(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
2025年6月19日(19.06.2025)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2025/126554 A1

(51) 国際特許分類:
H02K 1/276 (2022.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2024/027651

(22) 国際出願日： 2024年8月2日(02.08.2024)

(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 2023-208237 2023年12月11日(11.12.2023) JP

(71) 出願人：三菱電機株式会社(**MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION**) [JP/JP]；〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目７番３号 (JP).

(72) 発明者：上村 和己 (**KAMIMURA Kazuki**)；〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目７番３号 三菱電機株式会社内 (JP). 竜野 友輔(**TATSUNO Yusuke**)；〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目７番３号 三菱電機株式会社内 (JP). 深山 義浩(**MIYAMA Yoshihiro**)；〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目７番３号 三菱電機株式会社内 (JP). 岡崎 広大(**OKAZAKI Kodai**)；〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目７番３号 三菱電機株式会社内 (JP). 有田 秀哲(**ARITA Hideaki**)；〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目７番３号 三菱電機株式会社内 (JP).

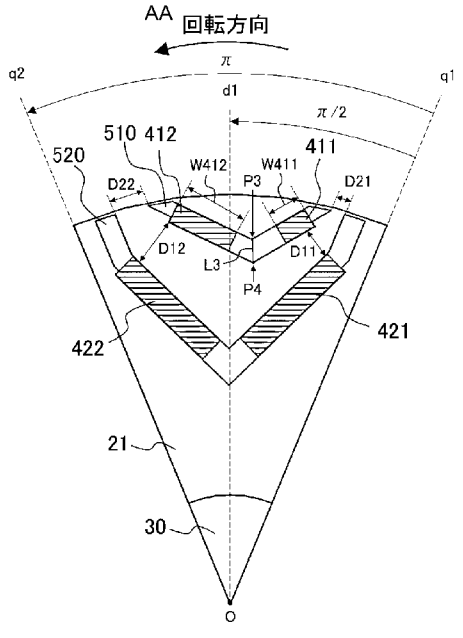
(74) 代理人：弁理士法人ぱるも特許事務所(**PALMO PATENT FIRM, P.C.**)；〒6610033 兵庫県尼崎市南武庫之荘３丁目３５番８号 (JP).

(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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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,

(54) **Title:** ROTATING ELECTRICAL MACHINE

(54) 発明の名称： 回転電機

図3



AA Rotating direction

(57) **Abstract:** Magnet slots (510, 520) have a structure in which V-shaped slots are disposed in multiple layers in a radial direction. Magnets (411, 421) on the anti-rotation side and magnets (412, 422) on the rotation side are respectively inserted into the magnet slots to constitute one pole, and the length W411 of a first-layer magnet on the anti-rotation side is shorter than the length W412 of the first-layer magnet on the rotation side. A line segment L3 connecting an intersection point P3 of extension lines of the long sides on the outer diameter side of the two first layer magnets and an intersection point P4 of the extension lines of the long sides on the inner diameter side is positioned closer to the anti-rotation side than d1. The shortest distance D12 between the two magnets on the rotation side is greater than the shortest distance D11 between the two magnets on the anti-rotation side, and a gap between the first layer magnet and a second layer magnet on the rotation side increases toward the inner diameter side.

WO 2025/126554 A1

［続葉有］

SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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)）

(57) 要約：磁石スロット（５１０、５２０）は、Ｖ字形状のスロットが径方向に多層に配置された構造を有し、磁石スロットにはそれぞれ反回転側の磁石（４１１、４２１）と回転側の磁石（４１２、４２２）とが挿入されて１極が構成されており、反回転側の１層目磁石の長さＷ４１１は、回転側の１層目磁石の長さＷ４１２よりも短く、２つの１層目磁石の外径側の長辺の延長線の交点Ｐ３と内径側の長辺の延長線の交点Ｐ４とを結んだ線分Ｌ３はｄ１よりも反回転側に位置し、回転側の２つの磁石間の最短距離Ｄ１２は、反回転側の２つの磁石間の最短距離Ｄ１１よりも大きく、回転側の１層目磁石と２層目磁石との間隔が内径側に行くにしたがって大きくなっている。

明　細　書

発明の名称 ： 回転電機

技術分野

[0001]　本開示は、回転電機に関する。

背景技術

[0002]　産業機器用途の回転電機、電気自動車用途の回転電機には、小型で高出力化に優位な永久磁石式回転電機が用いられている。永久磁石式回転電機の中でも、回転子コアの内部に永久磁石が埋め込まれた永久磁石式同期回転電機が多用されている。この回転電機においては、回転子コアの内部に外径側に向かってＶ字形に開く２層以上のスロットを有し、そのスロットに永久磁石が埋め込まれた回転子が採用されている。このように構成された回転電機においては、マグネットトルクに加えてリラクタンストルクも積極的に利用できる。

[0003]　永久磁石が多層に埋め込まれた回転子を有する回転電機として、マグネットトルクとリラクタンストルクとを効率よく利用するために、回転側に位置する永久磁石の端部の層間の間隔を他の部分の永久磁石の層間の間隔よりも大きくした回転電機が提案されている（例えば、特許文献１参照）。また、別の回転電機として、マグネットトルクとリラクタンストルクとの合成トルクのピーク値を向上させるために、回転側に位置する永久磁石の形状と反回転側に位置する永久磁石の形状とを非対称にすると共に、反回転側の回転子コアの外周面に切り欠きを設けた回転電機が提案されている（例えば、特許文献２参照）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開平８－３３６２４６号公報

特許文献2：国際公開第２０２０／１９４３９０号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、回転側に位置する永久磁石の端部の層間の間隔を他の部分の永久磁石の層間の間隔よりも大きくした従来の回転電機においては、反回転側に位置する２層目の永久磁石の磁束の一部が中央部を経由して回転側に位置する１層目の永久磁石へ流れ込むため、磁極の中央部が磁気飽和し易くトルクが低下するという問題があった。また、回転側に位置する永久磁石の形状と反回転側に位置する永久磁石の形状とを非対称にすると共に、反回転側の回転子コアの外周面に切り欠きを設けた従来の回転電機においては、永久磁石を多層に埋め込んだ場合、反回転側に位置する永久磁石の層間の間隔が回転側に位置する永久磁石の層間の間隔よりも大きくなるので、永久磁石の起磁力による磁束と電機子起磁力による磁束との相互作用によるピークトルクが低いという問題があった。

[0006] 本開示は、上述の課題を解決するためになされたもので、磁極の中央部における磁気飽和によるトルク低下を抑制し、ピークトルクを向上させることができる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

[0007] 本開示の回転電機は、固定子コアおよび固定子コイルを有する固定子と、固定子の内径側にギャップを介して配置された回転子とを有し、交流電流で回転軸を中心に回転子が回転駆動される回転電機であって、回転子は、回転子コアと、回転子コアに設けられた磁石スロットに挿入された複数の磁石とを有し、回転軸と直交する断面において、磁石スロットは、外径側に向かって間隔が大きくなるＶ字形状のスロットが径方向に多層に配置された構造を有し、多層に配置された磁石スロットにはそれぞれ反回転側の磁石と回転側の磁石とが挿入されて１極が構成されており、１層目の磁石スロットに挿入された反回転側の磁石の磁石スロットに沿った長さは、回転側の磁石の磁石スロットに沿った長さよりも短く、１層目の磁石スロットに挿入された反回転側の磁石の磁石スロットに沿った外径側の辺を延長させた直線と回転側の磁石の磁石スロットに沿った外径側の辺を延長させた直線との交点と、反回

転側の磁石の磁石スロットに沿った内径側の辺を延長させた直線と回転側の磁石の磁石スロットに沿った内径側の辺を延長させた直線との交点とを結んだ線分は、１極の寸法中心線よりも反回転側に位置し、１層目の磁石スロットに挿入された回転側の磁石と２層目の磁石スロットに挿入された回転側の磁石との最短距離は、１層目の磁石スロットに挿入された反回転側の磁石と２層目の磁石スロットに挿入された反回転側の磁石との最短距離よりも大きく、１層目の磁石スロットに挿入された回転側の磁石と２層目の磁石スロットに挿入された回転側の磁石との間隔は、内径側に行くにしたがって大きくなっている。

発明の効果

[0008] 本開示の回転電機は、１層目の磁石スロットに挿入された反回転側の磁石の磁石スロットに沿った長さは、回転側の磁石の磁石スロットに沿った長さよりも短く、１層目の磁石スロットに挿入された反回転側の磁石の磁石スロットに沿った外径側の辺を延長させた直線と回転側の磁石の磁石スロットに沿った外径側の辺を延長させた直線との交点と、反回転側の磁石の磁石スロットに沿った内径側の辺を延長させた直線と回転側の磁石の磁石スロットに沿った内径側の辺を延長させた直線との交点とを結んだ線分は、１極の寸法中心線よりも反回転側に位置し、１層目の磁石スロットに挿入された回転側の磁石と２層目の磁石スロットに挿入された回転側の磁石との最短距離は、１層目の磁石スロットに挿入された反回転側の磁石と２層目の磁石スロットに挿入された反回転側の磁石との最短距離よりも大きく、１層目の磁石スロットに挿入された回転側の磁石と２層目の磁石スロットに挿入された回転側の磁石との間隔は、内径側に行くにしたがって大きく設定されているので、磁極の中央部における磁気飽和によるトルク低下を抑制し、ピークトルクを向上させることができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]実施の形態１に係る回転電機の断面図である。

[図2]実施の形態１に係る回転電機における回転子の断面図である。

[図3]実施の形態１に係る回転電機における回転子の拡大断面図である。

[図4]実施の形態１に係る回転電機における磁束ベクトルを示す図である。

[図5]実施の形態１に係る回転電機における無負荷相電圧波形を示す図である。

[図6]実施の形態１に係る回転電機における磁束ベクトルを示す図である。

[図7]実施の形態１に係る回転電機における磁束ベクトルを示す図である。

[図8]実施の形態１に係る回転電機における合成トルクの特性を示す図である。

[図9]実施の形態２に係る回転電機における回転子の拡大断面図である。

[図10]実施の形態３に係る回転電機における回転子の拡大断面図である。

[図11]実施の形態３に係る回転電機における磁束ベクトルを示す図である。

[図12]実施の形態３に係る回転電機における磁束ベクトルを示す図である。

[図13]実施の形態３に係る回転電機における磁束ベクトルを示す図である。

[図14]実施の形態４に係る回転電機における回転子の拡大断面図である。

[図15]実施の形態５に係る回転電機における回転子の拡大断面図である。

[図16]実施の形態６に係る回転電機における回転子の拡大断面図である。

[図17]実施の形態７に係る回転電機における回転子の拡大断面図である。

[図18]実施の形態８に係る回転電機における回転子の拡大断面図である。

[図19]実施の形態９に係る回転電機における回転子の拡大断面図である。

[図20]実施の形態１０に係る回転電機における回転子の拡大断面図である。

[図21]実施の形態１１に係る回転電機における回転子の拡大断面図である。

[図22]実施の形態１２に係る回転電機における回転子の拡大断面図である。

[図23]実施の形態１３に係る回転電機における回転子の拡大断面図である。

[図24]実施の形態１４に係る回転電機における回転子の拡大断面図である。

[図25]実施の形態１５に係る回転電機における回転子の拡大断面図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、本開示を実施するための実施の形態に係る回転電機について、図面を参照して詳細に説明する。なお、各図において同一符号は同一もしくは相

当部分を示している。

[0011] 実施の形態１．

図１は、実施の形態１に係る回転電機の断面図である。図１は、後述する回転軸と直交する方向の断面図である。図１に示すように、本実施の形態に係る回転電機１は、円環形状の固定子１０と、固定子１０の内径側にギャップを介して配置された円環形状の回転子２０とで構成されている。回転子２０の中心部には、円柱形状の回転軸３０が固定されている。固定子１０と回転子２０とは、回転軸３０を共通の軸として同軸状に配置されている。回転軸３０の軸方向の両端にはベアリングが配置されており、固定子１０に対して回転子２０が回転自在に保持されている。図１に示すように、本開示の明細書に係る回転電機は、反時計回りに回転するものとして説明する。そして、反時計回りの方向を回転側、時計回りの方向を反回転側と称する。つまり、本開示の明細書に係る回転電機は、回転軸を中心に主に反時計回りに回転駆動されるが、用途に応じて時計回り回転駆動されるときもある。

[0012] また、回転軸３０と平行な方向を軸方向、回転軸３０と直交する方向を径方向、回転軸３０の周りに回転する方向を周方向と称する。さらに、内径側とは径方向において回転軸３０へ近づく方向であり、外径側とは径方向において回転軸３０から遠ざかる方向である。

[0013] 固定子１０は、円環形状のバックコア１１と、バックコア１１から内径側に延伸されたティース１２と、隣り合うティース１２とバックコア１１とによって囲まれたスロットに配置された固定子コイル１３とで構成されている。バックコア１１とティース１２とは一体で固定子コアを構成している。本実施の形態の回転電機１においては、４８個のティース１２が周方向に均等に配置されており、ティース１２の間に形成された４８個のスロットにはそれぞれ固定子コイル１３が配置されている。

[0014] 図２は、本実施の形態に係る回転電機における回転子の断面図である。図２は、回転軸３０と直交する方向の断面図である。本実施の形態の回転子２０は、円環形状の回転子コア２１と磁石とで構成されている。回転子コア２

１の中心部には回転軸３０が固定されている。

[0015] 回転子コア２１には、外径側に向かって間隔が大きくなるＶ字形状に形成された１層目の磁石スロット５１０と、１層目の磁石スロット５１０よりも内径側に形成された２層目の磁石スロット５２０とが設けられている。２層目の磁石スロット５２０も１層目の磁石スロット５１０と同様にＶ字形状に形成されている。１層目の磁石スロット５１０の反回転側のスロットには１層目磁石４１１が挿入されており、回転側のスロットには１層目磁石４１２が挿入されている。また、２層目の磁石スロット５２０の反回転側のスロットには２層目磁石４２１が挿入されており、回転側のスロットには２層目磁石４２２が挿入されている。これ以降、磁石スロットに沿った方向を磁石の長辺と称し、長辺の方向と直交する方向を磁石の短辺と称する。１層目磁石４１１、４１２および２層目磁石４２１、４２２は平板形状の永久磁石であり、短辺に平行に配向されて全て同じ方向に着磁されている。これら４個の永久磁石で１つの極を形成しており、この１つの極が周方向に等間隔に８個配置されている。図２に示すように、隣り合う極の着磁方向は、径方向に互いに逆になるように設定されている。

[0016] 回転子２０の回転中心を点Ｏとする。１極の内径側でかつ反回転側で隣り合う極との距離が最短となる点を点Ｐ１とし、１極の内径側でかつ回転側で隣り合う極との距離が最短となる点を点Ｐ２とする。図２に示す回転子２０においては、２層目磁石４２１と４２２との間隔が最小となる点がそれぞれ点Ｐ１、点Ｐ２となる。そして、点Ｐ１と点Ｏとを結ぶ線分を線分Ｌ１とし、点Ｐ２と点Ｏとを結ぶ線分を線分Ｌ２とする。さらに、線分Ｌ１と線分Ｌ２との二等分線を直線ｑ１とする。点Ｏを中心に直線ｑ１から回転側に電気角でπの角度をもつ直線を直線ｑ２とする。回転子２０の１極は、直線ｑ１と直線ｑ２とに囲まれた部分となる。また、点Ｏを中心に直線ｑ１から回転側に電気角でπ／２の角度をもつ直線を直線ｄ１とする。直線ｄ１は、回転子２０の１極の寸法中心線となる。

[0017] 図３は、本実施の形態に係る回転電機における回転子の拡大断面図である

。図３は、回転子２０の１つの極を拡大した断面図である。反回転側の１層目磁石４１１の磁石スロット５１０に沿った長さをＷ４１１とし、回転側の１層目磁石４１２の磁石スロット５１０に沿った長さをＷ４１２とする。本実施の形態の回転電機においては、Ｗ４１１はＷ４１２よりも短い。

[0018] 反回転側の１層目磁石４１１の外径側の長辺を延長させた直線と、回転側の１層目磁石４１２の外径側の長辺を延長させた直線とが交わる点を点Ｐ３とし、反回転側の１層目磁石４１１の内径側の長辺を延長させた直線と、回転側の１層目磁石４１２の内径側の長辺を延長させた直線とが交わる点を点Ｐ４とする。そして、点Ｐ３と点Ｐ４とを結ぶ線分を線分Ｌ３とする。本実施の形態の回転電機においては、線分Ｌ３は直線ｄ１よりも反回転側に位置する。

[0019] 反回転側の１層目磁石４１１と反回転側の２層目磁石４２１との最短距離をＤ１１とし、回転側の１層目磁石４１２と回転側の２層目磁石４２２との最短距離をＤ１２とする。また、１層目の磁石スロット５１０と２層目の磁石スロット５２０との反回転側における周方向の最短距離をＤ２１とし、１層目の磁石スロット５１０と２層目の磁石スロット５２０との回転側における周方向の最短距離をＤ２２とする。本実施の形態の回転電機においては、Ｄ１２がＤ１１よりも大きいこと、およびＤ２２がＤ２１よりも大きいことの少なくとも一方の条件が満足されている。これらの２つの条件の少なくとも一方の条件が満足されていることは、回転側の１層目磁石４１１と回転側の２層目磁石４２２との間隔が反回転側の１層目磁石４１１と反回転側の２層目磁石４２１との間隔よりも大きいことが満足されている。なお、本実施の形態において、これ以降の説明ではＤ１２がＤ１１よりも大きいことが満足されているとして説明する。

[0020] また、反回転側の１層目磁石４１１と２層目磁石４２１との間隔は内径側に行くにしたがって大きくなっており、回転側の１層目磁石４１１と２層目磁石４２２との間隔も内径側に行くにしたがって大きくなっている。すなわち、Ｖ字形状に形成された１層目の磁石スロット５１０のなす角が、Ｖ字形

状に形成された２層目の磁石スロット５２０のなす角よりも大きくなっている。

[0021] このように構成された回転電機においては、磁石起磁力と電機子起磁力とが弱め合う領域である反回転側の磁路が狭くなり、磁石起磁力と電機子起磁力とが強め合う領域である回転側の磁路が広くなると共に、内径側に行くにしたがってそれらの磁路が広くなっている。そのため、この回転電機は、磁極の中央部における磁気飽和によるトルク低下を抑制し、ピークトルクを向上させることができる。以下にその理由を説明する。

[0022] 図４は、本実施の形態に係る回転電機における磁束ベクトルを示す図である。図４は、有限要素法を用いて解析した無負荷条件における磁束ベクトルを示している。反回転側の１層目磁石４１１から外径側に発生した磁束は、１層目磁石４１１とギャップとの間の領域Ａ１では方向を変えずにティース１２へ流れ込んでいる。回転側の１層目磁石４１２から外径側に発生した磁束も、１層目磁石４１２とギャップとの間の領域Ａ２では方向を変えずにティース１２へ流れ込んでいる。

[0023] 反回転側の２層目磁石４２１から外径側に発生した磁束は、一部は１層目磁石４１１と２層目磁石４２１とに挟まれた領域Ｂ１へ流れるが、他の一部は回転側の１層目磁石４１２と２層目磁石４２２とに挟まれた直線ｄ１を跨ぐ領域Ｂ３に流れる。その理由は、反回転側の１層目磁石４１１の長辺の長さＷ４１１が回転側の１層目磁石４１２の長辺の長さＷ４１２よりも短いこと、およびＤ１２がＤ１１よりも大きいことに起因する。領域Ｂ１ではパーミアンスの低い１層目磁石４１１と２層目磁石４２１とに挟まれた回転子コア２１の磁路が狭いため、磁束は１層目磁石４１１の長辺に沿う方向に流れる。さらに磁束は、そこから１層目磁石４１１および対向するティース１２へ流れ込む。反回転側の２層目磁石４２１には、反回転側の隣の極を構成する回転子コア２１から２層目磁石４２１の内径側の領域Ｄ１を経由して直線ｑ１の方向から磁束が流れ込んでいる。一方、回転子コア２１の表面近傍の直線ｑ１に近い領域Ｃ１を通る磁束ベクトルは小さい。

[0024] 回転側の２層目磁石４２２から外径側に発生した磁束は、一部が１層目磁石４１２と２層目磁石４２２とに挟まれた領域Ｂ２へ流れ込み、他の一部は領域Ｂ３へ流れ込む。領域Ｂ２ではパーミアンスの低い１層目磁石４１２と２層目磁石４２２とに挟まれた回転子コア２１の磁路が広いため、磁束は円弧を描く形で方向を変え、１層目磁石４１２および対向するティース１２へ流れ込む。回転側の２層目磁石４２２には、回転側の隣の極を構成する回転子コア２１から２層目磁石４２２の内径側の領域Ｄ２を経由して直線ｑ２の方向から磁束が流れ込んでいる。一方、回転子コア２１の表面近傍の直線ｑ２に近い領域Ｃ２を通る磁束ベクトルは小さい。領域Ｂ３には２層目磁石４２１、４２２の両方で発生した磁束が流れ込み、領域Ｂ３を通過した磁束は回転側の１層目磁石４１２および領域Ｂ２に流れ込んでいる。

[0025] 図５は、本実施の形態に係る回転電機における無負荷相電圧波形を示す図である。図５は、有限要素法を用いて解析した無負荷相電圧波形を示している。図５において、横軸は電気角で示した回転子の位置であり、縦軸は無負荷相電圧の相対値である。無負荷相電圧波形は、回転子の位置が電気角で１２０度および３００度付近の極中心に対して遅れ側の電圧が低い非対称な２つの山の波形となっている。これは、図４に示されたように、極中心に対して遅れ側では反回転側の１層目磁石４１１と２層目磁石４２１とに挟まれた回転子コア２１の領域Ｂ１が狭いため強い磁気飽和が発生するが、極中心に対して進み側では回転側の１層目磁石４１２と２層目磁石４２２とに挟まれた回転子コア２１の領域Ｂ２およびＢ３が広いため磁気飽和が発生しにくいことに起因する。

