ L_a / 最大突起長さ $L_{a\max}$ が 0.4 で、角部磁極材厚さ T_{pe} が側壁厚さ W_{sw} より 20% 厚い形状であったが、本実施例の軟磁性磁極 220 では、突起長さ L_a をより短くす

るとともに、角部磁極材厚さ T_{pe} を側壁厚さ W_{sw} と等しい厚さとした。

[0052] 本実施例の永久磁石式回転電機1の軟磁性磁極220に相当する、突起長さ L_a ／最大突起長さ $L_{amax}=0.3$ 、角部磁極材厚さ T_{pe} ／側壁厚さ $W_{sw}=1.0$ は、図7の点 β で示され、コギングトルク60次成分が略ゼロであることが分かる。

[0053] 一方、実施例1に対応する点 α と比較し、角部磁極材厚さ T_{pe} が減少しているため、角部磁極材厚さ T_{pe} の変化に対するコギングトルクの変化は増加する傾向にある。磁場解析の結果によれば、角部磁極材厚さ T_{pe} の 0.1 mm の変化に対して、コギングトルクの変化は 3 mNm であった。

[0054] これは、実施例1の構成におけるコギングトルク変化 $0.4\text{ mNm}/0.1\text{ mm}$ に対して大きな値であり、本実施例の軟磁性磁極220は、コギングトルク低減に有効な構造であるが、製造誤差が 0.1 mm を下回るような製造精度向上の努力が求められる。

実施例 3

[0055] 次に、図5を用いて、実施例3の永久磁石式回転電機1を説明する。なお、実施例1、2と共通の部分は説明を一部省略する。

[0056] 実施例1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ったが、実施例3の永久磁石式回転電機1は、10極12スロット集中巻の回転電機である。本実施例の固定子10は、例えば、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を形成し、このティース130に巻線を形成して、円環に組み、ハウジングに焼嵌めまたは圧入して一体化されることで形成される。

[0057] 本実施例の永久磁石式回転電機1の軟磁性磁極220は、突起長さ L_a ／最大突起長さ $L_{amax}=0.34$ 、角部磁極材厚さ T_{pe} ／側壁厚さ $W_{sw}=1.15$ のものである。本実施例の回転電機1の特性を磁場解析すると、コギングトルクが 1 mNm 、突起長さ L_a の 0.1 mm の変化に対するコギングトルクの変化が 0.3 mNm 、角部磁極材の厚さ T_{pe} の 0.1 mm の変化に対するコギングトルクの変化が 0.1 mNm であった。すなわち、本

実施例の構成によれば、コギングトルクを十分に小さくできることに加え、実施例 1 で説明した 10 極 60 スロットの構成よりも寸法誤差に対するコギングトルク変動が小さいという特性を得ることができる。ただし、電磁加振力の空間モードの最小次数が 2 であるため、用途によってはモータを組み込むシステムにおいて振動低減のための機構を設ける必要が生じる。

比較例

[0058] 次に、図 6 を用いて、10 極 60 スロット分布巻の永久磁石式回転電機の比較例を、実施例 1 と比較しながら説明する。実施例 1 では軟磁性磁極 220 の両端に突起 222 を設けたが、図 6 の比較例では突起 222 を設けておらず、軟磁性磁極 220 の側面と磁極円弧 221 の交点 226 が実施例 1 の突起端部 225、すなわち、磁極円弧 221 と固定子 10 の距離が最も大きい部分に相当する。また、実施例 1 では、角部磁極材厚さ T_{pe} を側壁厚さ W_{sw} より大きくしたが、比較例では、コギングトルクを小さくするために角部磁極材厚さ T_{pe} を側壁厚さ W_{sw} より小さくした。

[0059] 図 8 に示す実施例 1 と比較例のコギングトルクの比較から、両構成の効果の相違を説明する。図 8 に示す各構成のコギングトルクは、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 の電磁応力を有限要素法による磁界解析で計算し、回転角に対応するコギングトルクを算出することにより得たものである。ここに示すように、実施例 1 では、コギングトルクの 60 次成分は 0.6 mNm、コギングトルクの変化／突起長さ L_a の変化は 0.4 mNm／0.1 mm、コギングトルクの変化／角部磁極材厚さ T_{pe} の変化は 0.5 mNm／0.1 mm であり、どれも十分に小さく、本発明の目的を達成できることが分かる。