[0026] 図６は、本実施の形態に係る回転電機における磁束ベクトルを示す図である。図６は、回転子の磁石には起磁力を与えない条件のもとで固定子コイルに合成トルクが最大となる電流位相の電機子起磁力を与える条件を有限要素法によって解析したときの磁束ベクトルを示している。

[0027] 固定子コイル１３で発生した磁束は、ティース１２から対向する回転子コア２１の領域Ａ１、領域Ｂ１および領域Ｃ１へ流れ込む。領域Ａ１へ流れ込

んだ磁束は、領域Ａ２および領域Ｂ２を通り、ティース１２へ戻る。このとき、図６に示す領域Ａ１の磁束の方向は、図４に示す領域Ａ１の磁束の方向とは逆となり、互いに打ち消し合う方向である。図６に示す領域Ａ２の磁束の方向は、図４に示す領域Ａ２の磁束の方向と交差する方向である。

[0028] 領域Ｂ１へ流れ込んだ磁束は、領域Ｂ３および領域Ｂ２を通りティース１２へ戻る。このとき、図６に示す領域Ｂ１の磁束の方向は、図４に示す領域Ｂ１の磁束の方向とは逆となり、互いに打ち消し合う方向である。図６に示す領域Ｂ２および領域Ｂ３の磁束の方向は、図４に示す領域Ｂ２および領域Ｂ３の磁束の方向と同じ向きであり、互いに強め合う方向である。

[0029] 領域Ｃ１へ流れ込んだ磁束は、領域Ｄ１、領域Ｄ２および領域Ｃ２を通りティース１２へ戻る。図４に示す領域Ｃ１および領域Ｃ２の磁束ベクトルは小さかったが、図６に示す領域Ｃ１および領域Ｃ２の磁束ベクトルは互いに逆の向きの磁束ベクトルとなり、領域Ｃ１および領域Ｃ２は磁路として有効に利用されている。図６に示す領域Ｄ１および領域Ｄ２の磁束の方向は、図４に示す領域Ｄ１および領域Ｄ２の磁束の方向に交差する方向である。

[0030] 図７は、本実施の形態に係る回転電機における磁束ベクトルを示す図である。図７は、回転電機の合成トルクが最大となる条件を有限要素法によって解析したときの磁束ベクトルを示している。

[0031] 領域Ａ１および領域Ｂ１においては、上述の通り、磁石起磁力による磁束の方向と電機子起磁力による磁束の方向とが互いに逆になるため磁束量は少ない。一方、領域Ａ２、領域Ｂ２および領域Ｂ３においては、磁石起磁力による磁束の方向と電機子起磁力による磁束の方向とが同じになるため磁束量は多い。

[0032] 図８は、本実施の形態に係る回転電機における合成トルクの特性を示す図である。図８は、本実施の形態の回転電機において、電流値が一定の条件で電流位相角に対する合成トルクの変化を有限要素法によって解析した結果である。図８において、横軸は電流位相角であり、縦軸は合成トルクの相対値である。合成トルクは、マグネットトルクとリラクタンストルクとを合成し

たトルクである。図８において、実線は本実施の形態の回転電機の合成トルク、破線は比較例の回転電機の合成トルクである。ここで、比較例の回転電機とは、図３に示す回転電機の回転子において、１層目の磁石スロット５１０の形状および１層目磁石４１１、４２１の形状を直線ｄ１に対して対称にした回転子を有する回転電機である。

[0033] 図８に示すように、本実施の形態の回転電機の合成トルクがピークとなる電流位相角は比較例の回転電機の合成トルクがピークとなる電流位相角よりも小さくなる。また、本実施の形態の回転電機の合成トルクのピーク値は、比較例の回転電機の合成トルクのピーク値よりも大きくなる。

[0034] １層目の磁石スロットの形状および１層目磁石の形状を直線ｄ１に対して対称にした比較例の回転電機においては、マグネットトルクは電流位相角が０度のときに正のピーク値となる。しかし、電流位相角が０度のときは固定子と回転子との位置関係がｑ軸からの磁気抵抗が最小となる位置関係になるため、リラクタンストルクはゼロになる（ｄ軸電流はゼロ）。一方、電流位相角が９０度のときは固定子と回転子との位置関係がｄ軸からの磁気抵抗が最小となる位置関係になるため、リラクタンストルクはゼロになる（ｑ軸電流はゼロ）。ここで、回転子の磁石の配置を非対称として磁気抵抗が最大または最小となる電流位相角を比較例の回転電機において定義した電流位相角０度または９０度からずらすことができれば、リラクタンストルクのピーク位置を変えることができる。１層目の磁石スロットの形状および１層目磁石の形状を直線ｄ１に対して反回転側に配した本実施の形態の回転電機においては、電流位相角０度のときに比較例の回転電機のリラクタンストルク以上のリラクタンストルクが発生し、電流位相角９０度のときに負のリラクタンストルクが発生するので、リラクタンストルクを電流位相角に対して進ませることができる。その結果、本実施の形態の回転電機においては、マグネットトルクが正のピーク値となるときの電流位相角とリラクタンストルクが正のピーク値となるときの電流位相角とが接近したことで合成トルクの正のピーク値がより大きくなったと推定される。

[0035] 上述の通り、本実施の形態の回転電機１においては、１層目磁石の配置を非対称として反回転側に寄せると共に反回転側の１層目磁石４１１の長辺の長さＷ４１１を回転側の１層目磁石４１２の長辺の長さＷ４１２よりも短くし、また、磁石起磁力と電機子起磁力とが強め合う領域Ｂ２の幅に関係するＤ１２を磁石起磁力と電機子起磁力とが弱め合う領域Ｂ１の幅に関係するＤ１１よりも大きくし、さらに、磁石起磁力と電機子起磁力とが強め合う領域Ｂ３の幅が領域Ｂ２の幅よりも大きくなるように回転側の１層目磁石４１２と回転側の２層目磁石４２２との間隔を内径側に行くにしたがって大きくしている。その結果、本実施の形態の回転電機は、磁極の中央部における磁気飽和によるトルク低下を抑制し、ピークトルクを向上させることができる。

[0036] なお、本実施の形態の回転電機において、Ｖ字形状に形成された磁石スロットは反回転側の磁石スロットと回転側の磁石スロットとがつながっているが、反回転側の磁石スロットと回転側の磁石スロットとは内径側で分離されていてもよい。

[0037] 実施の形態２.

図９は、実施の形態２に係る回転電機における回転子の拡大断面図である。図９は、回転子の１つの極を拡大した断面図である。本実施の形態に係る回転電機の構成は、図９に示す回転子の構造以外は、実施の形態１で説明した回転電機の構成と同様である。

[0038] 本実施の形態の回転子は、磁石スロットが３層になっている。図９に示すように、本実施の形態の回転子コア２１には、外径側に向かって間隔が大きくなるＶ字形状に形成された１層目の磁石スロット５１０と、１層目の磁石スロット５１０よりも内径側に形成された２層目の磁石スロット５２０と、２層目の磁石スロット５２０よりも内径側に形成された３層目の磁石スロット５３０とが設けられている。２層目の磁石スロット５２０および３層目の磁石スロット５３０も１層目の磁石スロット５１０と同様にＶ字形状に形成されている。１層目の磁石スロット５１０の反回転側のスロットには１層目磁石４１１が挿入されており、回転側のスロットには１層目磁石４１２が挿

入されている。また、２層目の磁石スロット５２０の反回転側のスロットには２層目磁石４２１が挿入されており、回転側のスロットには２層目磁石４２２が挿入されている。さらには、３層目の磁石スロット５３０の反回転側のスロットには３層目磁石４３１が挿入されており、回転側のスロットには３層目磁石４３２が挿入されている。１層目磁石４１１、４１２、２層目磁石４２１、４２２および３層目磁石４３１、４３２は平板形状の永久磁石であり、短辺に平行に配向されて全て同じ方向に着磁されている。これら６個の永久磁石で１つの極を形成しており、この１つの極が周方向に等間隔に８個配置されている。隣り合う極の着磁方向は、径方向に互いに逆になるように設定されている。

[0039] 回転子２０の回転中心を点Ｏとする。１極の内径側でかつ反回転側で隣り合う極との距離が最短となる点を点Ｐ１とし、１極の内径側でかつ回転側で隣り合う極との距離が最短となる点を点Ｐ２とする。図９に示す回転子においては、３層目磁石４３１と４３２との間隔が最小となる点がそれぞれ点Ｐ１、点Ｐ２となる。そして、点Ｐ１と点Ｏとを結ぶ線分を線分Ｌ１とし、点Ｐ２と点Ｏとを結ぶ線分を線分Ｌ２とする。さらに、線分Ｌ１と線分Ｌ２との二等分線を直線ｑ１とする。点Ｏを中心に直線ｑ１から回転側に電気角でπの角度をもつ直線を直線ｑ２とする。回転子２０の１極は、直線ｑ１と直線ｑ２とに囲まれた部分となる。また、点Ｏを中心に直線ｑ１から回転側に電気角でπ／２の角度をもつ直線を直線ｄ１とする。直線ｄ１は、回転子２０の１極の寸法中心線となる。

[0040] 反回転側の１層目磁石４１１の外径側の長辺を延長させた直線と、回転側の１層目磁石４１２の外径側の長辺を延長させた直線とが交わる点を点Ｐ３とし、回転側の１層目磁石４１１の内径側の長辺を延長させた直線と、反回転側の１層目磁石４１２の内径側の長辺を延長させた直線とが交わる点を点Ｐ４とする。そして、点Ｐ３と点Ｐ４とを結ぶ線分を線分Ｌ３とする。本実施の形態の回転電機においては、線分Ｌ３は、直線ｄ１よりも反回転側に位置する。

[0041] また、回転側の１層目磁石４１１の長辺の長さをＷ４１１とし、反回転側の１層目磁石４１２の長辺の長さをＷ４１２とする。本実施の形態の回転電機においては、Ｗ４１１はＷ４１２よりも短い。

[0042] さらに、反回転側の１層目磁石４１１と反回転側の２層目磁石４２１との最短距離をＤ１１とし、回転側の１層目磁石４１２と回転側の２層目磁石４２２との最短距離をＤ１２とする。また、１層目の磁石スロット５１０と２層目の磁石スロット５２０との反回転側における周方向の最短距離をＤ２１とし、１層目の磁石スロット５１０と２層目の磁石スロット５２０との回転側における周方向の最短距離をＤ２２とする。本実施の形態の回転電機においては、Ｄ１２がＤ１１よりも大きいこと、およびＤ２２がＤ２１よりも大きいことの少なくとも一方の条件が満足されている。これらの２つの条件の少なくとも一方の条件が満足されていることは、回転側の１層目磁石４１１と回転側の２層目磁石４２２との間隔が反回転側の１層目磁石４１１と反回転側の２層目磁石４２１との間隔よりも大きいことが満足されている。なお、本実施の形態において、これ以降の説明ではＤ１２がＤ１１よりも大きいことが満足されているとして説明する。

[0043] また、反回転側の１層目磁石４１１と２層目磁石４２１との間隔は内径側に行くにしたがって大きくなっており、回転側の１層目磁石４１１と２層目磁石４２２との間隔も内径側に行くにしたがって大きくなっている。すなわち、Ｖ字形状に形成された１層目の磁石スロット５１０のなす角が、Ｖ字形状に形成された２層目の磁石スロット５２０のなす角よりも大きくなっている。なお、Ｖ字形状に形成された３層目の磁石スロット５３０のなす角は、Ｖ字形状に形成された２層目の磁石スロット５２０のなす角と同じである。言い換えると、Ｖ字形状に形成された１層目の磁石スロットのなす角は、Ｖ字形状に形成された他の層の磁石スロットのなす角よりも大きい。

[0044] このように構成された回転電機においては、実施の形態１と同様に、１層目磁石の配置を非対称として反回転側に寄せると共に反回転側の１層目磁石４１１の長辺の長さＷ４１１を回転側の１層目磁石４１２の長辺の長さＷ４

１２よりも短くし、また、磁石起磁力と電機子起磁力とが強め合う領域の幅に関係するＤ１２を磁石起磁力と電機子起磁力とが弱め合う領域の幅に関係するＤ１１よりも大きくし、さらに、磁石起磁力と電機子起磁力とが強め合う領域である回転側の１層目磁石４１２と回転側の２層目磁石４２２との間隔を内径側に行くにしたがって大きくしている。その結果、本実施の形態の回転電機は、磁極の中央部における磁気飽和によるトルク低下を抑制し、ピークトルクを向上させることができる。

[0045] 実施の形態３．

図１０は、実施の形態３に係る回転電機における回転子の拡大断面図である。図１０は、回転子の１つの極を拡大した断面図である。本実施の形態に係る回転電機の構成は、図１０に示す回転子の構造以外は、実施の形態１で説明した回転電機の構成と同様である。

[0046] 図１０に示すように、本実施の形態の回転子においては、外径側に向かって間隔が大きくなるＶ字形状に形成された１層目の磁石スロット５１０は、１層目の反回転側磁石スロット５１１と回転側磁石スロット５１２とで構成されている。反回転側磁石スロット５１１と回転側磁石スロット５１２との間には、回転子コア２１の一部である中央ブリッジ１１０が設けられている。また、外径側に向かって間隔が大きくなるＶ字形状に形成された２層目の磁石スロット５２０は、２層目の反回転側磁石スロット５２１と回転側磁石スロット５２２とで構成されている。反回転側磁石スロット５２１と回転側磁石スロット５２２との間には、回転子コア２１の一部である中央ブリッジ１２０が設けられている。

[0047] さらに、本実施の形態の回転子においては、回転時の遠心力により発生する応力を許容値以下とするために、１層目の反回転側磁石スロット５１１および回転側磁石スロット５１２の外周部には回転子コア２１の一部である外周ブリッジ１１１、１１２がそれぞれ設けられており、２層目の反回転側磁石スロット５２１および回転側磁石スロット５２２の外周部には回転子コア２１の一部である外周ブリッジ１２１、１２２がそれぞれ設けられている。

[0048] 本実施の形態の回転電機の構成は、磁石スロットの形状以外は、実施の形態１と同様である。すなわち、本実施の形態の回転電機においても、１層目磁石の配置を非対称として反回転側に寄せると共に、反回転側の１層目磁石４１１の長辺の長さを回転側の１層目磁石４１２の長辺の長さよりも短くし、また、磁石起磁力と電機子起磁力とが強め合う領域の幅に関係するＤ１２を磁石起磁力と電機子起磁力とが弱め合う領域の幅に関係するＤ１１よりも大きくし、さらに、磁石起磁力と電機子起磁力とが強め合う領域である回転側の１層目磁石４１２と回転側の２層目磁石４２２との間隔を内径側に行くにしたがって大きくしている。その結果、本実施の形態の回転電機は、磁極の中央部における磁気飽和によるトルク低下を抑制し、ピークトルクを向上させることができる。

[0049] また、この回転電機においては、回転子に外周ブリッジおよび中央ブリッジが設けられているので、回転時の遠心力による外周ブリッジへの応力集中を緩和することができるため、許容回転数を拡大することができる。

[0050] 図１１は、本実施の形態に係る回転電機における磁束ベクトルを示す図である。図１１は、有限要素法を用いて解析した無負荷条件における磁束ベクトルを示している。反回転側の１層目磁石４１１から外径側に発生した磁束は、一部が中央ブリッジ１１０の領域Ａ４へ流れ込んでいる。また、回転側の１層目磁石４１２から外径側に発生した磁束も、一部が中央ブリッジ１１０の領域Ａ４へ流れ込んでいる。反回転側の２層目磁石４２１から外径側に発生した磁束は、一部が中央ブリッジ１２０の領域Ｂ４へ流れ込んでいる。さらに、回転側の２層目磁石４２２から外径側に発生した磁束も、一部が中央ブリッジ１２０の領域Ｂ４へ流れ込んでいる。その結果、領域Ａ１、領域Ａ２、領域Ｂ１、領域Ｂ２および領域Ｂ３に流れる磁束は、実施の形態１で示した図４に比べて減少している。

[0051] 図１２は、本実施の形態に係る回転電機における磁束ベクトルを示す図である。図１２は、回転子の磁石には起磁力を与えない条件のもとで固定子コイルに合成トルクが最大となる電流位相の電機子起磁力を与える条件を有限

要素法によって解析したときの磁束ベクトルを示している。

[0052] 固定子コイル１３で発生した磁束は、ティース１２から対向する回転子コア２１の領域Ａ１、領域Ａ４、領域Ｂ１および領域Ｃ１へ流れ込む。領域Ａ１および領域Ａ４へ流れ込んだ磁束の一部は、領域Ｂ４、領域Ｄ２および領域Ｃ２を通り、ティース１２へ戻る。その結果、領域Ａ２、領域Ｂ２および領域Ｂ３に流れる磁束は、実施の形態１で示した図６に比べて減少している。

[0053] 図１３は、本実施の形態に係る回転電機における磁束ベクトルを示す図である。図１３は、回転電機の合成トルクが最大となる条件を有限要素法によって解析したときの磁束ベクトルを示している。

[0054] 領域Ａ１へ流れ込んだ磁束の一部は領域Ａ４へ流れ込んでおり、その一部は隣接する磁石を介して漏れ磁束としてループを形成している。また、領域Ｃ１、領域Ｄ１および反回転側の２層目磁石４２１を通過した磁束の一部は領域Ｂ４へ流れ込んでおり、その一部は隣接する磁石を介して漏れ磁束としてループを形成している。その結果、領域Ａ２、領域Ｂ１、領域Ｂ２および領域Ｂ３へ流れる磁束は、実施の形態１で示した図７に比べて減少する。

[0055] 前述した漏れ磁束はトルクに寄与しないが、領域Ａ４および領域Ｂ４が配される回転子の中央部では磁束がさらに増加する。この増加した磁束が回転子の中央部の磁束密度を増加させ有効磁束と合わせて磁気飽和を起こすと、有効磁束が減少してトルク低下につながる。領域Ａ４および領域Ｂ４が配されることは、回転子の中央部の磁気飽和が起こりやすくなるため、回転側の１層目磁石４１２と２層目磁石４２２との間隔を内径側に行くにしたがって大きくしていることが本実施の形態の回転電機においても有効である。

[0056] 実施の形態４.

図１４は、実施の形態４に係る回転電機における回転子の拡大断面図である。図１４は、回転子の１つの極の外周部を拡大した断面図である。本実施の形態に係る回転電機の構成は、図１４に示す回転子の構造以外は、実施の形態１で説明した回転電機の構成と同様である。すなわち、本実施の形態の

回転電機においても、実施の形態１の回転電機と同様に、１層目磁石の配置を非対称として反回転側に寄せると共に、反回転側の１層目磁石の長辺の長さを回転側の１層目磁石の長辺の長さよりも短くし、また、磁石起磁力と電機子起磁力とが強め合う領域の幅を磁石起磁力と電機子起磁力とが弱め合う領域の幅よりも大きくし、さらに、回転側の１層目磁石と回転側の２層目磁石との間隔を内径側に行くにしたがって大きくしている。

[0057] 図１４に示すように、１層目の磁石スロット５１０の反回転側の最外周面５１０ａと、それと対向する回転子コア２１の外周面２１ａとの間が反回転側の外周ブリッジ１１１である。また、１層目の磁石スロット５１０の回転側の最外周面５１０ｂと、それと対向する回転子コア２１の外周面２１ａとの間が回転側の外周ブリッジ１１２である。

[0058] 本実施の形態の回転電機において、反回転側の外周ブリッジ１１１の径方向の幅Ｄ１１１は、回転側の外周ブリッジ１１２の径方向の幅Ｄ１１２よりも小さく設定されている。反回転側の１層目磁石４１１の長辺の長さは回転側の１層目磁石４１２の長辺の長さよりも短いので、反回転側の１層目磁石４１１の質量は回転側の１層目磁石４１２の質量よりも小さい。そのため、回転時の遠心力によって外周ブリッジ１１１にかかる応力は、外周ブリッジ１１２にかかる応力よりも小さい。本実施の形態の回転電機においては、反回転側の外周ブリッジ１１１の径方向の幅Ｄ１１１を回転側の外周ブリッジ１１２の径方向の幅Ｄ１１２よりも小さくすることで、外周ブリッジの漏れ磁束を低減することができる。

[0059] 実施の形態５.

図１５は、実施の形態５に係る回転電機における回転子の拡大断面図である。図１５は、回転子の１つの極を拡大した断面図である。本実施の形態に係る回転電機の構成は、図１５に示す回転子の構造以外は、実施の形態１で説明した回転電機の構成と同様である。すなわち、本実施の形態の回転電機においても、実施の形態１の回転電機と同様に、１層目磁石の配置を非対称として反回転側に寄せると共に、反回転側の１層目磁石の長辺の長さを回転

側の１層目磁石の長辺の長さよりも短くし、また、磁石起磁力と電機子起磁力とが強め合う領域の幅を磁石起磁力と電機子起磁力とが弱め合う領域の幅よりも大きくし、さらに、回転側の１層目磁石と回転側の２層目磁石との間隔を内径側に行くにしたがって大きくしている。

[0060] 図１５に示すように、本実施の形態の回転電機においては、反回転側の１層目磁石４１１の短辺の厚みＤ４１１は、回転側の１層目磁石４１２の短辺の厚みＤ４１２よりも大きく設定されている。

[0061] トルクを増加させるために磁石量を増やすことは１つの有効な手段であるが、磁石量の増加により磁気抵抗の小さい領域が減少し磁石起磁力が増加するため、磁気飽和が発生してトルク増加が阻害される。そのため、磁石起磁力と電機子起磁力とが弱め合う領域である反回転側の１層目磁石４１１の短辺の厚みＤ４１１を、磁石起磁力と電機子起磁力とが強め合う領域である回転側の１層目磁石４１２の短辺の厚みＤ４１２よりも大きくすることは、磁気飽和によるトルク増加の阻害を緩和させることができる。したがって、このように構成された回転電機においては、電機子磁束による磁石磁束を弱める効果をより有効に利用することができる。なお、１層目磁石４１１、４１２の厚みを同じとし、反回転側の１層目磁石４１１の磁石材料に回転側の１層目磁石４１２の磁石材料よりも残留磁束密度が大きい磁石材料を用いることで、同様の効果を得ることができる。

[0062] 実施の形態６.

図１６は、実施の形態６に係る回転電機における回転子の拡大断面図である。図１６は、回転子の１つの極を拡大した断面図である。本実施の形態に係る回転電機の構成は、図１６に示す回転子の構造以外は、実施の形態１で説明した回転電機の構成と同様である。すなわち、本実施の形態の回転電機においても、実施の形態１の回転電機と同様に、１層目磁石の配置を非対称として反回転側に寄せると共に、反回転側の１層目磁石の長辺の長さを回転側の１層目磁石の長辺の長さよりも短くし、また、磁石起磁力と電機子起磁力とが強め合う領域の幅を磁石起磁力と電機子起磁力とが弱め合う領域の幅

よりも大きくし、さらに、回転側の１層目磁石と回転側の２層目磁石との間隔を内径側に行くにしたがって大きくしている。

[0063] 図１６に示すように、本実施の形態の回転電機においては、反回転側の２層目磁石４２１の短辺の厚みＤ４２１は、回転側の２層目磁石４２２の短辺の厚みＤ４２２よりも大きく設定されている。

[0064] トルクを増加させるために磁石量を増やすことは１つの有効な手段であるが、磁石量の増加により磁気抵抗の小さい領域が減少し磁石起磁力が増加するため、磁気飽和が発生してトルク増加が阻害される。そのため、磁石起磁力と電機子起磁力とが弱め合う領域である反回転側の２層目磁石４２１の短辺の厚みＤ４２１を、磁石起磁力と電機子起磁力とが強め合う領域である回転側の２層目磁石４２２の短辺の厚みＤ４２２よりも大きくすることは、磁気飽和によるトルク増加の阻害を緩和させることができる。したがって、このように構成された回転電機においては、電機子磁束による磁石磁束を弱める効果をより有効に利用することができる。なお、２層目磁石４２１、４２２の厚みを同じとし、反回転側の２層目磁石４２１の磁石材料に回転側の２層目磁石４２２の磁石材料よりも残留磁束密度が大きい磁石材料を用いることで、同様の効果を得ることができる。

[0065] 実施の形態７.

図１７は、実施の形態７に係る回転電機における回転子の拡大断面図である。図１７は、回転子の１つの極を拡大した断面図である。本実施の形態に係る回転電機の構成は、図１７に示す回転子の構造以外は、実施の形態１で説明した回転電機の構成と同様である。すなわち、本実施の形態の回転電機においても、実施の形態１の回転電機と同様に、１層目磁石の配置を非対称として反回転側に寄せると共に、反回転側の１層目磁石の長辺の長さを回転側の１層目磁石の長辺の長さよりも短くし、また、磁石起磁力と電機子起磁力とが強め合う領域の幅を磁石起磁力と電機子起磁力とが弱め合う領域の幅よりも大きくし、さらに、回転側の１層目磁石と回転側の２層目磁石との間隔を内径側に行くにしたがって大きくしている。

[0066] 図１７に示すように、本実施の形態の回転電機においては、回転側の１層目磁石４１２が２つの分割磁石４１２ａと４１２ｂとで構成されている。分割磁石４１２ａおよび４１２ｂの形状は、反回転側の１層目磁石４１１の形状と同じである。

[0067] このように構成された回転電機においては、形状が同じ磁石を１層目磁石として用いることができるので、磁石を効率よく製造することができる。また、形状が異なる磁石を１層目磁石として用いる場合に比べて、磁石の判別の複雑さ、取り扱いの間違いなどを軽減することができる。さらに、回転側の１層目磁石を２つの分割磁石で構成することで、渦電流の経路が長くなり磁気抵抗が高くなるので、回転側の１層目磁石で発生する損失を低減することができる。

[0068] 実施の形態８.

図１８は、実施の形態８に係る回転電機における回転子の拡大断面図である。図１８は、回転子の１つの極を拡大した断面図である。本実施の形態に係る回転電機の構成は、図１８に示す回転子の構造以外は、実施の形態１で説明した回転電機の構成と同様である。すなわち、本実施の形態の回転電機においても、実施の形態１の回転電機と同様に、１層目磁石の配置を非対称として反回転側に寄せると共に、反回転側の１層目磁石の長辺の長さを回転側の１層目磁石の長辺の長さよりも短くし、また、磁石起磁力と電機子起磁力とが強め合う領域の幅を磁石起磁力と電機子起磁力とが弱め合う領域の幅よりも大きくし、さらに、回転側の１層目磁石と回転側の２層目磁石との間隔を内径側に行くにしたがって大きくしている。

[0069] 図１８に示すように、本実施の形態の回転電機においては、反回転側の１層目磁石４１１が２つの分割磁石４１１ａと４１１ｂとで構成されており、回転側の１層目磁石４１２が３つの分割磁石４１２ａと４１２ｂと４１２ｃとで構成されている。分割磁石４１１ａ、４１１ｂ、４１２ａ、４１２ｂおよび４１２ｃの形状は、全て同じである。なお、反回転側の１層目磁石４１１および回転側の１層目磁石４１２は、図１８に示す以外に、形状が同じ４

個以上の複数の分割磁石で構成されていてもよい。この場合、反回転側の１層目磁石４１１を構成する分割磁石の個数を、回転側の１層目磁石４１２を構成する分割磁石の個数よりも少なくすればよい。

[0070] このように構成された回転電機においては、形状が同じ複数の磁石を１層目磁石として用いることができるので、磁石を効率よく製造することができる。また、形状が異なる磁石を１層目磁石として用いる場合に比べて、磁石の判別の複雑さ、取り扱いの間違いなどを軽減することができる。さらに、１層目磁石を複数の分割磁石で構成することで、渦電流の経路が長くなり磁気抵抗が高くなるので、１層目磁石で発生する損失を低減することができる。

[0071] 実施の形態９.

図１９は、実施の形態９に係る回転電機における回転子の拡大断面図である。図１９は、回転子の１つの極を拡大した断面図である。本実施の形態に係る回転電機の構成は、図１９に示す回転子の構造以外は、実施の形態１で説明した回転電機の構成と同様である。すなわち、本実施の形態の回転電機においても、実施の形態１の回転電機と同様に、１層目磁石の配置を非対称として反回転側に寄せると共に、反回転側の１層目磁石の長辺の長さを回転側の１層目磁石の長辺の長さよりも短くし、また、磁石起磁力と電機子起磁力とが強め合う領域の幅を磁石起磁力と電機子起磁力とが弱め合う領域の幅よりも大きくし、さらに、回転側の１層目磁石と回転側の２層目磁石との間隔を内径側に行くにしたがって大きくしている。

[0072] 図１９に示すように、本実施の形態の回転電機においては、反回転側の２層目磁石４２１が２つの分割磁石４２１ａと４２１ｂとで構成されている。分割磁石４２１ａおよび４２１ｂの形状は、回転側の２層目磁石４２２の形状と同じである。

[0073] このように構成された回転電機においては、形状が同じ磁石を２層目磁石として用いることができるので、磁石を効率よく製造することができる。また、形状が異なる磁石を２層目磁石として用いる場合に比べて、磁石の判別

の複雑さ、取り扱いの間違いなどを軽減することができる。さらに、反回転側の２層目磁石を２つの分割磁石で構成することで、渦電流の経路が長くなり磁気抵抗が高くなるので、反回転側の２層目磁石で発生する損失を低減することができる。

[0074] 実施の形態１０．

図２０は、実施の形態１０に係る回転電機における回転子の拡大断面図である。図２０は、回転子の１つの極を拡大した断面図である。本実施の形態に係る回転電機の構成は、図２０に示す回転子の構造以外は、実施の形態１で説明した回転電機の構成と同様である。すなわち、本実施の形態の回転電機においても、実施の形態１の回転電機と同様に、１層目磁石の配置を非対称として反回転側に寄せると共に、反回転側の１層目磁石の長辺の長さを回転側の１層目磁石の長辺の長さよりも短くし、また、磁石起磁力と電機子起磁力とが強め合う領域の幅を磁石起磁力と電機子起磁力とが弱め合う領域の幅よりも大きくし、さらに、回転側の１層目磁石と回転側の２層目磁石との間隔を内径側に行くにしたがって大きくしている。

[0075] 図２０に示すように、本実施の形態の回転電機においては、回転側の１層目磁石４１２が２つの分割磁石４１２ａと４１２ｂとで構成されている。また、反回転側の２層目磁石４２１が４つの分割磁石４２１ａと４２１ｂと４２１ｃと４２１ｄとで構成されている。さらに、回転側の２層目磁石４２２が４つの分割磁石４２２ａと４２２ｂと４２２ｃと４２２ｄとで構成されている。

[0076] 本実施の形態の回転電機においては、反回転側の１層目磁石４１１、回転側の１層目磁石の分割磁石４１２ａ、４１２ｂ、および２層目磁石の分割磁石４２１ａ、４２１ｂ、４２１ｃ、４２１ｄ、４２２ａ、４２２ｂ、４２２ｃ、４２２ｄの内、２つ以上の分割磁石の形状が同じ形状に設定されている。形状が異なる磁石の形状は判別が容易な形状に設定されている。図２０に示す例では、分割磁石４１２ｂ以外の磁石の形状は全て同じ形状に設定されている。

[0077] １層目磁石４１１、分割磁石４１２ａ、４２１ａ、４２１ｂ、４２１ｃ、４２１ｄ、４２２ａ、４２２ｂ、４２２ｃおよび４２２ｄの形状は、全て同じ形状である。なお、回転側の１層目磁石４１２および２層目磁石４２１、４２２は、図２０に示す以外に、形状が同じ５個以上の複数の分割磁石で構成されていてもよい。

[0078] このように構成された回転電機においては、形状が同じ複数の磁石を１層目磁石および２層目磁石として用いることができるので、磁石を効率よく製造することができる。また、形状が異なる磁石を判別が容易な形状としているので、磁石の判別の複雑さ、取り扱いの間違いなどを軽減することができる。さらに、１層目磁石および２層目磁石を複数の分割磁石で構成することで、渦電流の経路が長くなり磁気抵抗が高くなるので、１層目磁石および２層目磁石で発生する損失を低減することができる。

[0079] 実施の形態１１．

図２１は、実施の形態１１に係る回転電機における回転子の拡大断面図である。図２１は、回転子の１つの極を拡大した断面図である。本実施の形態に係る回転電機の構成は、図２１に示す回転子の構造以外は、実施の形態１で説明した回転電機の構成と同様である。すなわち、本実施の形態の回転電機においても、実施の形態１の回転電機と同様に、１層目磁石の配置を非対称として反回転側に寄せると共に、反回転側の１層目磁石の長辺の長さを回転側の１層目磁石の長辺の長さよりも短くし、また、磁石起磁力と電機子起磁力とが強め合う領域の幅を磁石起磁力と電機子起磁力とが弱め合う領域の幅よりも大きくし、さらに、回転側の１層目磁石と回転側の２層目磁石との間隔を内径側に行くにしたがって大きくしている。

[0080] 図２１に示すように、本実施の形態の回転電機においては、外径側に向かって間隔が大きくなるＶ字形状に形成された１層目の磁石スロット５１０と、１層目の磁石スロット５１０よりも内径側に形成された２層目の磁石スロット５２０と、２層目の磁石スロット５２０よりも内径側に形成された３層目の磁石スロット５３０とが設けられている。３層目の磁石スロット５３０

は、反回転側のスロットが屈曲している。３層目の磁石スロット５３０の反回転側のスロットには３層目磁石４３１が挿入されており、回転側のスロットには３層目磁石４３２が挿入されている。

[0081] 本実施の形態の回転電機においては、回転側の１層目磁石４１２が２つの分割磁石４１２ａと４１２ｂとで構成されている。反回転側の２層目磁石４２１が３つの分割磁石４２１ａと４２１ｂと４２１ｃとで構成されている。回転側の２層目磁石４２２が２つの分割磁石４２２ａと４２２ｂとで構成されている。反回転側の３層目磁石４３１が７つの分割磁石４３１ａと４３１ｂと４３１ｃと４３１ｄと４３１ｅと４３１ｆと４３１ｇとで構成されている。回転側の３層目磁石４３２が４つの分割磁石４３２ａと４３２ｂと４３２ｃと４３２ｄとで構成されている。なお、１層目磁石、２層目磁石および３層目磁石は、図２１に示す以外に、５個以上の複数の分割磁石で構成されていてもよい。この場合、反回転側の磁石を構成する分割磁石の個数と、回転側の磁石を構成する分割磁石の個数とを異なるように構成すればよい。

[0082] 本実施の形態の回転電機においては、反回転側の１層目磁石４１１、回転側の１層目磁石の分割磁石４１２ａ、４１２ｂ、２層目磁石の分割磁石４２１ａ、４２１ｂ、４２１ｃ、４２２ａ、４２２ｂ、３層目磁石の分割磁石４３１ａ、４３１ｂ、４３１ｃ、４３１ｄ、４３１ｅ、４３１ｆ、４３１ｇ、４３２ａ、４３２ｂ、４３２ｃ、４３２ｄの内、２つ以上の磁石の形状が同じに設定されている。形状が異なる磁石の形状は判別が容易な形状に設定されている。

[0083] このように構成された回転電機においては、形状が同じ複数の磁石を１層目磁石、２層目磁石および３層目磁石として用いることができるので、磁石を効率よく製造することができる。また、形状が異なる磁石を判別が容易な形状としているので、磁石の判別の複雑さ、取り扱いの間違いなどを軽減することができる。さらに、１層目磁石、２層目磁石および３層目磁石を複数の分割磁石で構成することで、渦電流の経路が長くなり磁気抵抗が高くなるので、１層目磁石、２層目磁石および３層目磁石で発生する損失を低減する

ことができる。

[0084] 実施の形態１２．

図２２は、実施の形態１２に係る回転電機における回転子の拡大断面図である。図２２は、回転子の１つの極を拡大した断面図である。本実施の形態に係る回転電機の構成は、図２２に示す回転子の構造以外は、実施の形態１で説明した回転電機の構成と同様である。すなわち、本実施の形態の回転電機においても、実施の形態１の回転電機と同様に、１層目磁石の配置を非対称として反回転側に寄せると共に、反回転側の１層目磁石の長辺の長さを回転側の１層目磁石の長辺の長さよりも短くし、また、磁石起磁力と電機子起磁力とが強め合う領域の幅を磁石起磁力と電機子起磁力とが弱め合う領域の幅よりも大きくし、さらに、回転側の１層目磁石と回転側の２層目磁石との間隔を内径側に行くにしたがって大きくしている。

[0085] 図２２に示すように、反回転側の２層目磁石４２１の長辺の長さをＷ４２１とし、回転側の２層目磁石４２２の長辺の長さをＷ４２２とする。本実施の形態の回転電機においては、Ｗ４２２はＷ４２１よりも短い。また、反回転側の１層目磁石４１１と反回転側の２層目磁石４２１との最短距離をＤ１１とし、回転側の１層目磁石４１２と回転側の２層目磁石４２２との最短距離をＤ１２とする。本実施の形態の回転電機においては、Ｄ１２はＤ１１よりも大きい。さらに、回転側の１層目磁石４１２と回転側の２層目磁石４２２との間隔は、内径側に行くにしたがって大きくなっている。

[0086] トルクを増加させるために磁石量を増やすことは１つの有効な手段であるが、磁石量の増加により磁気抵抗の小さい領域が減少し磁石起磁力が増加するため、磁気飽和が発生してトルク増加が阻害される。そのため、磁石起磁力と電機子起磁力とが弱め合う領域である反回転側の磁石量を磁石起磁力と電機子起磁力とが強め合う領域である回転側の磁石量よりも増やすために、回転側の２層目磁石４２２の長辺の長さＷ４２２を、反回転側の２層目磁石４２１の長辺の長さＷ４２１よりも短くすることは、磁気飽和によるトルク増加の阻害を緩和させることができる。したがって、このように構成された

回転電機においては、電機子磁束による磁石磁束を弱める効果をより有効に利用することができる。

[0087] 実施の形態１３．

図２３は、実施の形態１３に係る回転電機における回転子の拡大断面図である。図２３は、回転子の１つの極の外周部を拡大した断面図である。本実施の形態に係る回転電機の構成は、図２３に示す回転子の構造以外は、実施の形態１で説明した回転電機の構成と同様である。すなわち、本実施の形態の回転電機においても、実施の形態１の回転電機と同様に、１層目磁石の配置を非対称として反回転側に寄せると共に、反回転側の１層目磁石の長辺の長さを回転側の１層目磁石の長辺の長さよりも短くし、また、磁石起磁力と電機子起磁力とが強め合う領域の幅を磁石起磁力と電機子起磁力とが弱め合う領域の幅よりも大きくし、さらに、回転側の１層目磁石と回転側の２層目磁石との間隔を内径側に行くにしたがって大きくしている。

[0088] 図２３に示すように、２層目の磁石スロット５２０の反回転側の最外周面５２０ａと、それと対向する回転子コア２１の外周面２１ａとの間が反回転側の外周ブリッジ１２１である。また、２層目の磁石スロット５２０の回転側の最外周面５２０ｂと、それと対向する回転子コア２１の外周面２１ａとの間が回転側の外周ブリッジ１２２である。本実施の形態の回転電機においては、反回転側の２層目磁石４２１の長辺の長さは回転側の２層目磁石４２２の長辺の長さよりも長いので、反回転側の２層目磁石４２１の質量は回転側の２層目磁石４２２の質量よりも重い。そのため、回転時の遠心力によって外周ブリッジ１２２にかかる応力は、外周ブリッジ１２１にかかる応力よりも小さい。本実施の形態の回転電機においては、回転側の外周ブリッジ１２２の径方向の幅Ｄ１２２は、反回転側の外周ブリッジ１２１の径方向の幅Ｄ１２１よりも小さく設定されている。

[0089] このように構成された回転電機においては、反回転側の外周ブリッジ１２１の径方向の幅Ｄ１２１が回転側の外周ブリッジ１２２の径方向の幅Ｄ１２２よりも小さく設定されているので、外周ブリッジの漏れ磁束を低減するこ

とができる。

[0090] 実施の形態１４．

図２４は、実施の形態１４に係る回転電機における回転子の拡大断面図である。図２４は、回転子の１つの極を拡大した断面図である。本実施の形態に係る回転電機の構成は、図２４に示す回転子の構造以外は、実施の形態１で説明した回転電機の構成と同様である。すなわち、本実施の形態の回転電機においても、実施の形態１の回転電機と同様に、１層目磁石の配置を非対称として反回転側に寄せると共に、反回転側の１層目磁石の長辺の長さを回転側の１層目磁石の長辺の長さよりも短くし、また、磁石起磁力と電機子起磁力とが強め合う領域の幅を磁石起磁力と電機子起磁力とが弱め合う領域の幅よりも大きくし、さらに、回転側の１層目磁石と回転側の２層目磁石との間隔を内径側に行くにしたがって大きくしている。

[0091] 図２４に示すように、本実施の形態の回転電機においては、反回転側の１層目磁石４１１の短辺の厚みＤ４１１は、回転側の１層目磁石４１２の短辺の厚みＤ４１２よりも大きく設定されている。また、回転側の２層目磁石４２２の長辺の長さＷ４２２は、反回転側の２層目磁石４２１の長辺の長さＷ４２１よりも短く設定されている。さらに、反回転側の１層目磁石４１１と２層目磁石４２１との最短距離Ｄ１１は、回転側の１層目磁石４１２と２層目磁石４２２との最短距離Ｄ１２よりも小さく設定されている。

[0092] トルクを増加させるために磁石量を増やすことは１つの有効な手段であるが、磁石量の増加により磁気抵抗の小さい領域が減少し磁石起磁力が増加するため、磁気飽和が発生してトルク増加が阻害される。そのため、磁石起磁力と電機子起磁力とが弱め合う領域である反回転側の１層目磁石４１１の短辺の厚みＤ４１１を磁石起磁力と電機子起磁力とが強め合う領域である回転側の１層目磁石４１２の短辺の厚みＤ４１２よりも大きくすること、および回転側の２層目磁石４２２の長辺の長さＷ４２２を反回転側の２層目磁石４２１の長辺の長さＷ４２１よりも短くすることは、磁気飽和によるトルク増加の阻害を緩和させることができる。したがって、このように構成された回

転電機においては、電機子磁束による磁石磁束を弱める効果をより有効に利用することができる。なお、１層目磁石４１１、４１２の厚みを同じとし、反回転側の１層目磁石４１１の磁石材料に回転側の１層目磁石４１２の磁石材料よりも残留磁束密度が大きい磁石材料を用いることで、同様の効果を得ることができる。

[0093] 実施の形態１５.