[0060] これに対し、比較例では、コギングトルクの 60 次成分は 0.3 mNm と小さいが、コギングトルクの変化／角部磁極材厚さ T_{pe} の変化は 5 mNm／0.1 mm と大きかったため、非常に高い製造精度が求められ、本発明の目的の一つである製造誤差に対する尤度の確保という目的を達成することが困難である。

[0061] ここで、比較例では突起222がないため、磁極幅 W_p を0.2mm増加させることは、磁石取付孔の幅を変えない場合は各々の側壁厚さ W_{sw} を0.1mm増加させることになる。このとき、角部磁極材厚さ T_{pe} は変わらない。この構成で磁極幅 W_p を増加させた場合のコギングトルク変化は4.5mNm/0.1mmとなった。また、側壁厚さ W_{sw} を変えないで磁極幅 W_p を0.2mm増加させることは、磁石取付孔の幅も0.2mm増加させ、磁石と側壁の空隙が増加することになる。このとき、角部磁極材厚さ T_{pe} はやや減少する。この構成で磁極幅 W_p と磁石取付孔の幅をともに増加させた場合のコギングトルク変化は0.5mNm/0.1mmとなった。すなわち、打ち抜きによる量産製造において磁極幅 W_p と磁石取付孔幅の変動が同じにはなりにくいため、比較例の構成を採用した場合には、磁極幅の変化がコギングトルクの変化に与える影響は小さくはなく、コギングトルクを所望の範囲に抑制するには、高い製造精度が要求されることが分かる。

[0062] 以上の比較検討からも、実施例1の構成は、コギングトルク、コギングトルクの変化/突起長さ L_a の変化、コギングトルクの変化/角部磁極材厚さ T_{pe} の変化、の何れの面でも優れており、コギングトルク低減と製造精度向上努力の軽減に関して効果のあることが示された。

符号の説明

- [0063] 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
 - 31 軟磁性磁極中央と固定子内周のエアギャップ
 - 32 軟磁性磁極の外周側の表面の端部と固定子内周のエアギャップ
 - 33 突起と突起の間隔
 - 100 固定子コア
 - 110 コアバック
 - 130 ティース