図２５は、実施の形態１５に係る回転電機における回転子の拡大断面図である。図２５は、回転子の１つの極を拡大した断面図である。本実施の形態に係る回転電機の構成は、図２５に示す回転子の構造以外は、実施の形態１で説明した回転電機の構成と同様である。すなわち、本実施の形態の回転電機においても、実施の形態１の回転電機と同様に、１層目磁石の配置を非対称として反回転側に寄せると共に、反回転側の１層目磁石の長辺の長さを回転側の１層目磁石の長辺の長さよりも短くし、また、磁石起磁力と電機子起磁力とが強め合う領域の幅を磁石起磁力と電機子起磁力とが弱め合う領域の幅よりも大きくし、さらに、回転側の１層目磁石と回転側の２層目磁石との間隔を内径側に行くにしたがって大きくしている。

[0094] 図２５に示すように、本実施の形態の回転電機においては、反回転側の２層目磁石４２１の短辺の厚みＤ４２１は、回転側の２層目磁石４２２の短辺の厚みＤ４２２よりも大きく設定されている。また、回転側の２層目磁石４２２の長辺の長さＷ４２２は、反回転側の２層目磁石４２１の長辺の長さＷ４２１よりも短く設定されている。さらに、反回転側の１層目磁石４１１と反回転側の２層目磁石４２１との最短距離Ｄ１１は、回転側の１層目磁石４１２と回転側の２層目磁石４２２との最短距離Ｄ１２よりも小さく設定されている。

[0095] トルクを増加させるために磁石量を増やすことは１つの有効な手段であるが、磁石量の増加により磁気抵抗の小さい領域が減少し磁石起磁力が増加するため、磁気飽和が発生してトルク増加が阻害される。そのため、磁石起磁力と電機子起磁力とが弱め合う領域である反回転側の磁石量を磁石起磁力と

電機子起磁力とが強め合う領域である回転側の磁石量よりも増やすために、反回転側の２層目磁石４２１の短辺の厚みＤ４２１を回転側の２層目磁石４２２の短辺の厚みＤ４２２よりも大きくすること、および回転側の２層目磁石４２２の長辺の長さＷ４２２を反回転側の２層目磁石４２１の長辺の長さＷ４２１よりも短くすることは、磁気飽和によるトルク増加の阻害を緩和させることができる。したがって、このように構成された回転電機においては、電機子磁束による磁石磁束を弱める効果をより有効に利用することができる。なお、２層目磁石４２１、４２２の厚みを同じとし、反回転側の２層目磁石４２１の磁石材料に回転側の２層目磁石４２２の磁石材料よりも残留磁束密度が大きい磁石材料を用いることで、同様の効果を得ることができる。

[0096] 以下、本開示の諸態様を付記としてまとめて記載する。

（付記１）

固定子コアおよび固定子コイルを有する固定子と、前記固定子の内径側にギャップを介して配置された回転子とを有し、交流電流で回転軸を中心に前記回転子が一方向に回転駆動される回転電機であって、

前記回転子は、回転子コアと、前記回転子コアに設けられた磁石スロットに挿入された複数の磁石とを有し、

前記回転軸と直交する断面において、

前記磁石スロットは、外径側に向かって間隔が大きくなるＶ字形状のスロットが径方向に多層に配置された構造を有し、多層に配置された前記磁石スロットにはそれぞれ反回転側の磁石と回転側の磁石とが挿入されて１極が構成されており、

１層目の前記磁石スロットに挿入された前記反回転側の磁石の前記磁石スロットに沿った長さは、前記回転側の磁石の前記磁石スロットに沿った長さよりも短く、

１層目の前記磁石スロットに挿入された前記反回転側の磁石の前記磁石スロットに沿った外径側の辺を延長させた直線と前記回転側の磁石の前記磁石スロットに沿った外径側の辺を延長させた直線との交点と、前記反回転側の

磁石の前記磁石スロットに沿った内径側の辺を延長させた直線と前記回転側の磁石の前記磁石スロットに沿った内径側の辺を延長させた直線との交点とを結んだ線分は、前記１極の寸法中心線よりも反回転側に位置し、

１層目の前記磁石スロットに挿入された前記回転側の磁石と２層目の前記磁石スロットに挿入された前記回転側の磁石との最短距離は、１層目の前記磁石スロットに挿入された前記反回転側の磁石と２層目の前記磁石スロットに挿入された前記反回転側の磁石との最短距離よりも大きく、

１層目の前記磁石スロットに挿入された前記回転側の磁石と２層目の前記磁石スロットに挿入された前記回転側の磁石との間隔は、内径側に行くにしたがって大きくなっていることを特徴とする回転電機。

（付記２）

１層目の前記磁石スロットの反回転側の最外周面と前記回転子コアの外周面との最短距離は、１層目の前記磁石スロットの回転側の最外周面と前記回転子コアの外周面との最短距離よりも小さいことを特徴とする付記１に記載の回転電機。

（付記３）

多層に配置された前記磁石スロットの少なくとも１つの前記磁石スロットに挿入された前記反回転側の磁石の前記磁石スロットに沿った長さと前記回転側の磁石の前記磁石スロットに沿った長さとは異なっており、前記反回転側の磁石および前記回転側の磁石の少なくとも一方は、複数の分割磁石で構成されており、複数の前記分割磁石の少なくとも２つ以上は同じ形状であることを特徴とする付記１または２に記載の回転電機。

（付記４）

２層目の前記磁石スロットに挿入された前記回転側の磁石の前記磁石スロットに沿った長さは、前記反回転側の磁石の前記磁石スロットに沿った長さよりも短いことを特徴とする付記１から３のいずれか１項に記載の回転電機。

（付記５）

２層目の前記磁石スロットの反回転側の最外周面と前記回転子コアの外周面との最短距離は、２層目の前記磁石スロットの回転側の最外周面と前記回転子コアの外周面との最短距離よりも大きいことを特徴とする付記１から４のいずれか１項に記載の回転電機。

（付記６）

多層に配置された前記磁石スロットの少なくとも１つの前記磁石スロットに挿入された前記反回転側の磁石の厚みは、前記回転側の磁石の厚みよりも大きいことを特徴とする付記１から５のいずれか１項に記載の回転電機。

（付記７）

外径側に向かって間隔が大きくなるＶ字形状に形成された前記磁石スロットは、反回転側磁石スロットと回転側磁石スロットとで構成されており、前記反回転側磁石スロットと前記回転側磁石スロットとの間には前記回転子コアの一部である中央ブリッジが設けられていることを特徴とする付記１から６のいずれか１項に記載の回転電機。

[0097] 本開示は、様々な例示的な実施の形態および実施例が記載されているが、１つまたは複数の実施の形態に記載された様々な特徴、態様および機能は特定の実施の形態の適用に限られるのではなく、単独で、または様々な組み合わせで実施の形態に適用可能である。

したがって、例示されていない無数の変形例が、この明細書に開示される技術の範囲内において想定される。例えば、少なくとも１つの構成要素を変形する場合、追加する場合または省略する場合、さらには、少なくとも１つの構成要素を抽出し、他の実施の形態の構成要素と組み合わせる場合が含まれるものとする。

符号の説明

[0098] １　回転電機、１０　固定子、１１　バックコア、１２　ティース、１３　固定子コイル、２０　回転子、２１　回転子コア、３０　回転軸、４１１、４１２　１層目磁石、４２１、４２２　２層目磁石、４３１、４３２　３層目磁石、５１０、５２０、５３０　磁石スロット、５１１、５２１　反回

転側磁石スロット、５１２、５２２　回転側磁石スロット。

請求の範囲

[請求項1] 固定子コアおよび固定子コイルを有する固定子と、前記固定子の内径側にギャップを介して配置された回転子とを有し、交流電流で回転軸を中心に前記回転子が回転駆動される回転電機であって、

前記回転子は、回転子コアと、前記回転子コアに設けられた磁石スロットに挿入された複数の磁石とを有し、

前記回転軸と直交する断面において、

前記磁石スロットは、外径側に向かって間隔が大きくなるＶ字形状のスロットが径方向に多層に配置された構造を有し、多層に配置された前記磁石スロットにはそれぞれ反回転側の磁石と回転側の磁石とが挿入されて１極が構成されており、

１層目の前記磁石スロットに挿入された前記反回転側の磁石の前記磁石スロットに沿った長さは、前記回転側の磁石の前記磁石スロットに沿った長さよりも短く、

１層目の前記磁石スロットに挿入された前記反回転側の磁石の前記磁石スロットに沿った外径側の辺を延長させた直線と前記回転側の磁石の前記磁石スロットに沿った外径側の辺を延長させた直線との交点と、前記反回転側の磁石の前記磁石スロットに沿った内径側の辺を延長させた直線と前記回転側の磁石の前記磁石スロットに沿った内径側の辺を延長させた直線との交点とを結んだ線分は、前記１極の寸法中心線よりも反回転側に位置し、

１層目の前記磁石スロットに挿入された前記回転側の磁石と２層目の前記磁石スロットに挿入された前記回転側の磁石との最短距離は、１層目の前記磁石スロットに挿入された前記反回転側の磁石と２層目の前記磁石スロットに挿入された前記反回転側の磁石との最短距離よりも大きく、

１層目の前記磁石スロットに挿入された前記回転側の磁石と２層目の前記磁石スロットに挿入された前記回転側の磁石との間隔は、内径

側に行くにしたがって大きくなっていることを特徴とする回転電機。

[請求項2] １層目の前記磁石スロットの反回転側の最外周面と前記回転子コアの外周面との最短距離は、１層目の前記磁石スロットの回転側の最外周面と前記回転子コアの外周面との最短距離よりも小さいことを特徴とする請求項１に記載の回転電機。

[請求項3] 多層に配置された前記磁石スロットの少なくとも１つの前記磁石スロットに挿入された前記反回転側の磁石の前記磁石スロットに沿った長さと前記回転側の磁石の前記磁石スロットに沿った長さとは異なっており、前記反回転側の磁石および前記回転側の磁石の少なくとも一方は、複数の分割磁石で構成されており、複数の前記分割磁石の少なくとも２つ以上は同じ形状であることを特徴とする請求項１または２に記載の回転電機。

[請求項4] ２層目の前記磁石スロットに挿入された前記回転側の磁石の前記磁石スロットに沿った長さは、前記反回転側の磁石の前記磁石スロットに沿った長さよりも短いことを特徴とする請求項１から３のいずれか１項に記載の回転電機。

[請求項5] ２層目の前記磁石スロットの反回転側の最外周面と前記回転子コアの外周面との最短距離は、２層目の前記磁石スロットの回転側の最外周面と前記回転子コアの外周面との最短距離よりも大きいことを特徴とする請求項１から４のいずれか１項に記載の回転電機。

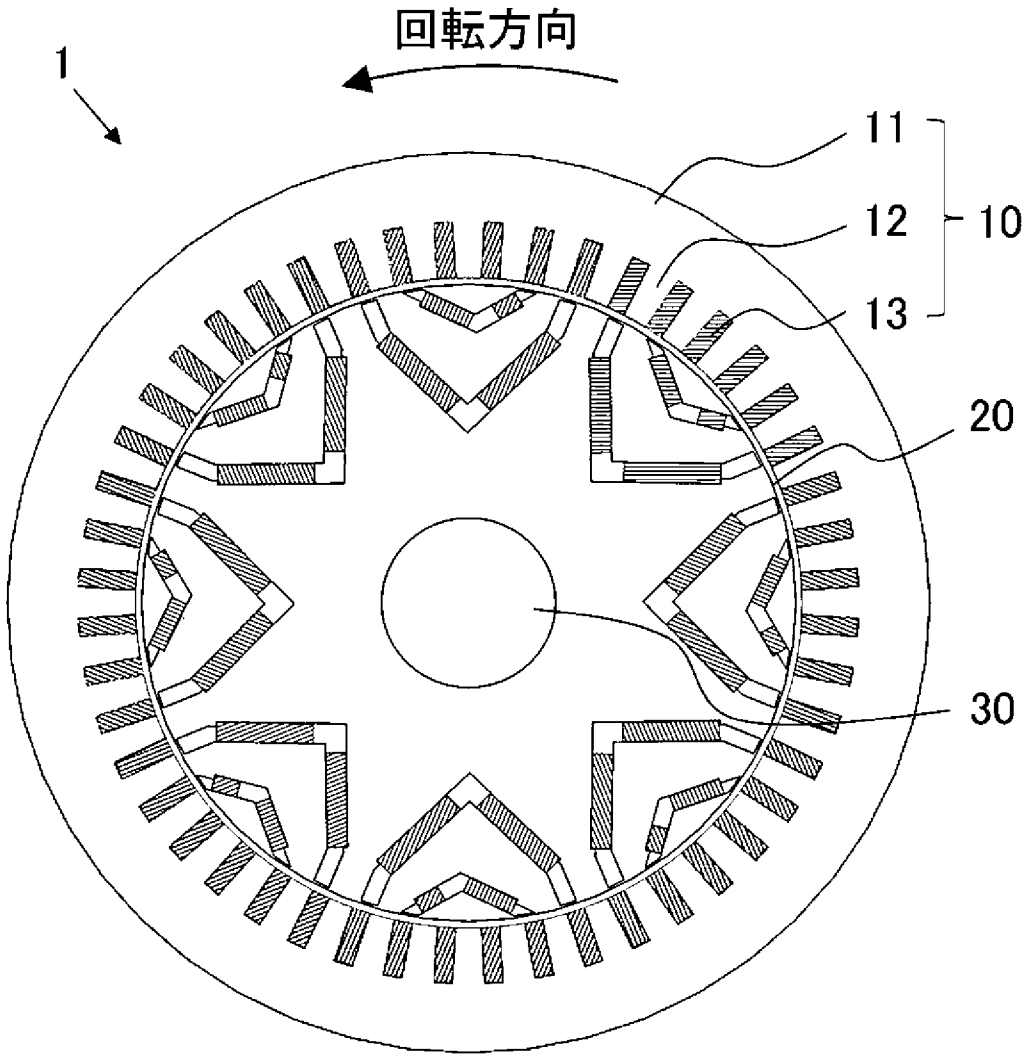
[請求項6] 多層に配置された前記磁石スロットの少なくとも１つの前記磁石スロットに挿入された前記反回転側の磁石の厚みは、前記回転側の磁石の厚みよりも大きいことを特徴とする請求項１から５のいずれか１項に記載の回転電機。

[請求項7] 外径側に向かって間隔が大きくなるＶ字形状に形成された前記磁石スロットは、反回転側磁石スロットと回転側磁石スロットとで構成されており、前記反回転側磁石スロットと前記回転側磁石スロットとの間には前記回転子コアの一部である中央ブリッジが設けられているこ

とを特徴とする請求項１から６のいずれか１項に記載の回転電機。

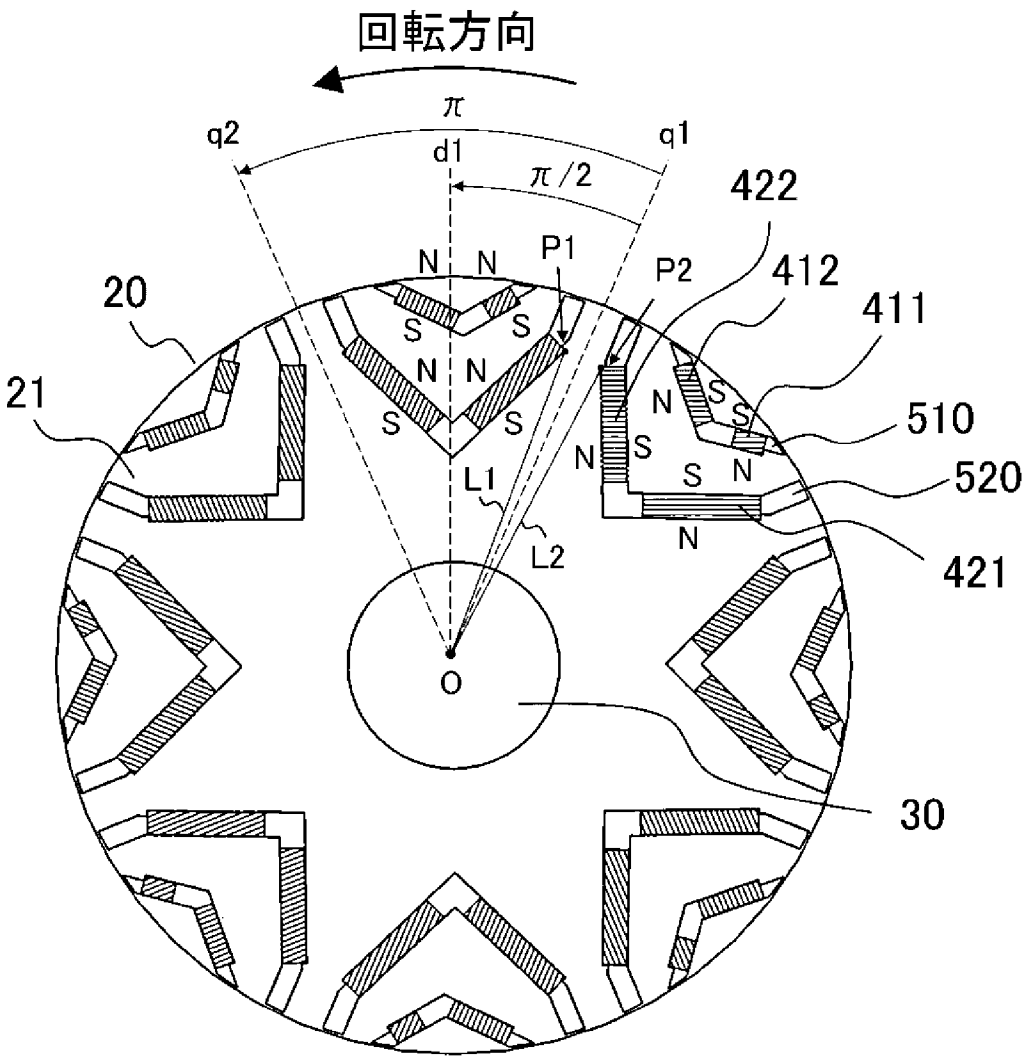
[図1]

図１



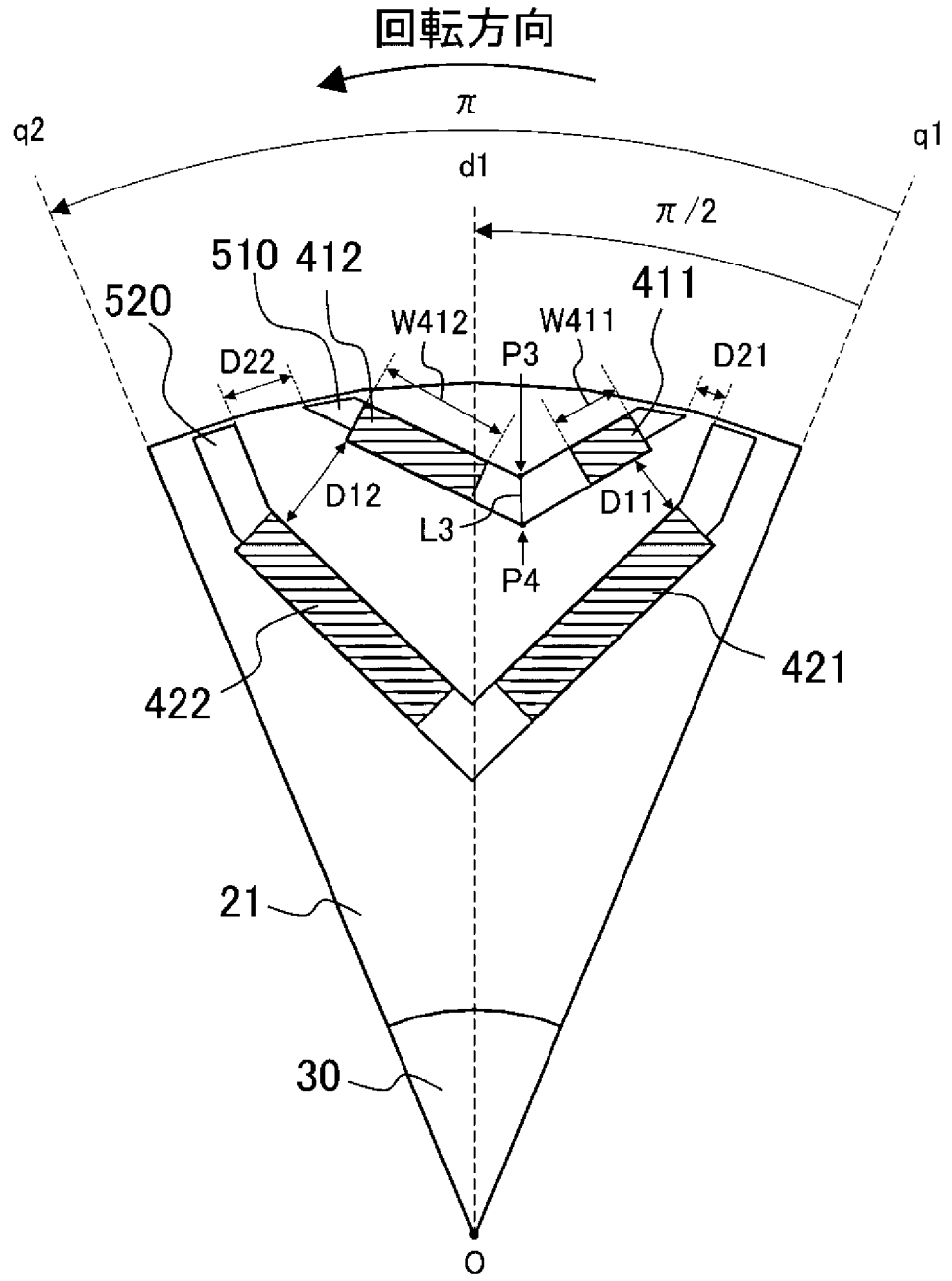
[図2]

図２



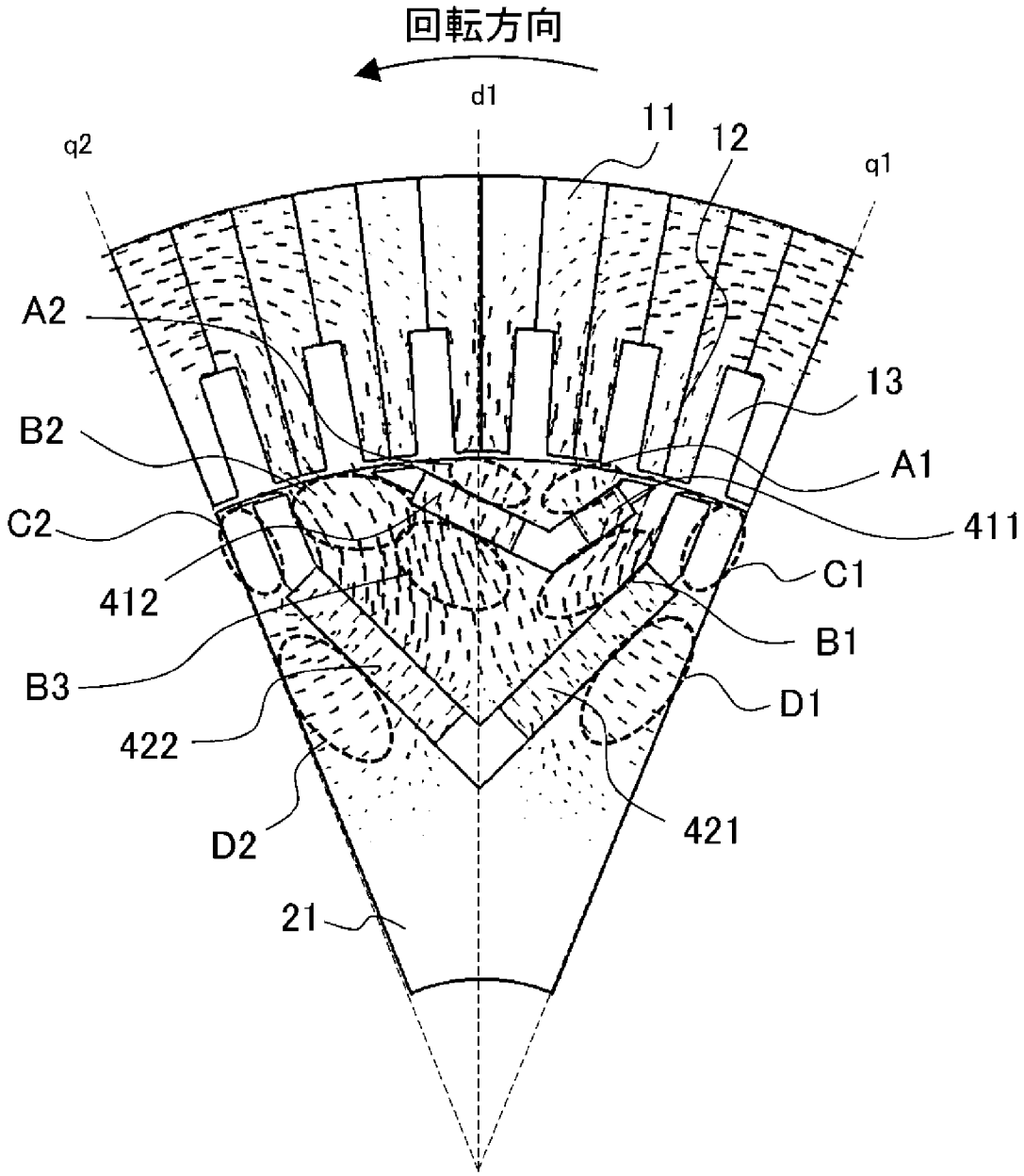
[図3]

図３


回転方向
π
q2
q1
d1
π /2
510 412
411
520
W412
W411
P3
D22
D21
D12
D11
L3
P4
422
421
21
30
O

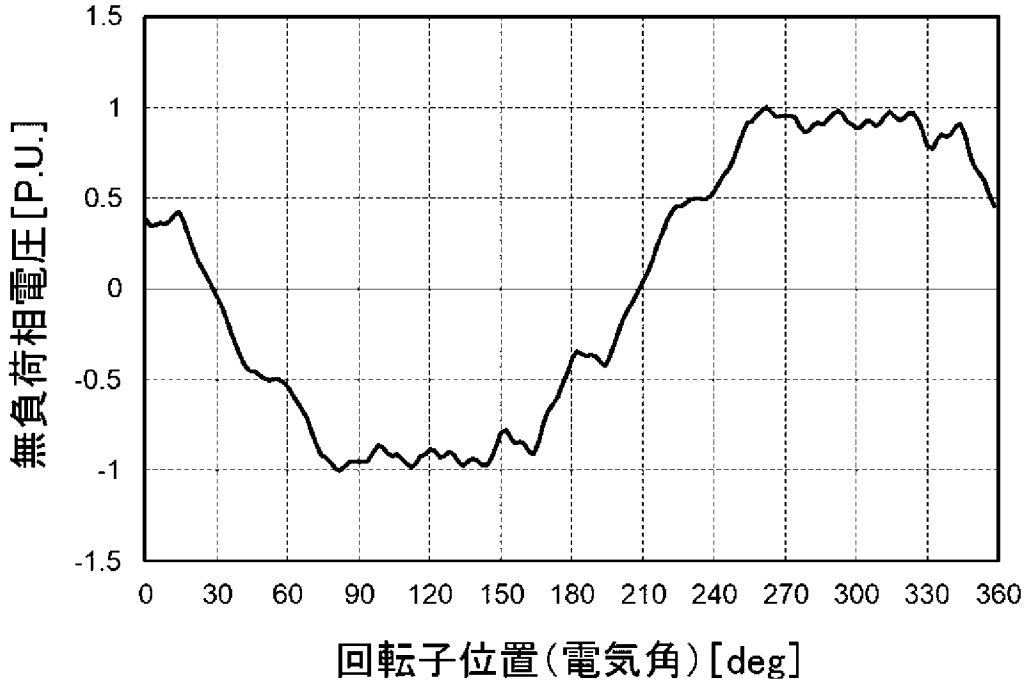
[図4]

図４



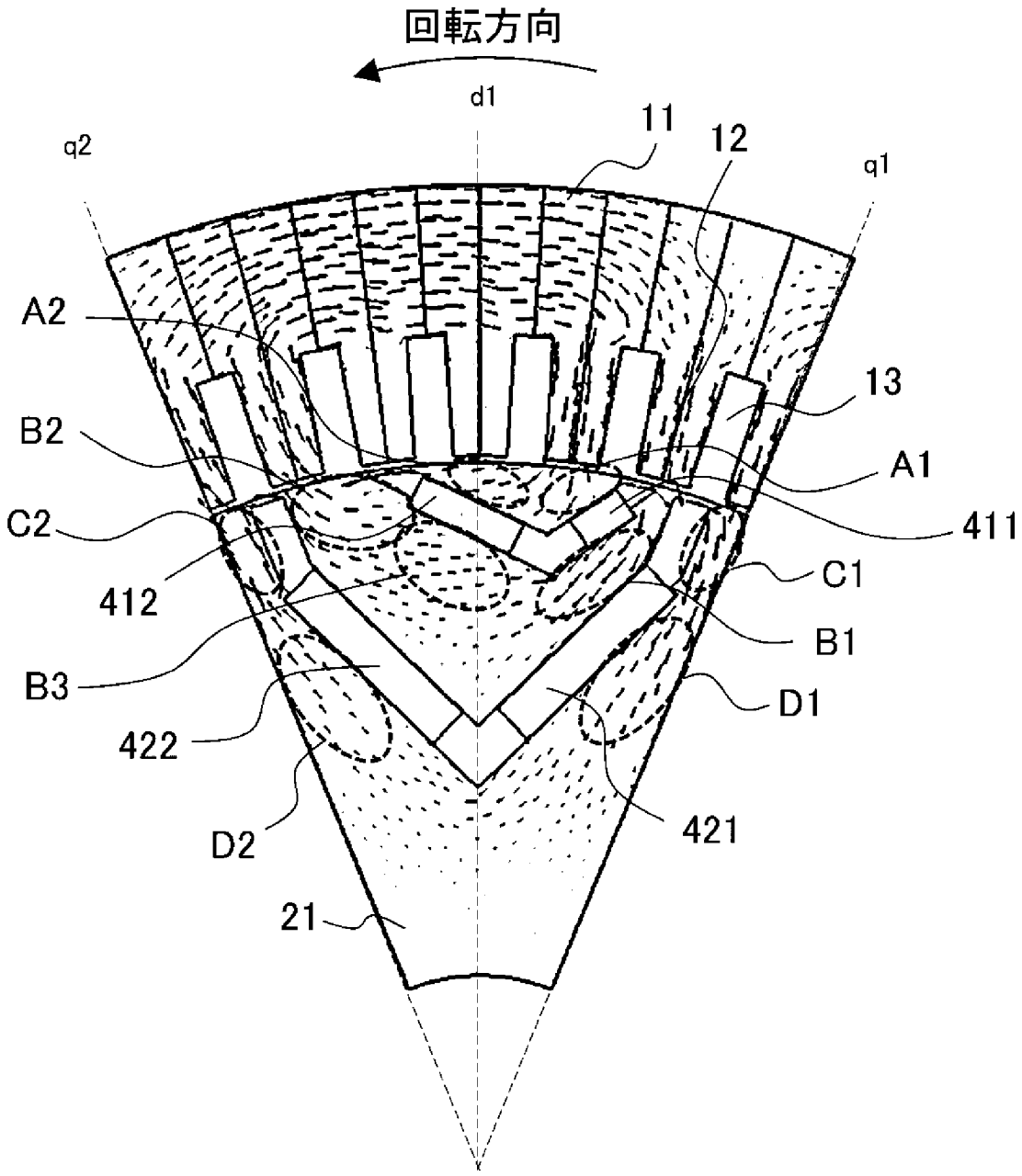
[図5]

図５


1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
無負荷相電圧[P.U.]
0
30
60
90
120
150
180
210
240
270
300
330
360
回転子位置（電気角）[deg]

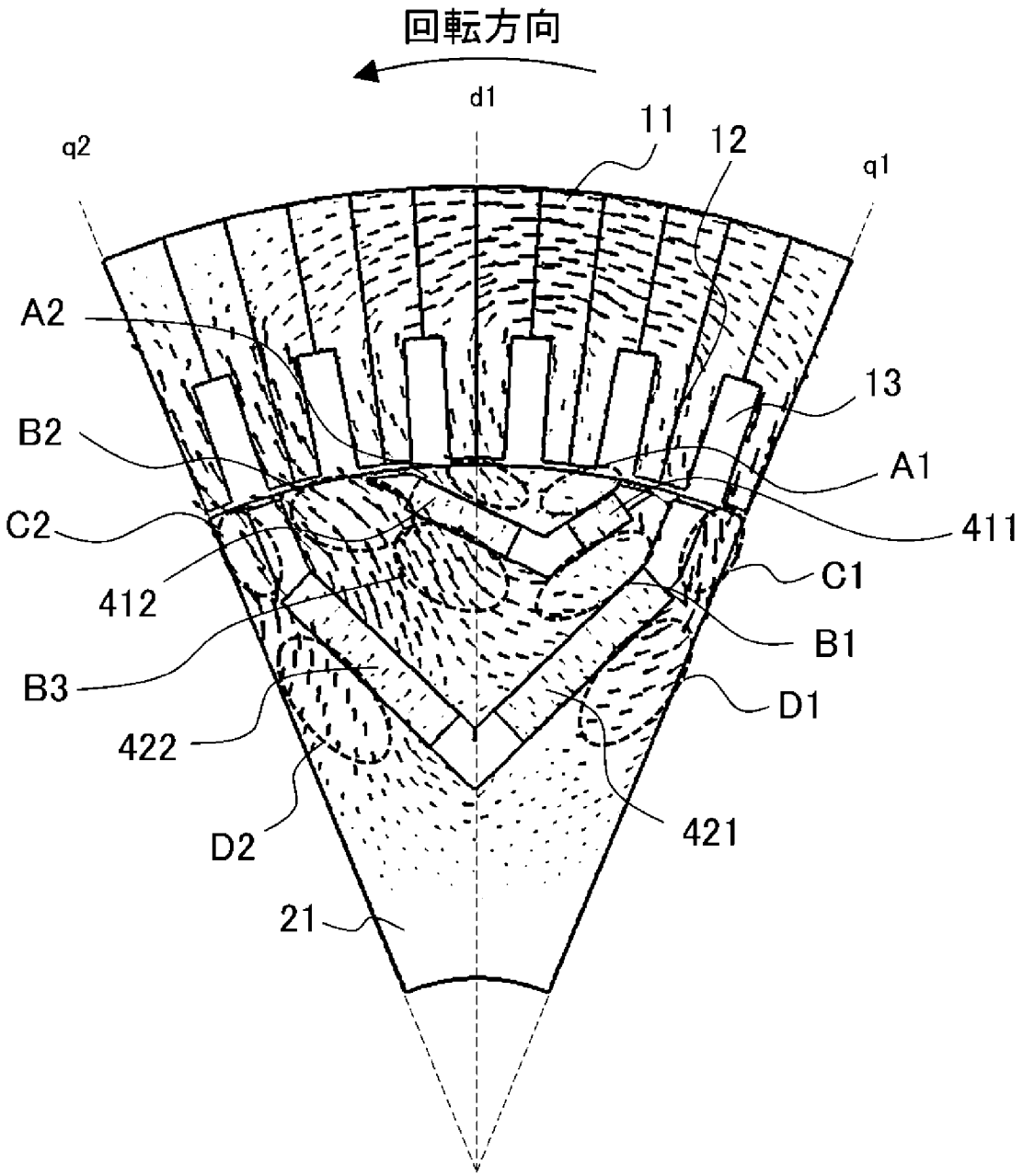
[図6]

図６



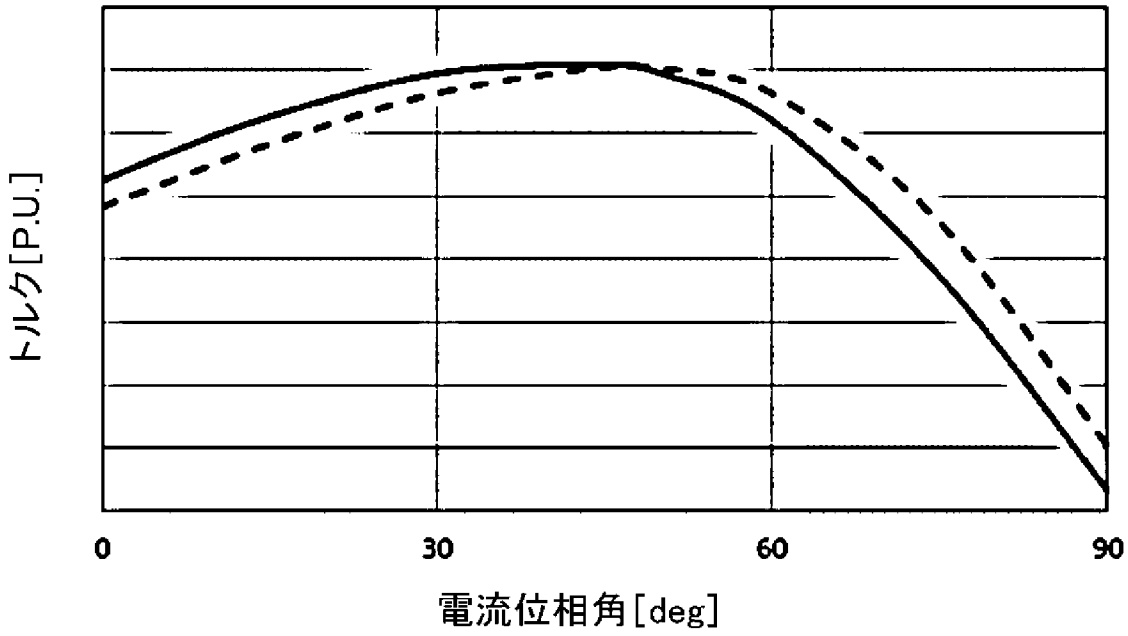
[図7]

図7



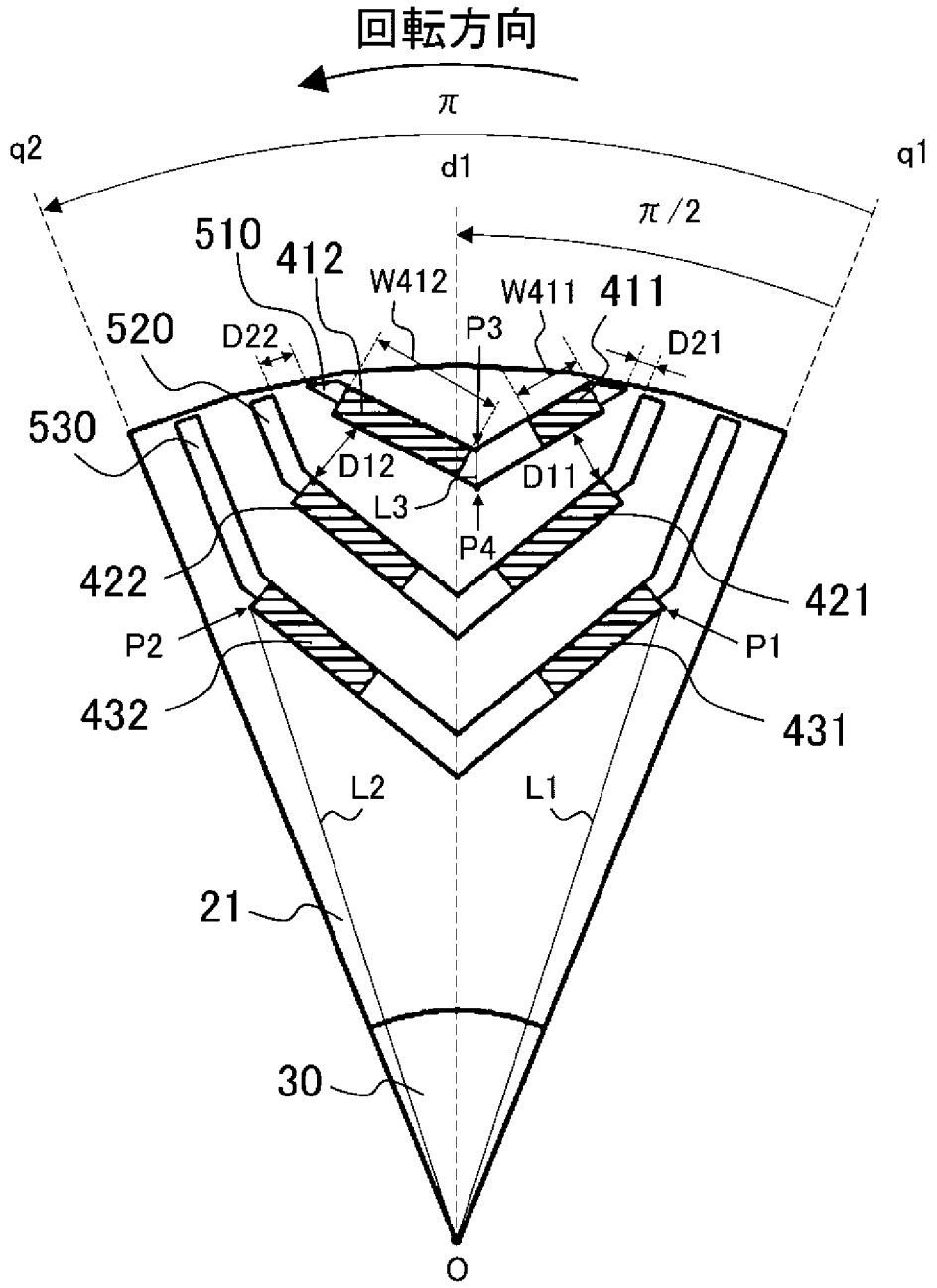
[図8]

図８



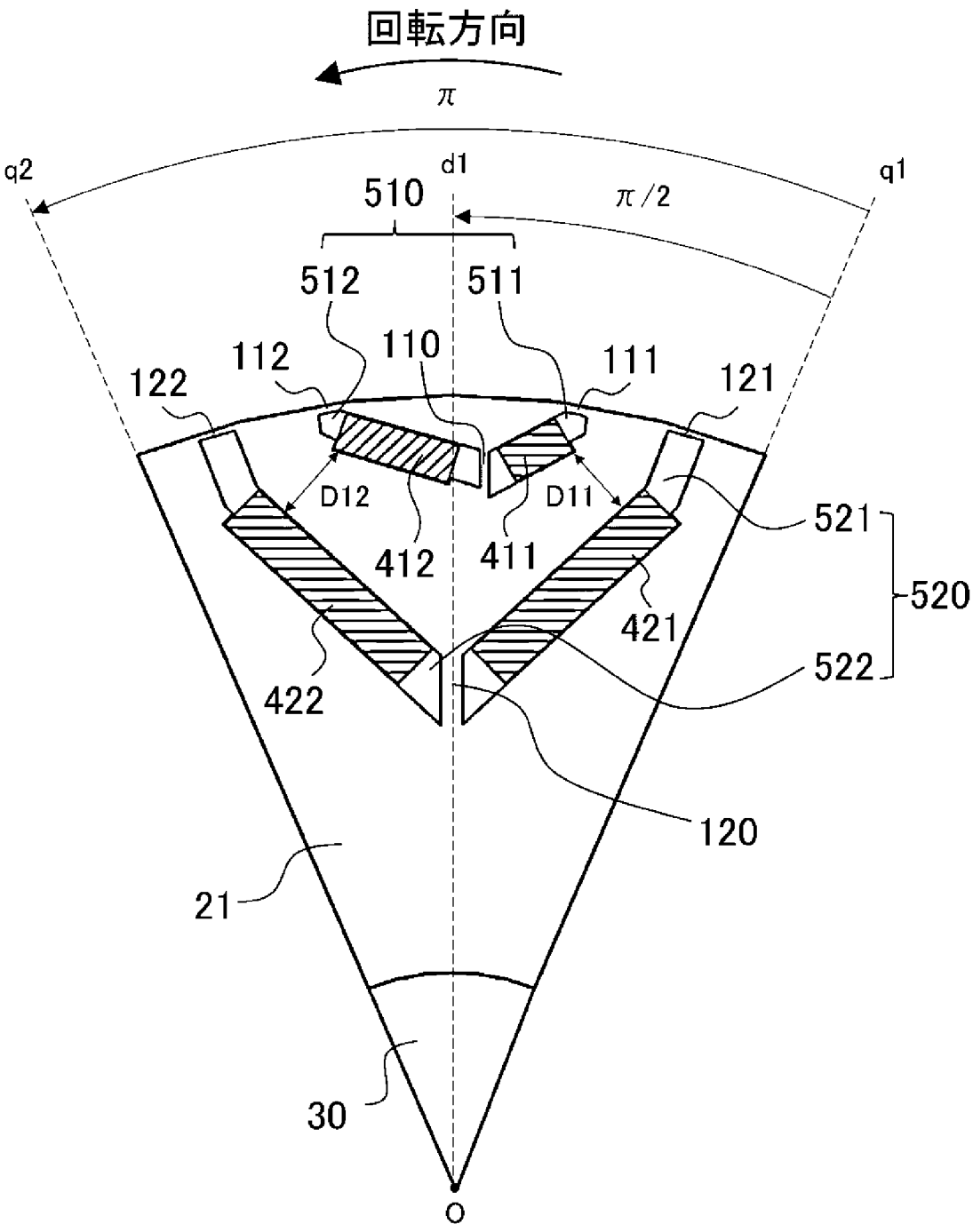
[図9]