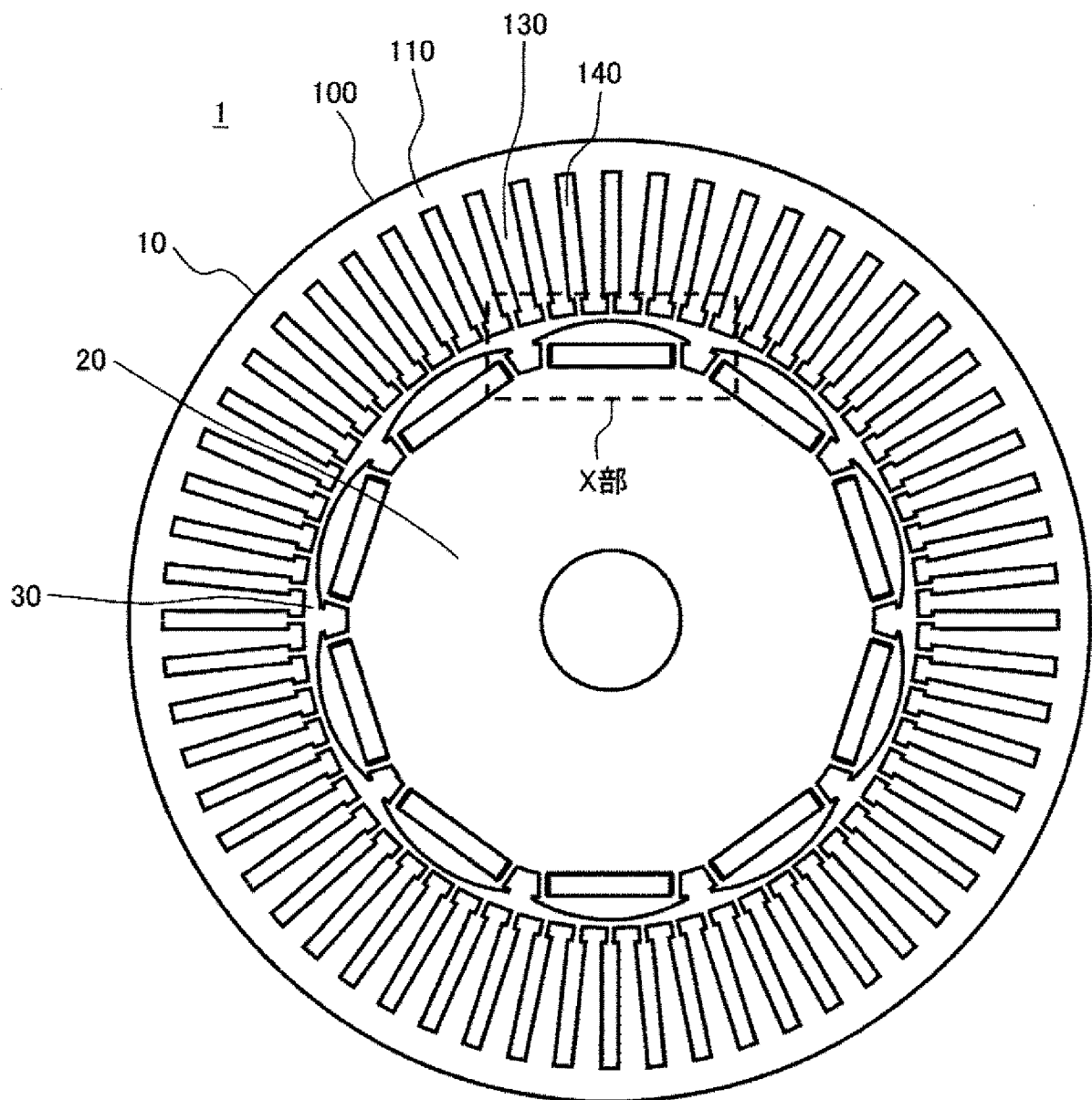
- 1 4 0 巻線部
- 2 0 0 回転子コア
- 2 1 0 永久磁石
- 2 1 1 磁石外周面
- 2 1 2 磁石取付孔
- 2 2 0 軟磁性磁極
- 2 2 1 磁極円弧
- 2 2 2 突起
- 2 2 3 磁石取付孔の側壁
- 2 2 4 磁石取付孔の角部磁極材
- 2 2 5 突起端部
- 2 2 6 円弧状磁極外周面と磁極幅における突出方向との回転面内の交点
- 3 0 0 シャフト
- L a 突起長さ
- L p 隣接する突起間の距離
- T p e 角部磁極材厚さ
- W s w 側壁厚さ
- W p 磁極幅

請求の範囲

- [請求項1] 内周側の回転子と、外周側の固定子と、からなる回転電機であって、
- 前記回転子は、電磁鋼板を積層した回転子コアと、該回転子コアの磁石取付孔に挿入した永久磁石と、回転軸となるシャフトと、からなり、
- 前記回転子コアの外周側には、両端に突起を有した磁極が複数形成されており、
- 各磁極の外周面となる磁極円弧は、全体が前記永久磁石より外周側にあり、
- ある磁極の突起と隣接する磁極の突起の距離 L_p が、前記突起と前記固定子の距離 L_e よりも大きいことを特徴とする回転電機。
- [請求項2] 請求項1に記載の回転電機において、
- 前記磁石取付孔の角部磁極材厚さ T_{pe} が、前記磁石取付孔の側壁厚さ W_{sw} より大きいことを特徴とする回転電機。
- [請求項3] 請求項1または請求項2に記載の回転電機において、
- 各磁極の磁極円弧は、前記突起と前記固定子の距離 L_e が、前記磁極円弧の磁極中央と前記固定子の距離 L_g の2.5倍以内となる円弧形状であることを特徴とする回転電機。
- [請求項4] 請求項1から請求項3の何れか一項に記載の回転電機において、
- 該回転電機は、10極60スロット分布巻、または、10極12スロット集中巻の構成であることを特徴とする回転電機。
- [請求項5] 請求項1から請求項4の何れか一項に記載の回転電機を、
- 電動パワーステアリングまたは、電動ブレーキに用いたことを特徴とする自動車用電動補機システム。

[図1]

図 1



[図2]