図９


回転方向
π
q2
d1
q1
π/2
510
412
W412
W411
411
520
D22
P3
D21
530
D12
D11
L3
P4
422
421
P2
P1
432
431
L2
L1
21
30
O

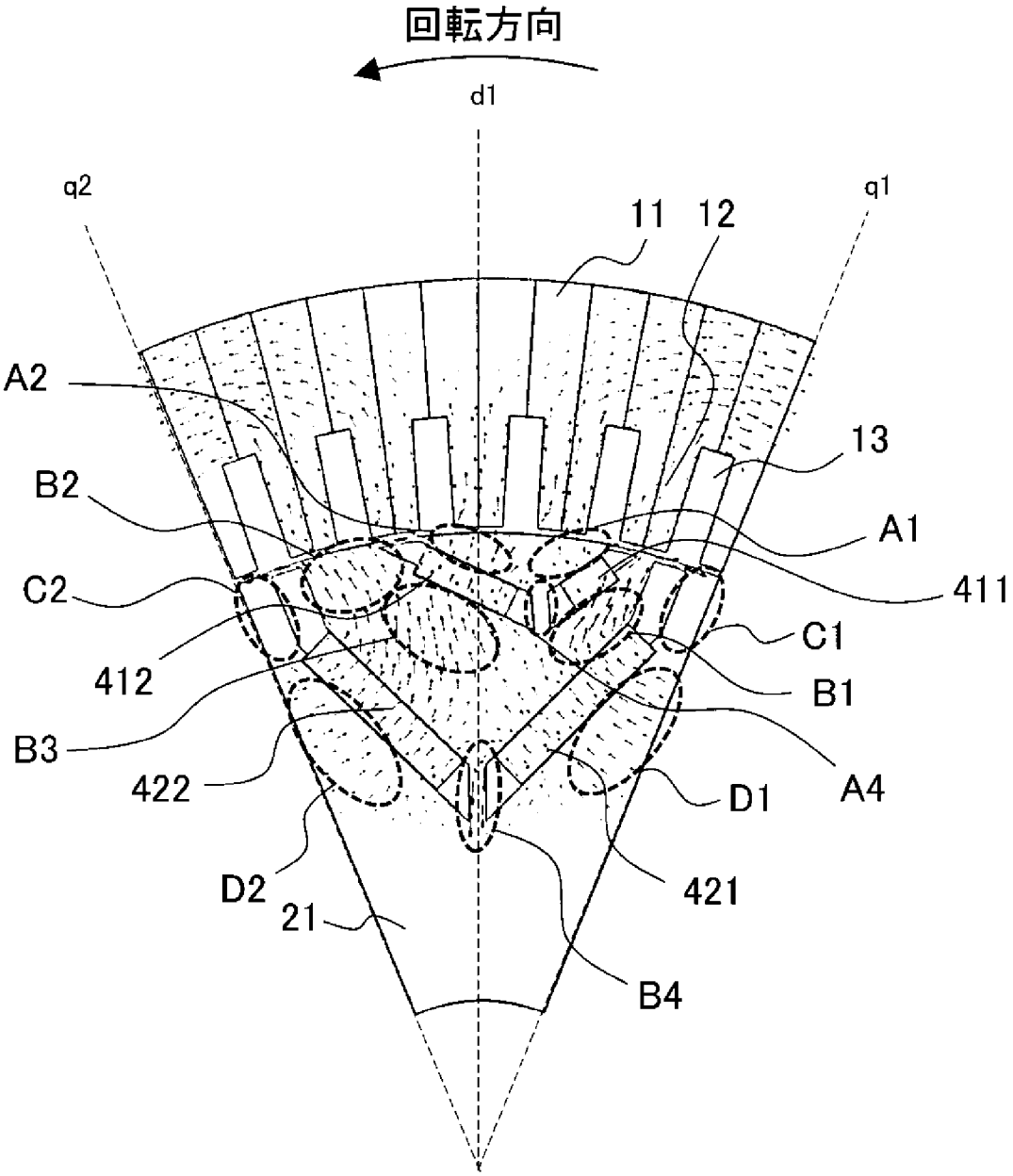
[図10]

図 10


回転方向
π
q2
d1
q1
510
π/2
512
511
112
110
111
122
121
D12
D11
521
520
412
411
421
522
422
120
21
30
O

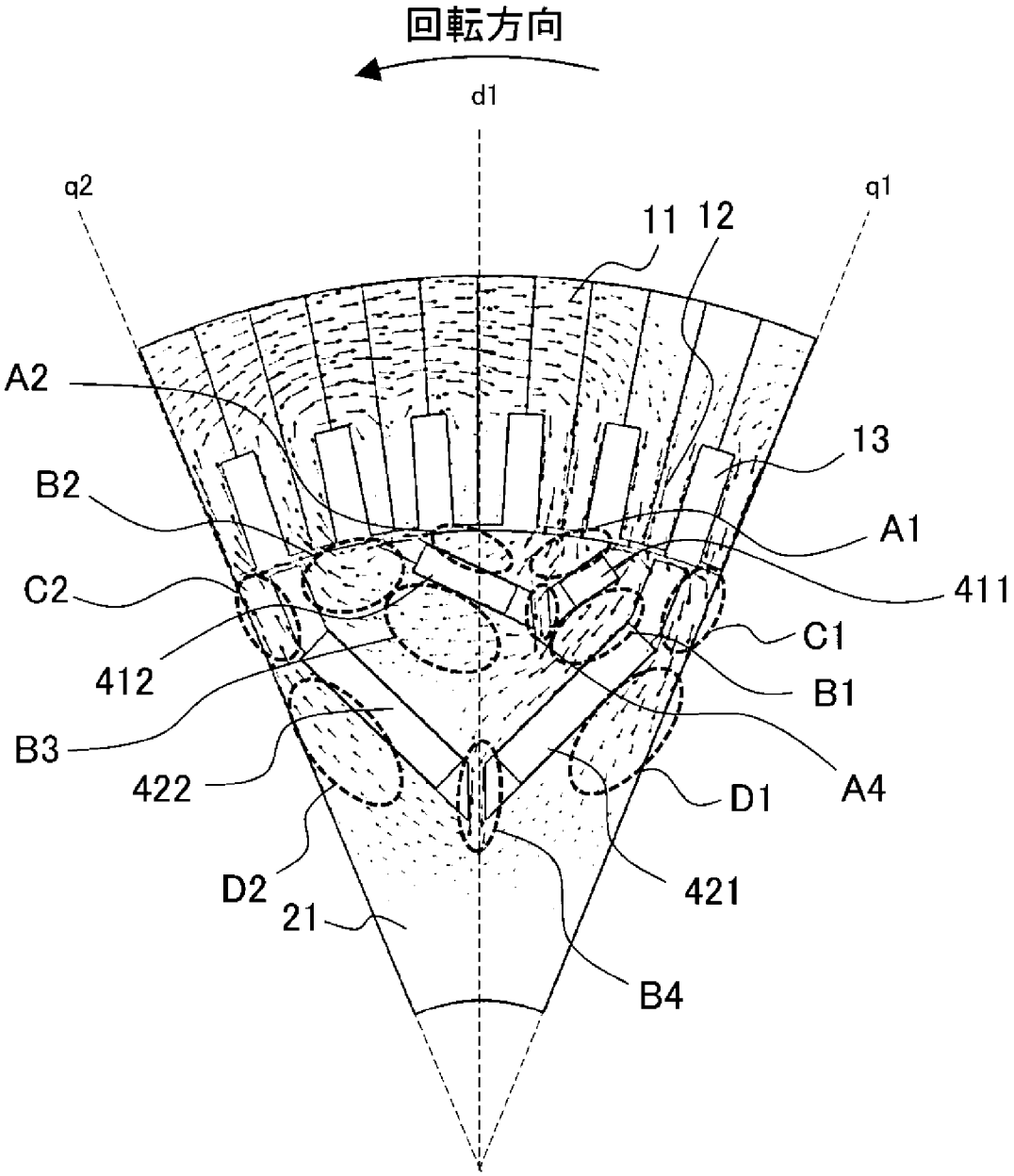
[図11]

図11


回転方向
d1
q2
q1
11
12
13
A2
B2
A1
411
C2
C1
412
B1
B3
A4
422
D1
421
D2
21
B4

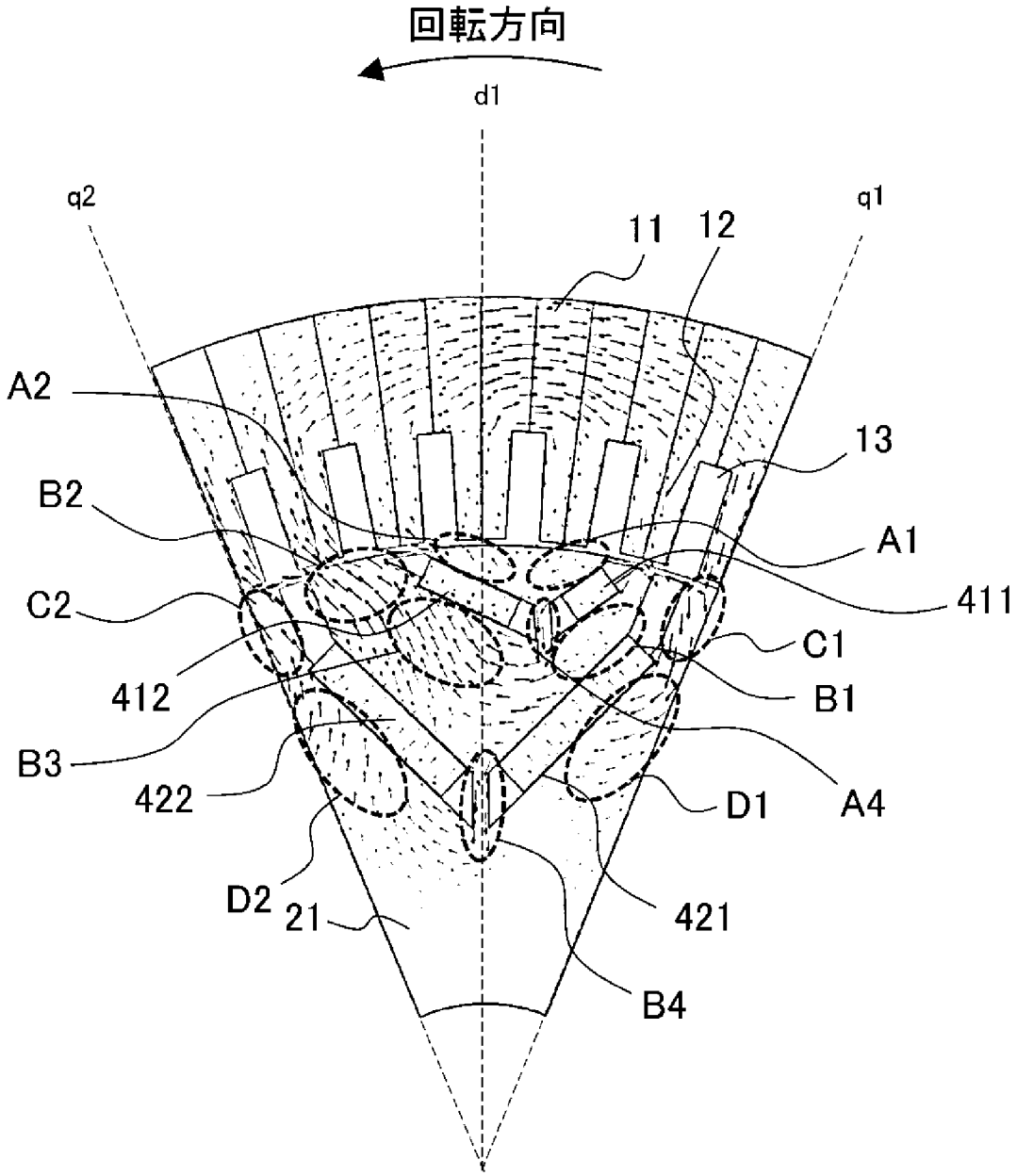
[図12]

図12


回転方向
d1
q2
q1
11
12
A2
13
B2
A1
411
C2
C1
412
B1
B3
A4
422
D1
D2
421
21
B4

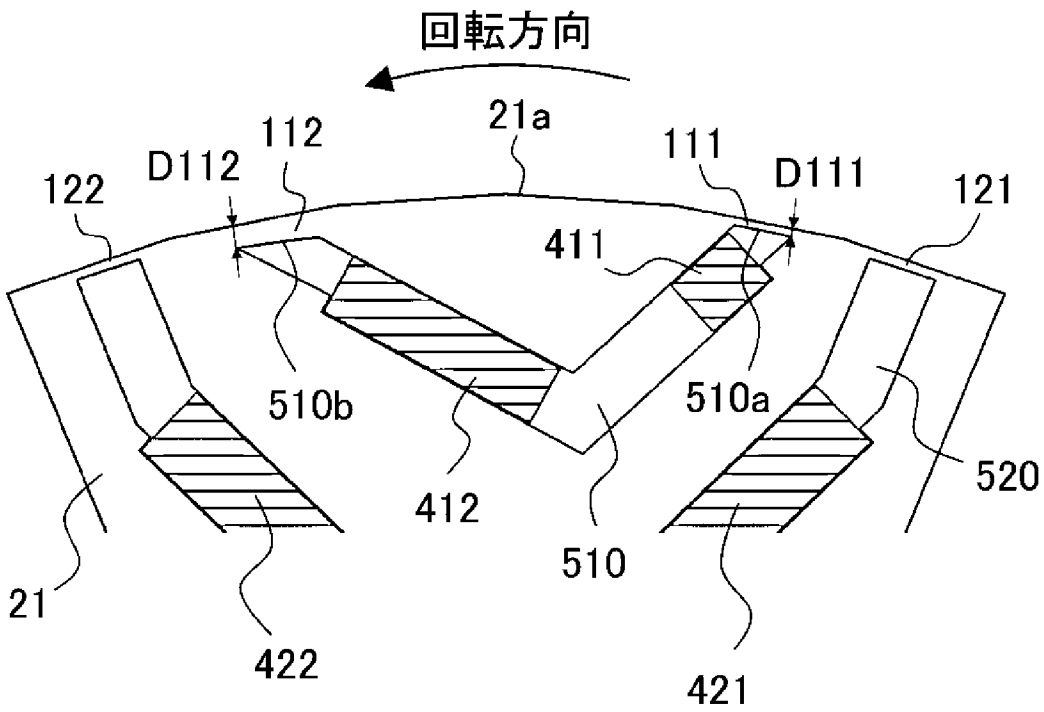
[図13]

図13


回転方向
d1
q2
q1
11
12
A2
13
B2
A1
411
C2
C1
412
B1
B3
A4
422
D1
D2
21
421
B4

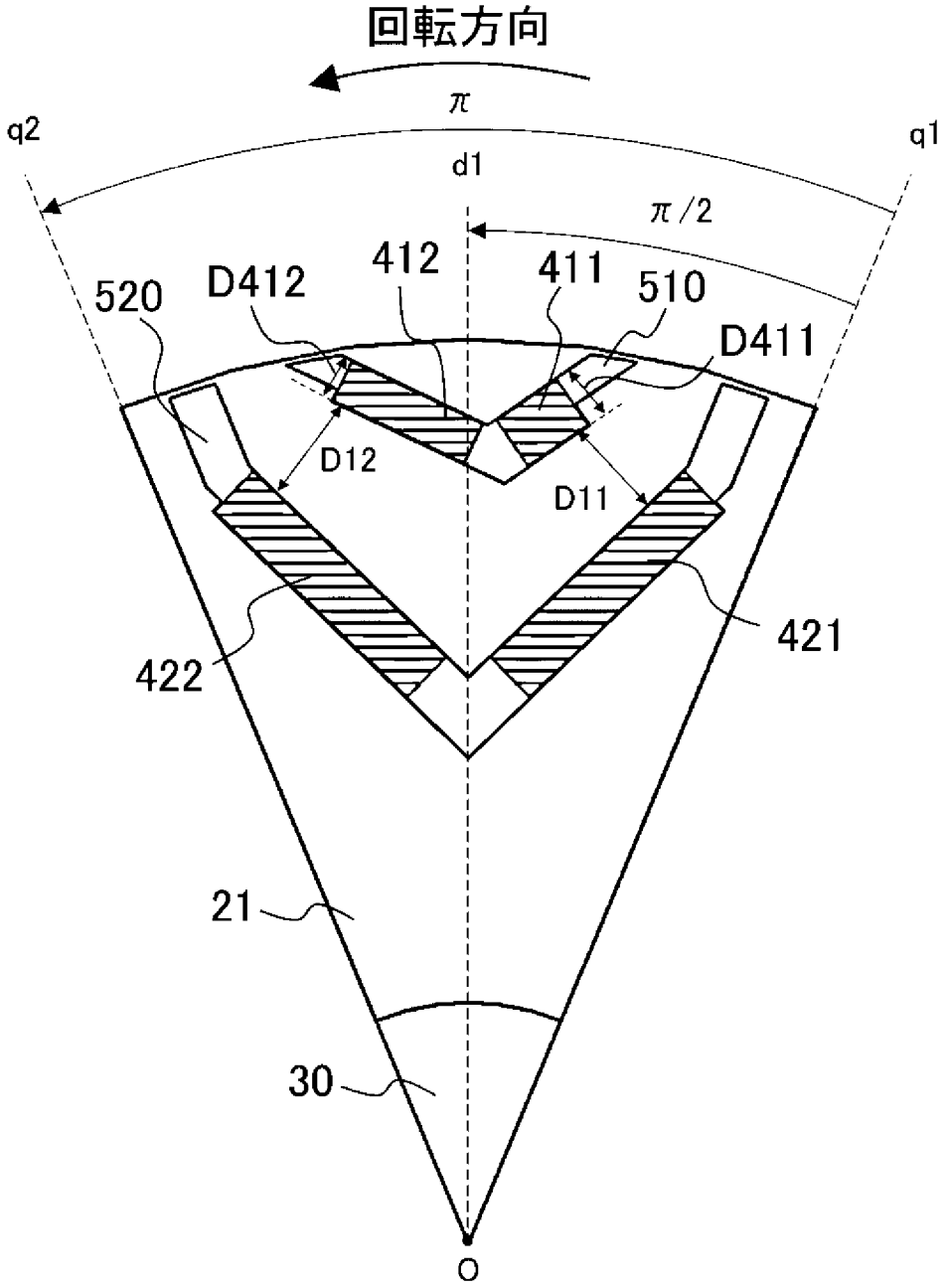
[図14]

図 14


回転方向
21a
112
D112
122
111
D111
121
411
510b
510a
520
412
510
21
422
421

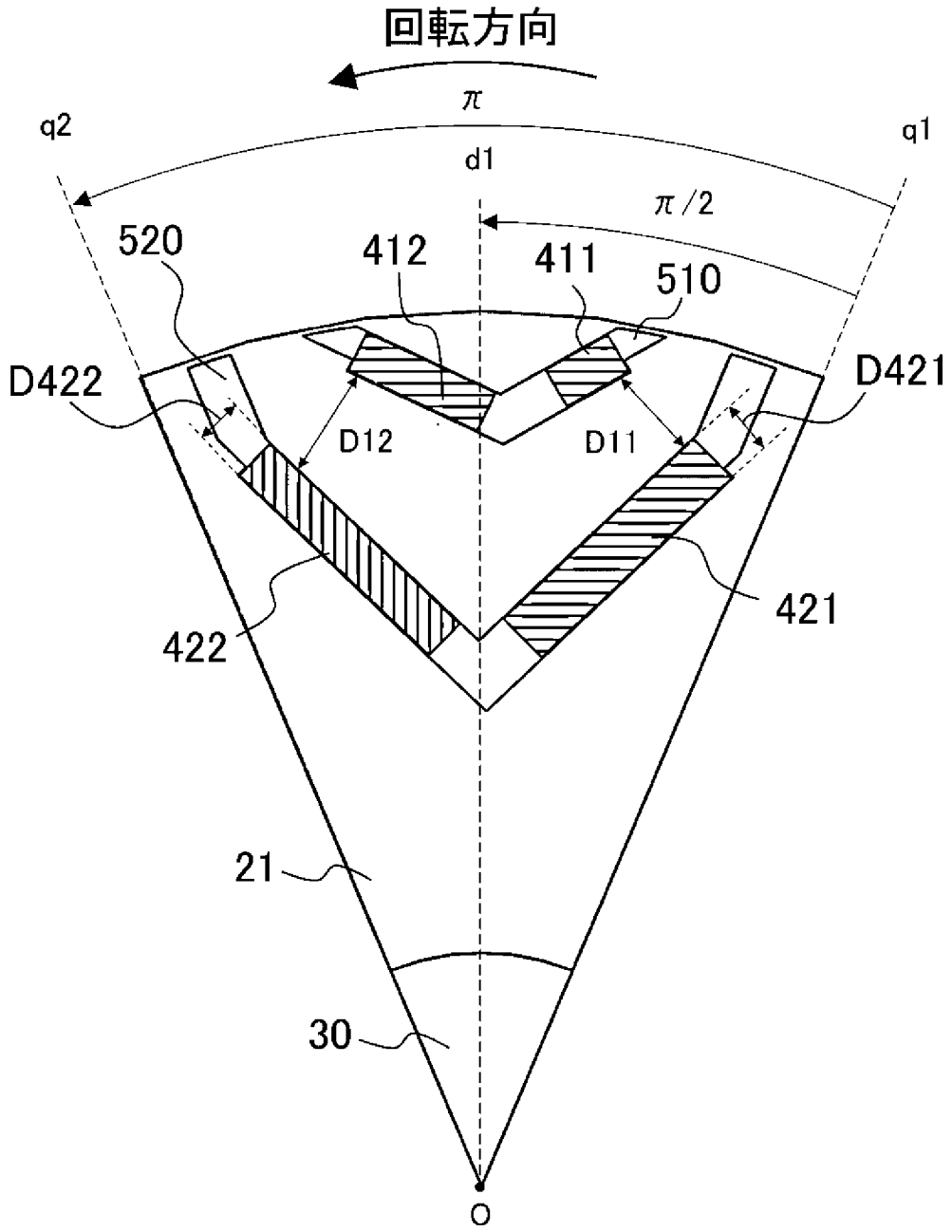
[図15]

図 15


回転方向
π
q2
q1
d1
π /2
520
D412
412
411
510
D411
D12
D11
422
421
21
30
O

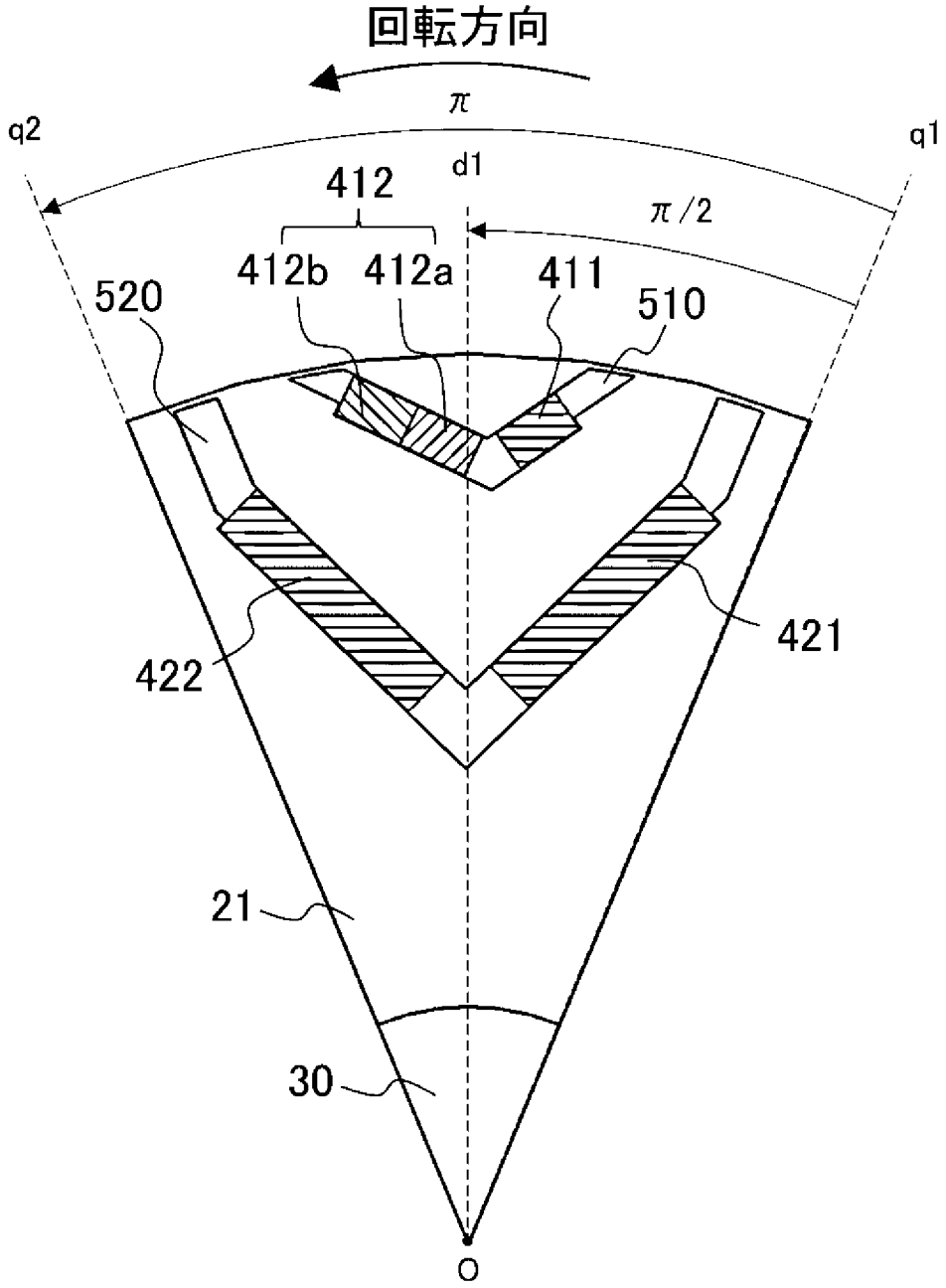
[図16]

図 16


回転方向
π
q2
q1
d1
π /2
520
412
411
510
D422
D421
D12
D11
422
421
21
30
O

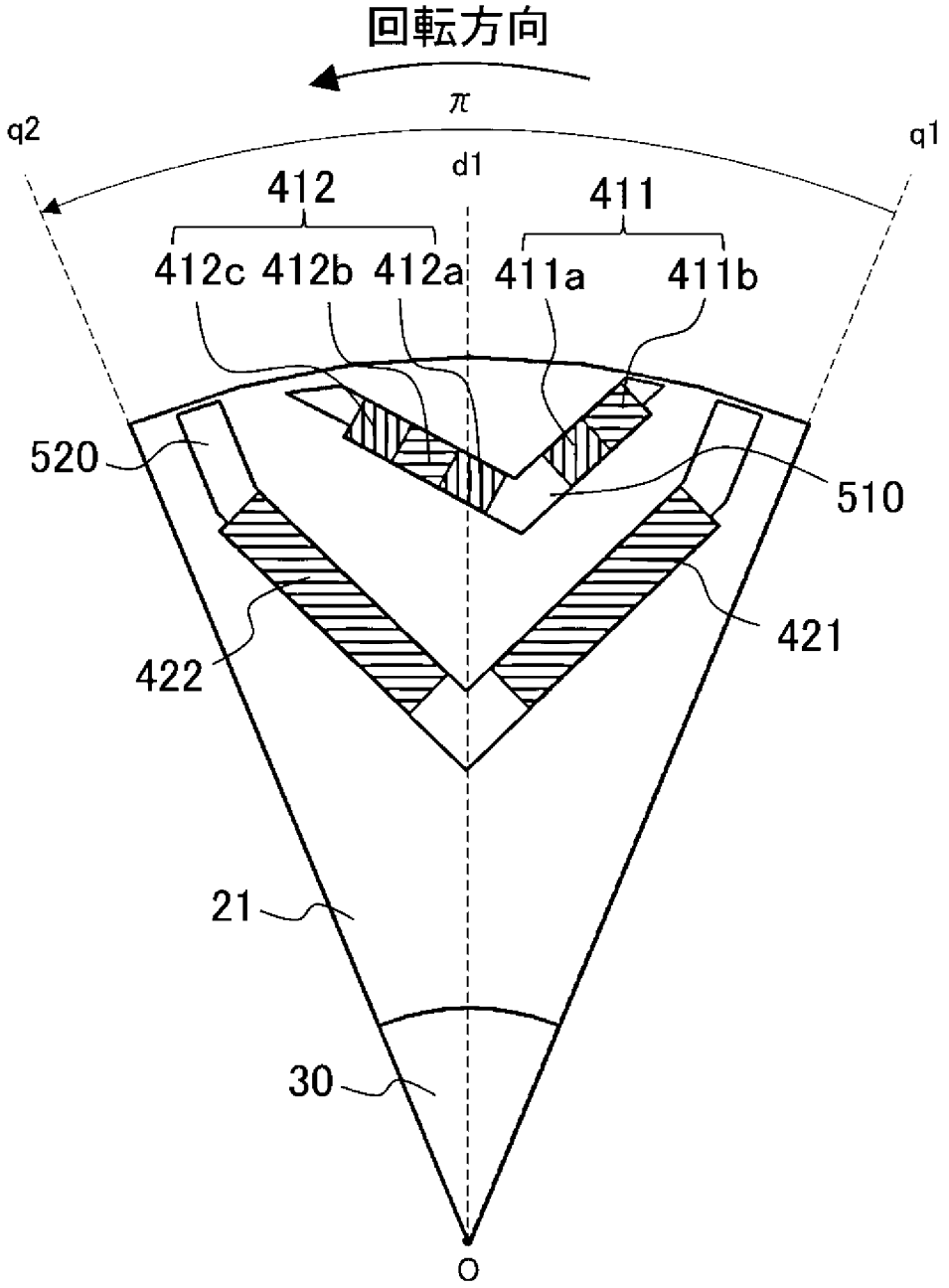
[図17]

図 17



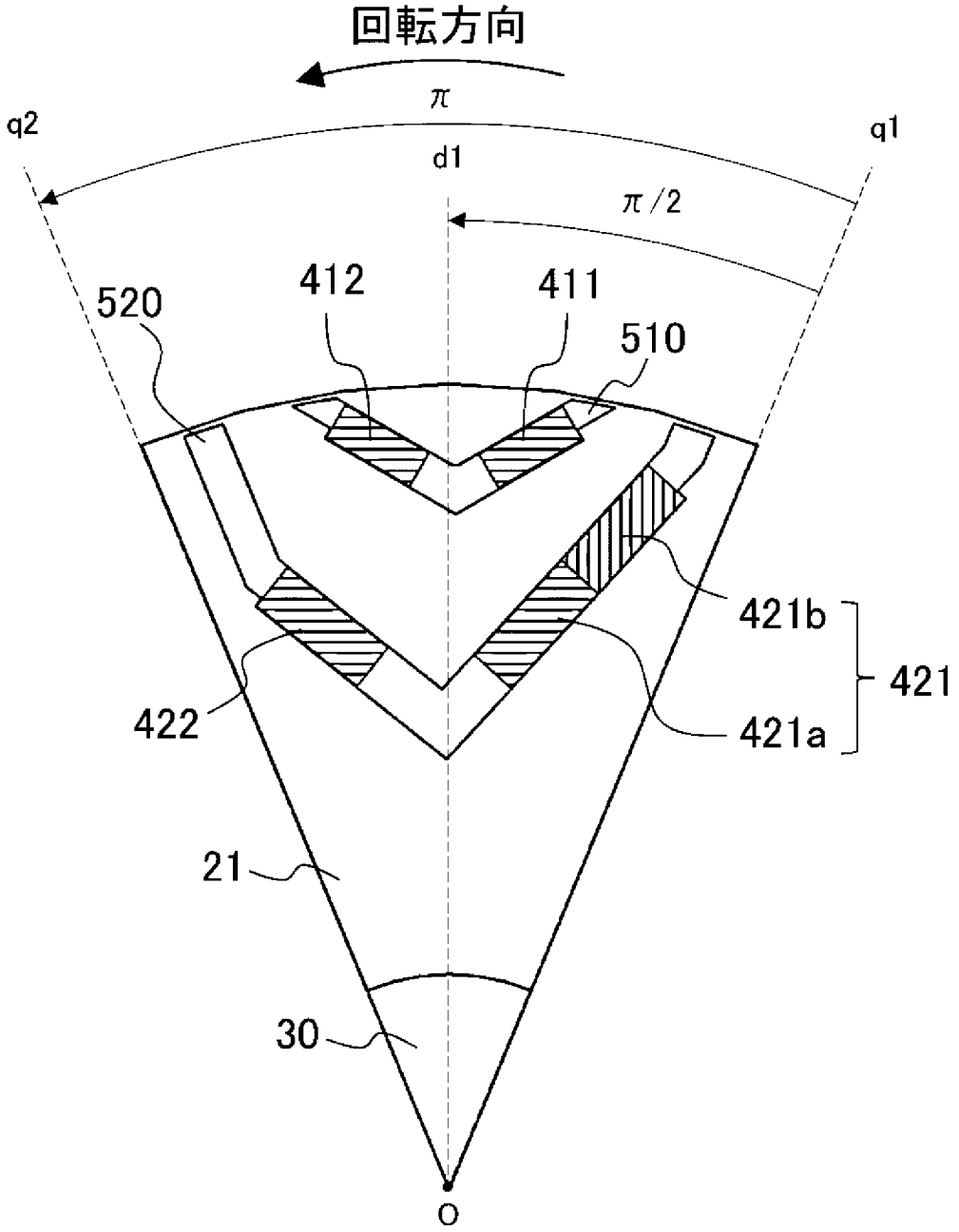
[図18]

図 18


回転方向
π
q2
q1
d1
412
411
412c
412b
412a
411a
411b
520
510
422
421
21
30
O

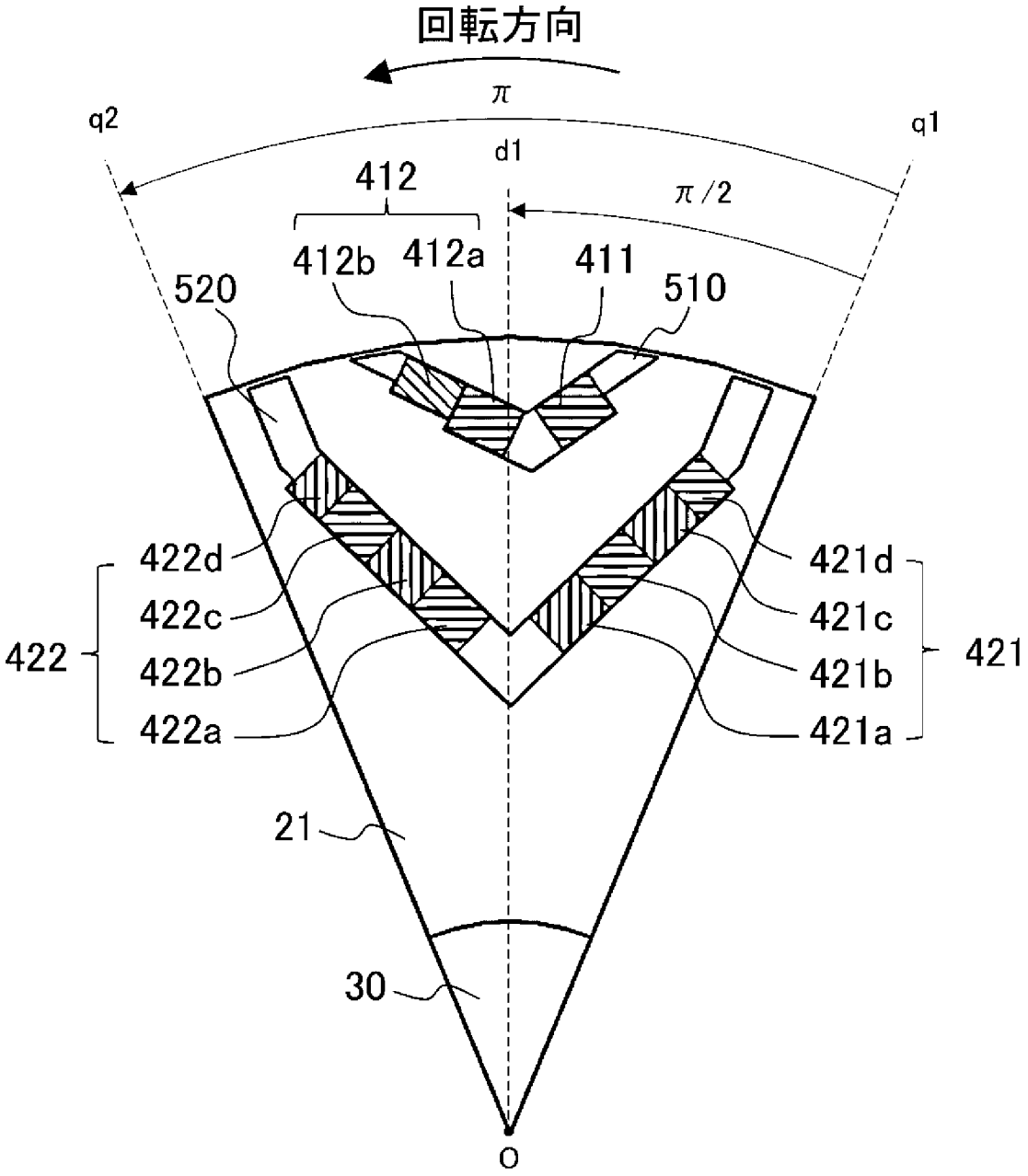
[図19]

図 19



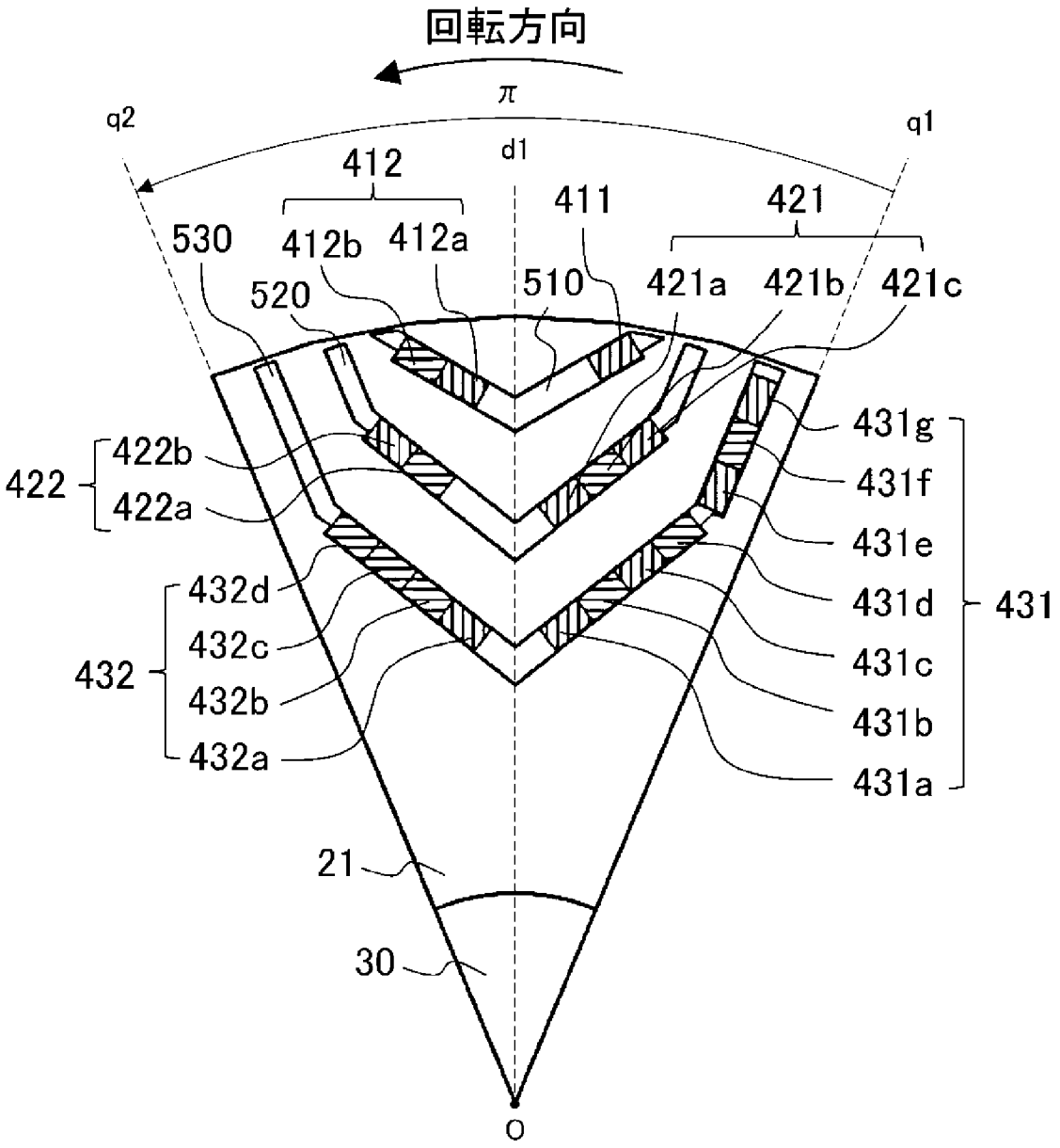
[図20]

図 20


回転方向
π
q2
q1
d1
412
π/2
412b
412a
411
520
510
422d
422c
422b
422a
422
421d
421c
421b
421a
421
21
30
O