図 2

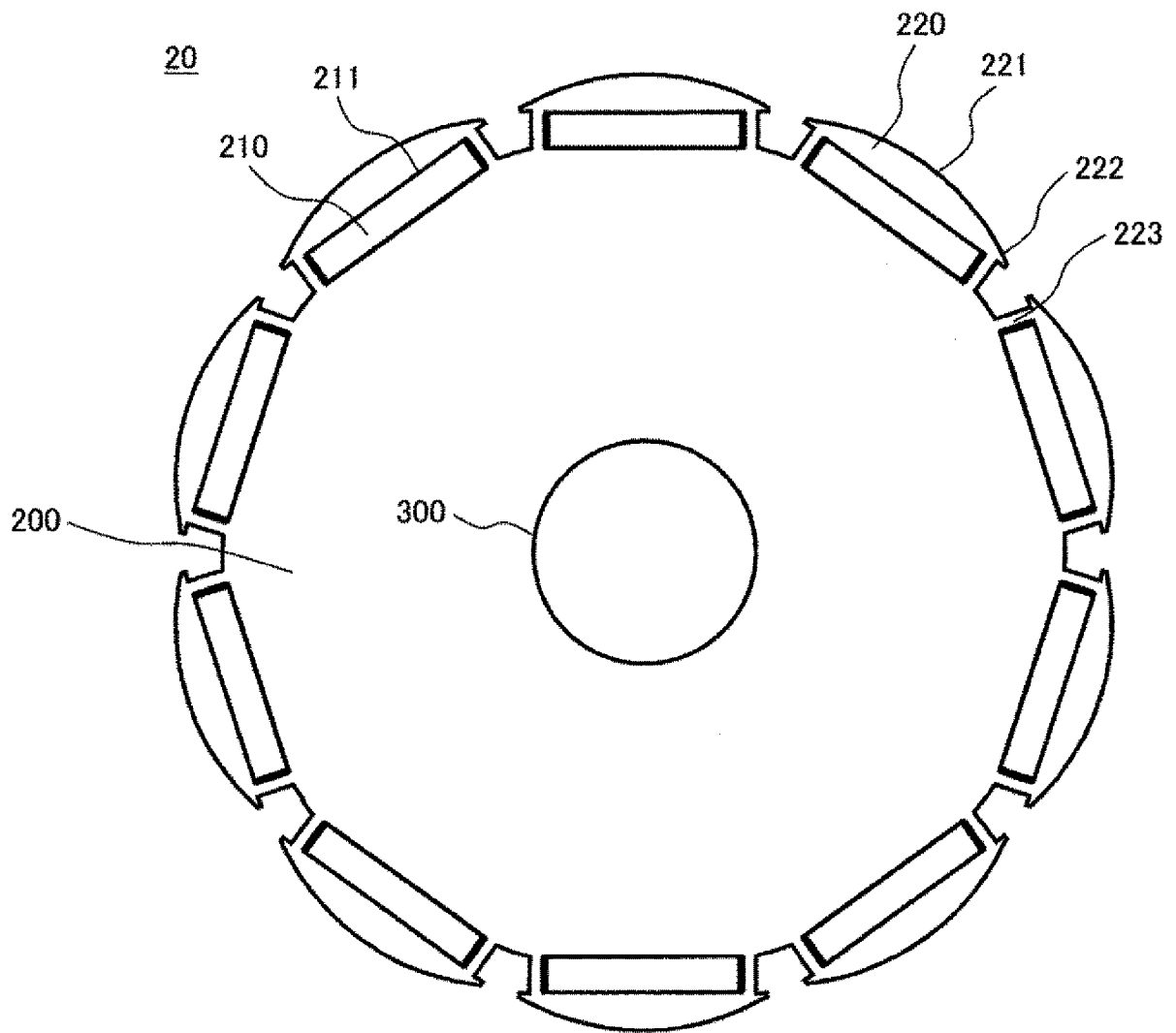


図 3A

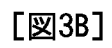