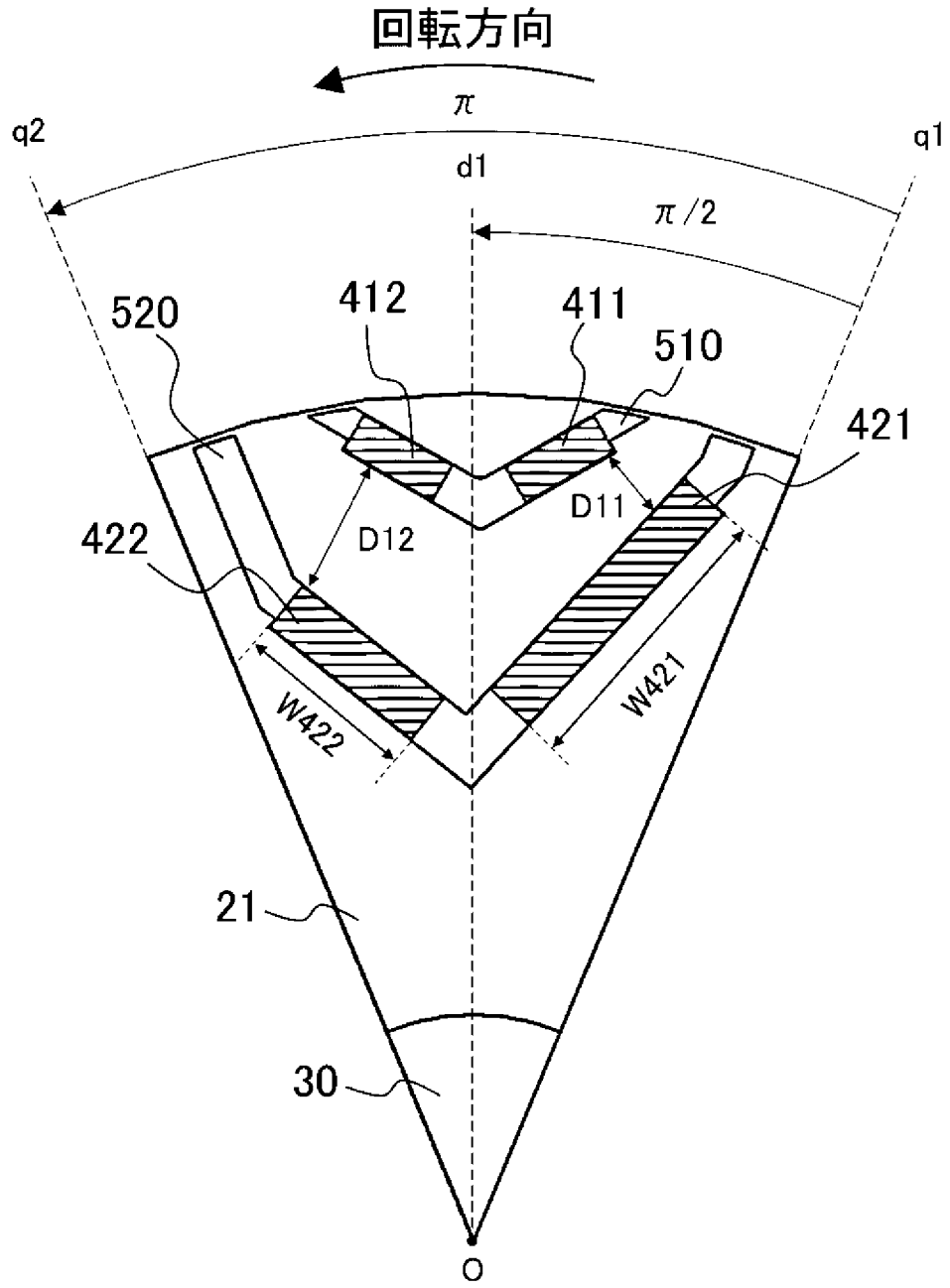
[図21]

図21


回転方向
π
q2
q1
d1
412
411
421
530
412b
412a
520
510
421a
421b
421c
422
422b
422a
431g
431f
431e
431d
431
431c
431b
431a
432
432d
432c
432b
432a
21
30
O

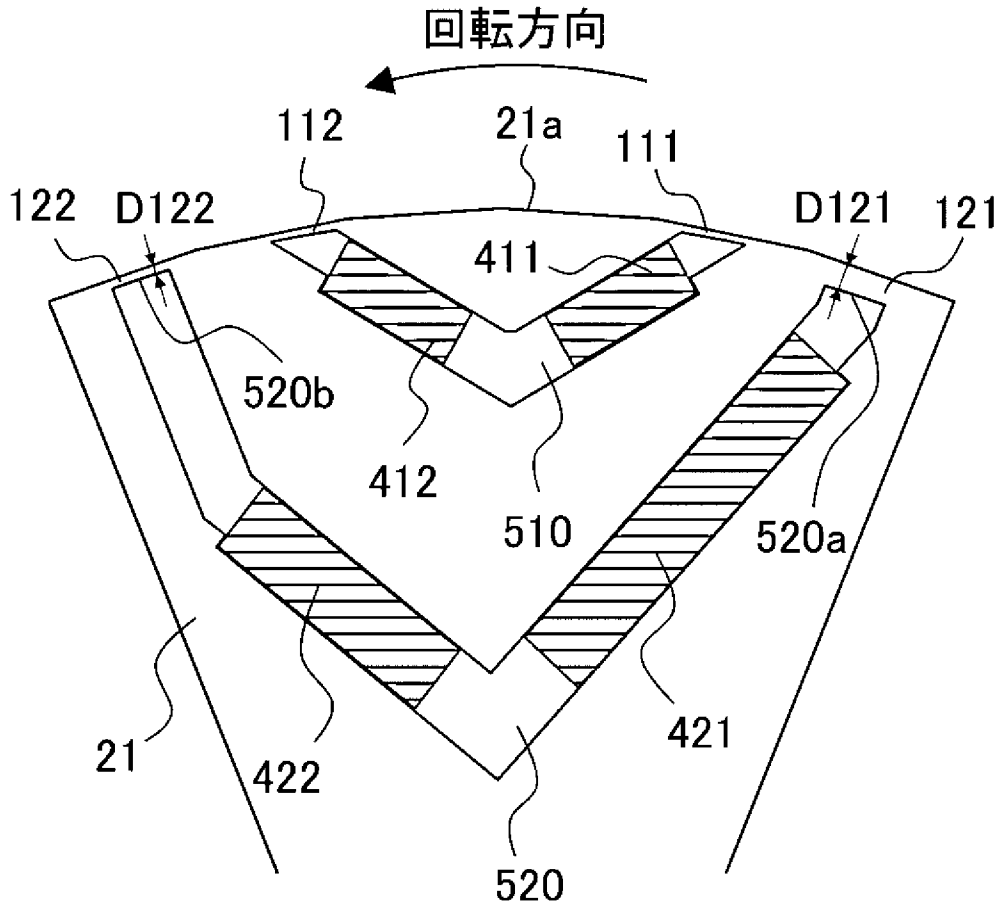
[図22]

図 22


回転方向
π
q2
q1
d1
π /2
520
412
411
510
421
422
D12
D11
W422
W421
21
30
O

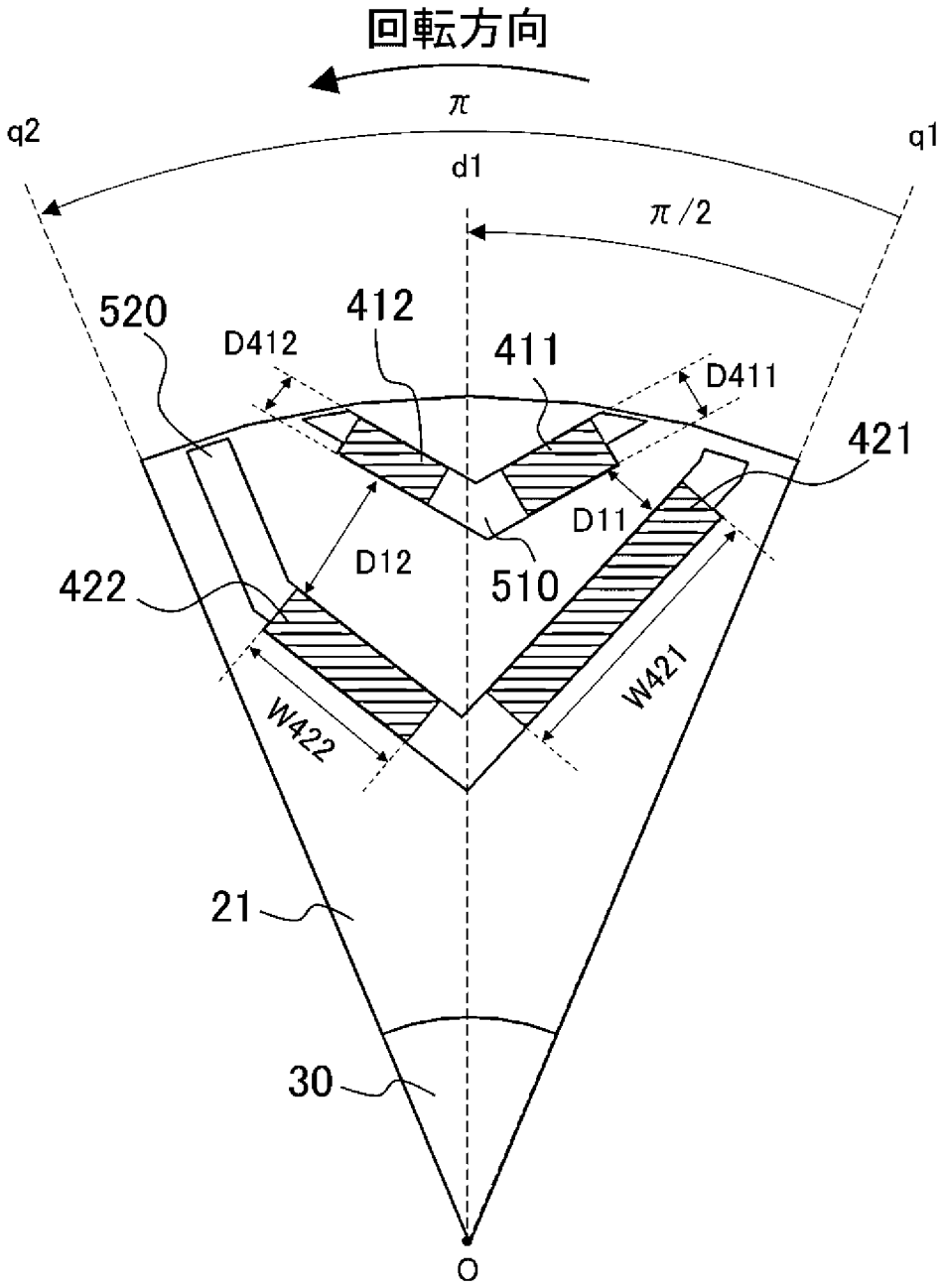
[図23]

図 23


回転方向
112
21a
111
122
D122
D121
121
411
520b
412
510
520a
21
422
421
520

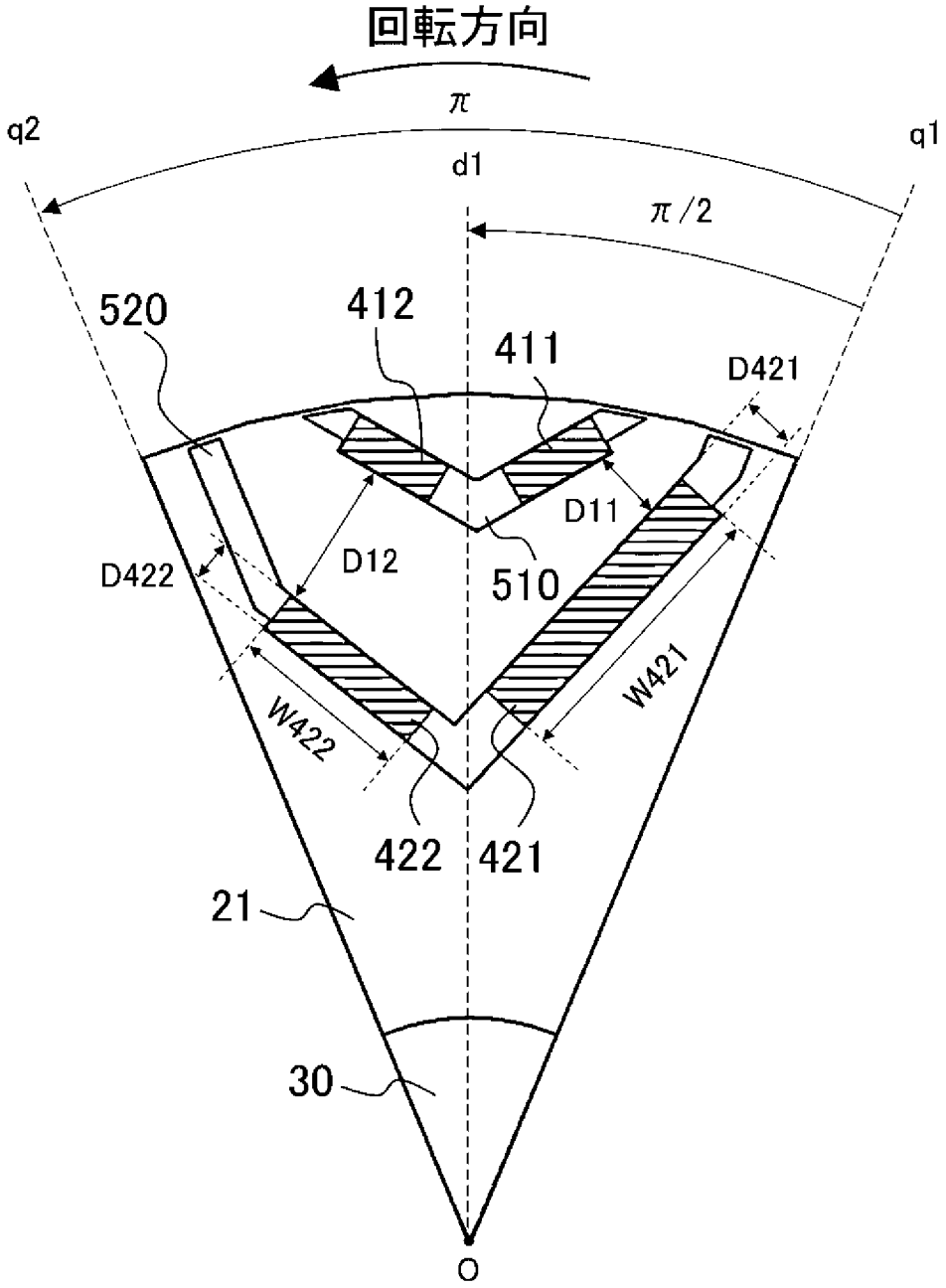
[図24]

図 24


回転方向
π
q2
q1
d1
π /2
520
412
411
D412
D411
421
D11
D12
422
510
W422
W421
21
30
O

[図25]

図 25


回転方向
π
q2
q1
d1
π /2
520
412
411
D421
D11
D422
D12
510
W422
W421
422
421
21
30
O

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2024/027651

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02K 1/276(2022.01)i
FI: H02K1/276

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)

H02K1/276

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 1971-2024
Registered utility model specifications of Japan 1996-2024
Published registered utility model applications of Japan 1994-2024

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.
Y	JP 2021-97550 A (KABUSHIKI KAISHA MEIDENSHA) 24 June 2021 (2021-06-24) paragraphs [0014]-[0018], [0022]-[0027], fig. 1-2	1-3, 5-7
A		4
Y	JP 2008-236890 A (YASKAWA ELECTRIC MFG. CO., LTD.) 02 October 2008 (2008-10-02) paragraphs [0013]-[0015], [0017], fig. 1-4	1-3, 5-7
A		4
Y	JP 2006-223052 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 24 August 2006 (2006-08-24) paragraphs [0015]-[0018], [0022], fig. 1, 5	1-3, 5-7
A		4

☑ 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
"D" document cited by the applicant in the international application
"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
07 October 2024	**22 October 2024**

Name and mailing address of the ISA/JP	Authorized officer
Japan Patent Office (ISA/JP) **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 8-336246 A (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) 17 December 1996 (1996-12-17) paragraphs [0019]-[0024], fig. 1	1-3, 5-7
A		4
Y	WO 2014/115655 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 31 July 2014 (2014-07-31) paragraphs [0026]-[0027]	2-3, 5-7
A		4
Y	JP 2006-101695 A (HITACHI, LTD.) 13 April 2006 (2006-04-13) paragraph [0077]	2-3, 5-7
A		4
Y	JP 2020-137139 A (TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA) 31 August 2020 (2020-08-31) paragraphs [0022]-[0025], [0027], [0029]-[0030], fig. 1-3	3, 5-7
A		4
Y	JP 2013-106370 A (SHIN-ETSU CHEMICAL CO., LTD.) 30 May 2013 (2013-05-30) paragraphs [0017]-[0018], fig. 1-2	3, 5-7
A		4
Y	JP 2012-80713 A (HITACHI, LTD.) 19 April 2012 (2012-04-19) paragraphs [0020]-[0022], [0055]-[0056], fig. 12	5-7
A		4
Y	JP 11-98721 A (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) 09 April 1999 (1999-04-09) paragraphs [0033]-[0036], fig. 5	6-7
A		4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2024/027651

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2021-97550 A	24 June 2021	(Family: none)	
JP 2008-236890 A	02 October 2008	US 2008/0231135 A1 paragraphs [0067]-[0078], [0081]-[0084], fig. 1-4 US 2011/0266910 A1 US 2012/0256508 A1 EP 1973217 A2 KR 10-2008-0085772 A CN 101272066 A KR 10-2010-0057765 A TW 200840180 A CN 102751799 A	
JP 2006-223052 A	24 August 2006	(Family: none)	
JP 8-336246 A	17 December 1996	US 5945760 A column 8, line 49 to column 9, line 41, fig. 19 EP 746079 A2 DE 69629419 T2 CN 1149778 A CN 1505239 A MY 155225 A	
WO 2014/115655 A1	31 July 2014	US 2015/0357870 A1 paragraphs [0048]-[0049] DE 112014000526 B4 CN 104937817 A	
JP 2006-101695 A	13 April 2006	(Family: none)	
JP 2020-137139 A	31 August 2020	US 2020/0259377 A1 paragraphs [0030]-[0033], [0035], [0037]-[0038], fig. 1-3 DE 102020201580 A1 CN 111555490 A	
JP 2013-106370 A	30 May 2013	US 2013/0119805 A1 paragraphs [0033]-[0034], fig. 1-2 EP 2592720 A2 CN 103107618 A KR 10-2013-0051895 A	
JP 2012-80713 A	19 April 2012	CN 102447364 A	
JP 11-98721 A	09 April 1999	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2024/027651

A.　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

H02K 1/276(2022.01)i
FI: H02K1/276

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））

H02K1/276

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	１９７１－２０２４年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２４年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２４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
Y	JP 2021-97550 A (株式会社明電舎) 24.06.2021 (2021-06-24) 段落0014-0018,0022-0027,図1-2	1-3,5-7
A		4
Y	JP 2008-236890 A (株式会社安川電機) 02.10.2008 (2008-10-02) 段落0013-0015,0017,図1-4	1-3,5-7
A		4
Y	JP 2006-223052 A (三菱電機株式会社) 24.08.2006 (2006-08-24) 段落0015-0018,0022,図1,5	1-3,5-7
A		4
Y	JP 8-336246 A (松下電器産業株式会社) 17.12.1996 (1996-12-17) 段落0019-0024,図1	1-3,5-7
A		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
“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献
“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抵触するものではなく、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
07.10.2024	22.10.2024

名称及びあて先

日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）

三島木　英宏 3V 2445

電話番号 03-3581-1101 内線 3356

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
Y	WO 2014/115655 A1 (三菱電機株式会社) 31.07.2014 (2014-07-31) 段落0026-0027	2-3,5-7
A		4
Y	JP 2006-101695 A (株式会社日立製作所) 13.04.2006 (2006-04-13) 段落0077	2-3,5-7
A		4
Y	JP 2020-137139 A (トヨタ自動車株式会社) 31.08.2020 (2020-08-31) 段落0022-0025,0027,0029-0030,図1-3	3,5-7
A		4
Y	JP 2013-106370 A (信越化学工業株式会社) 30.05.2013 (2013-05-30) 段落0017-0018,図1-2	3,5-7
A		4
Y	JP 2012-80713 A (株式会社日立製作所) 19.04.2012 (2012-04-19) 段落0020-0022,0055-0056,図12	5-7
A		4
Y	JP 11-98721 A (株式会社東芝) 09.04.1999 (1999-04-09) 段落0033-0036,図5	6-7
A		4

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2024/027651

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2021-97550 A	24.06.2021	（ファミリーなし）	
JP 2008-236890 A	02.10.2008	US 2008/0231135 A1 段落0067-0078,0081-0084, 図1-4 US 2011/0266910 A1 US 2012/0256508 A1 EP 1973217 A2 KR 10-2008-0085772 A CN 101272066 A KR 10-2010-0057765 A TW 200840180 A CN 102751799 A	
JP 2006-223052 A	24.08.2006	（ファミリーなし）	
JP 8-336246 A	17.12.1996	US 5945760 A 第8欄第49行-第9欄第41行, 図19 EP 746079 A2 DE 69629419 T2 CN 1149778 A CN 1505239 A MY 155225 A	
WO 2014/115655 A1	31.07.2014	US 2015/0357870 A1 段落0048-0049 DE 112014000526 B4 CN 104937817 A	
JP 2006-101695 A	13.04.2006	（ファミリーなし）	
JP 2020-137139 A	31.08.2020	US 2020/0259377 A1 段落0030-0033,0035, 0037-0038,図1-3 DE 102020201580 A1 CN 111555490 A	
JP 2013-106370 A	30.05.2013	US 2013/0119805 A1 段落0033-0034,図1-2 EP 2592720 A2 CN 103107618 A KR 10-2013-0051895 A	
JP 2012-80713 A	19.04.2012	CN 102447364 A	
JP 11-98721 A	09.04.1999	（ファミリーなし）	