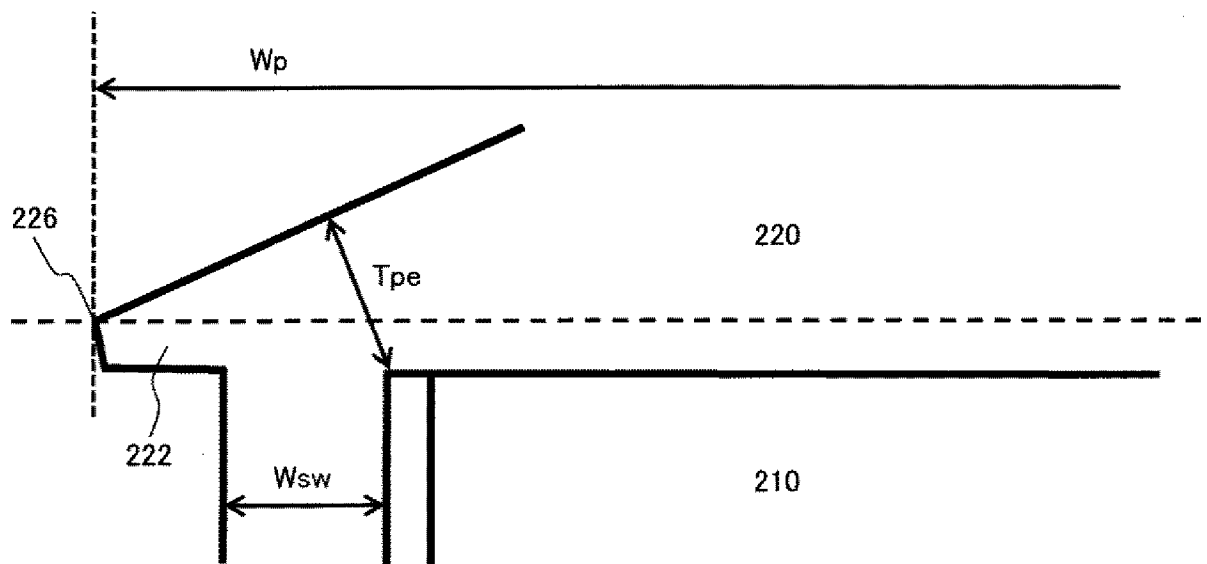
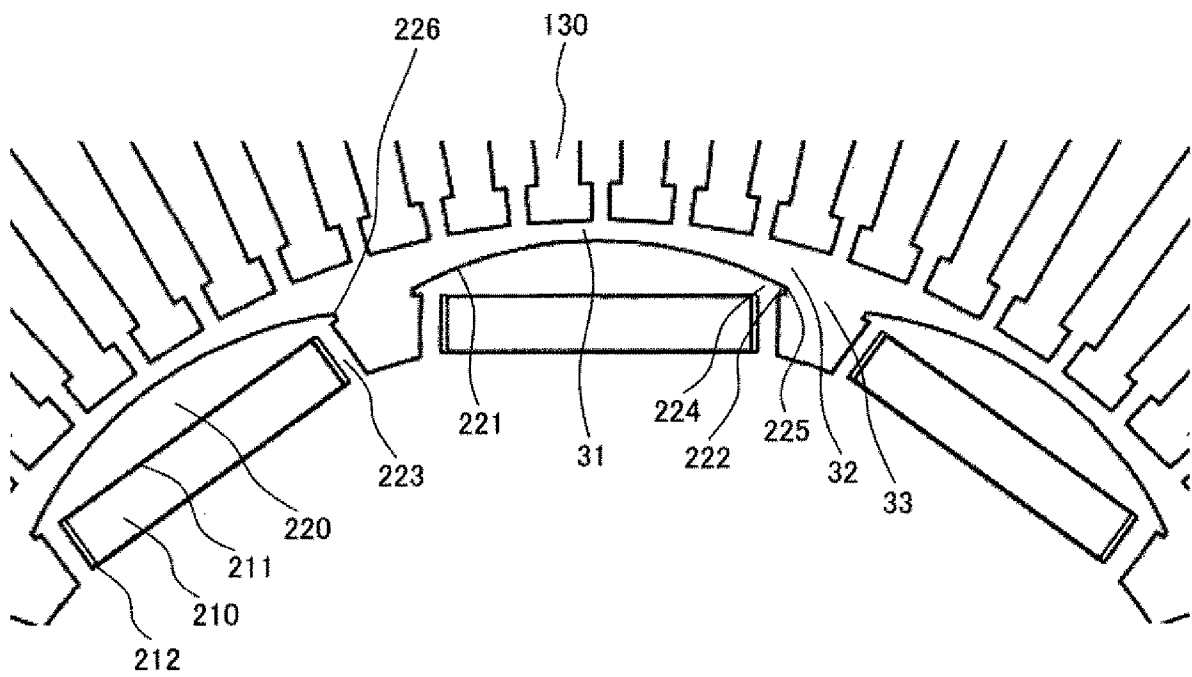


图 3B



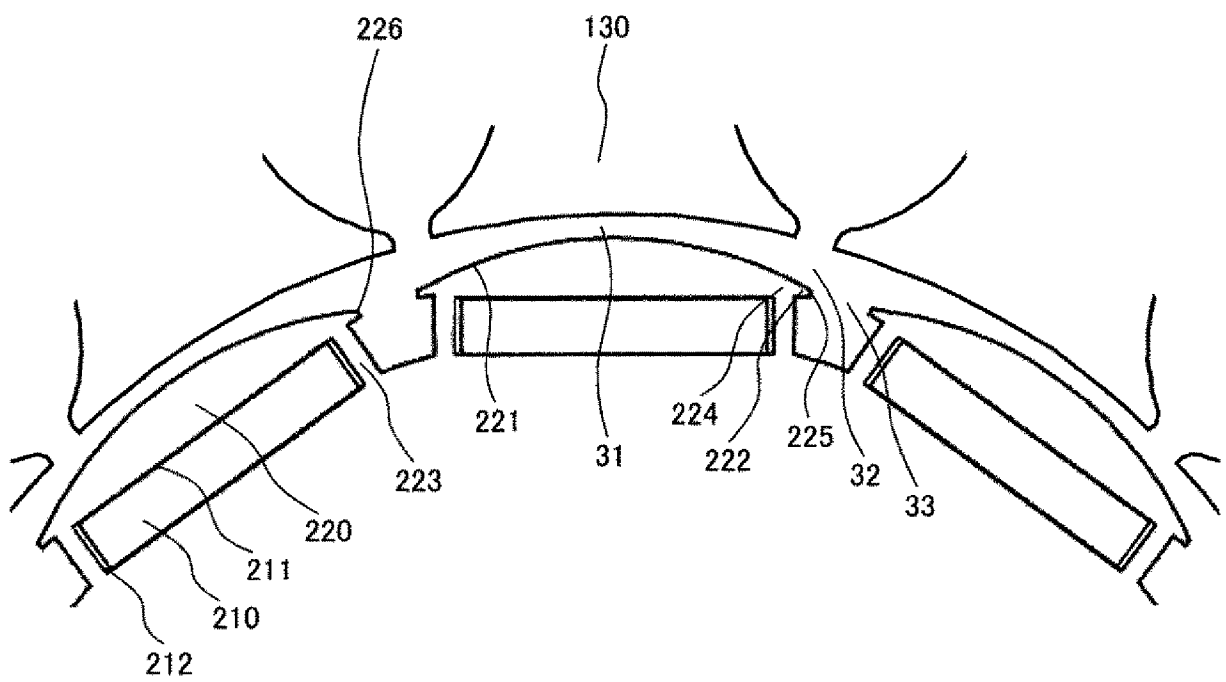
[図4]

図 4



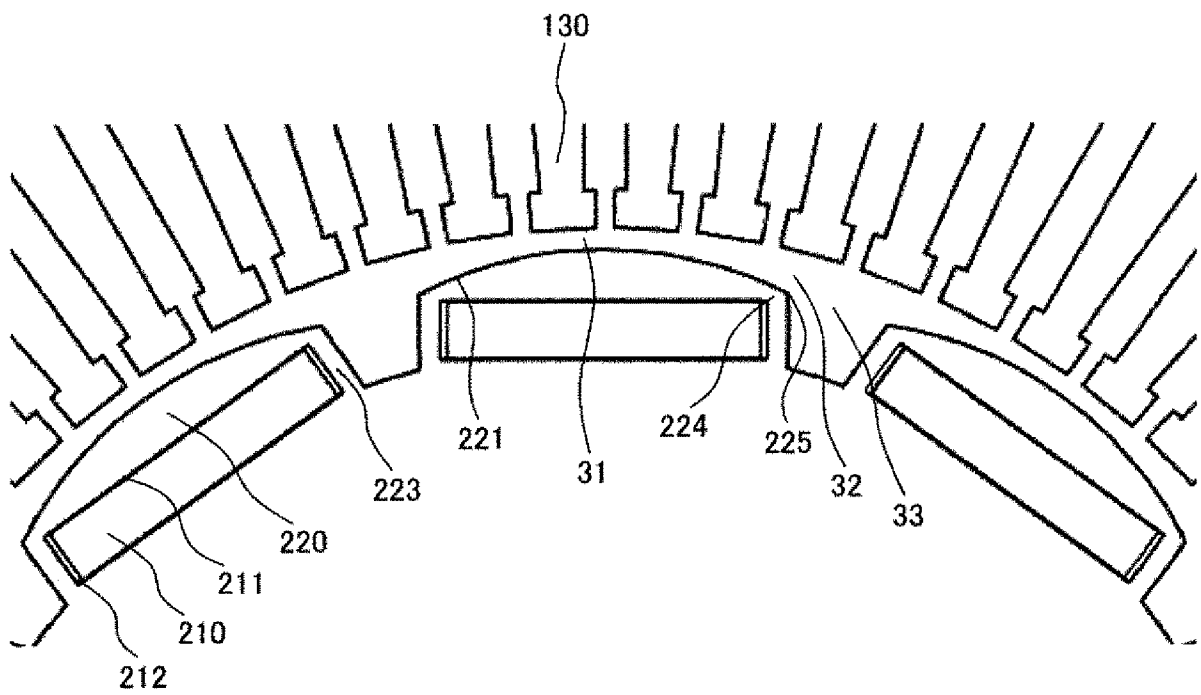
[図5]

図 5



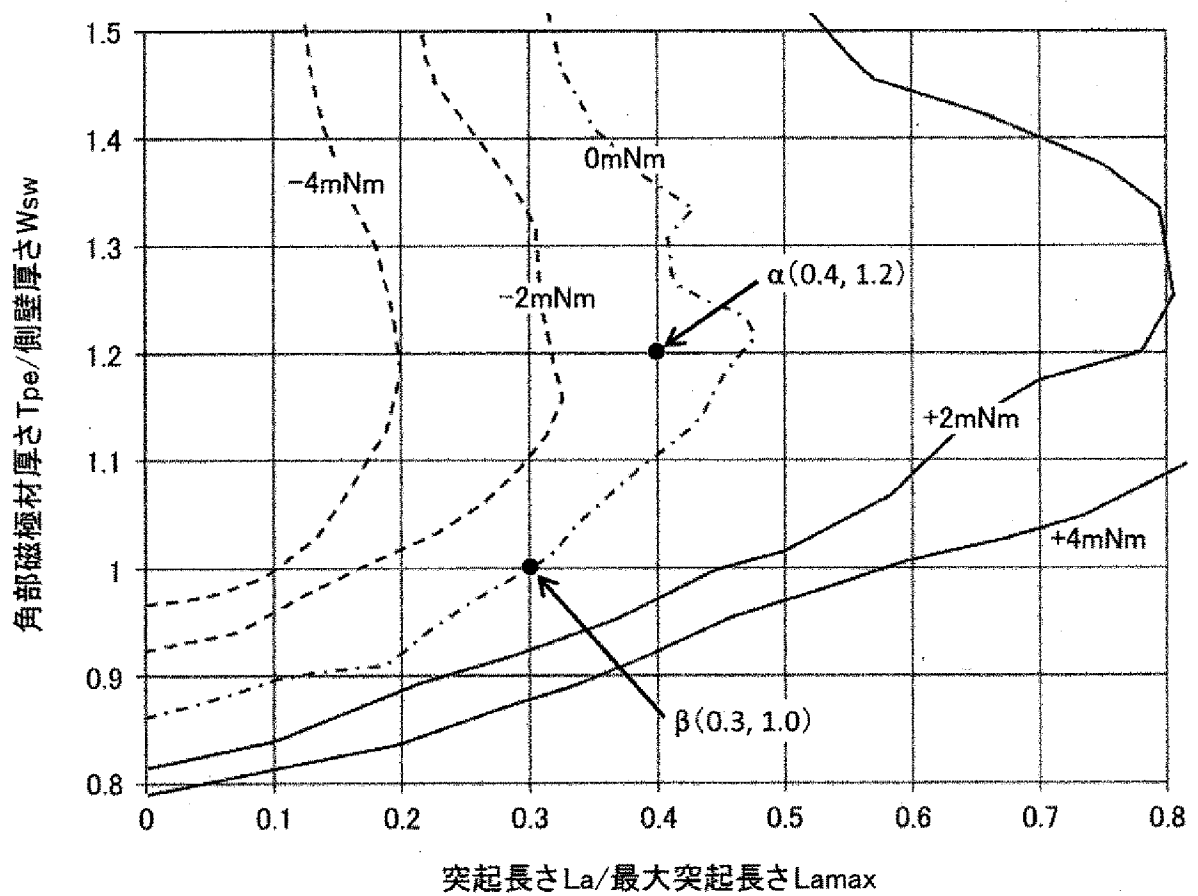
[図6]

図 6



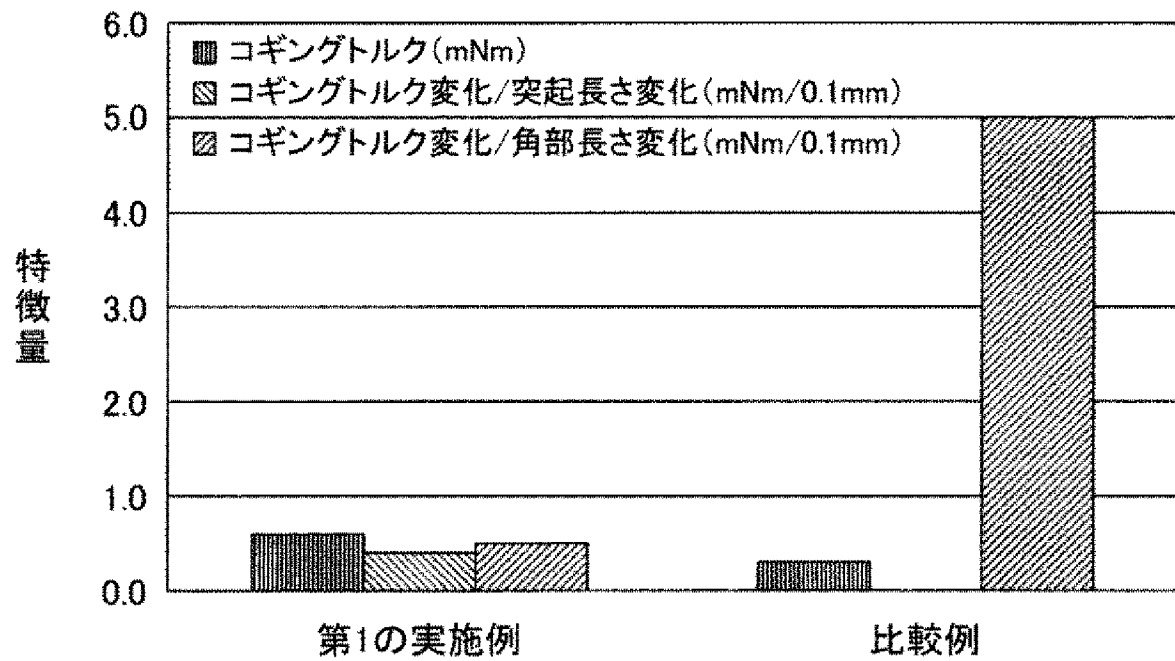
[図7]

図 7



[図8]

図 8



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/043935

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H02K1/27 (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. H02K1/27, 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.
X	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 64721/1983 (Laid-open No. 169560/1984) (NIPPON ELECTRIC IND) 13 November 1984, specification, page 1, line 5 to page 4, line 17, fig. 1-4 (Family: none)	1-5

☐ 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 06 March 2018	Date of mailing of the international search report 13 March 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.

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, 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. H02K1/27, 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
X	日本国実用新案登録出願 58-64721 号(日本国実用新案登録出願公開 59-169560 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（日本電気精器株式会社）1984.11.13, 明細書第1頁第5行-第4頁17第行, 第1-4図（ファミリーなし）	1-5

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

06.03.2018

国際調査報告の発送日

13.03.2018

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）

三島木 英宏

3V

3018

電話番号 03-3581-1101 内線 3357