

(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
2024年8月15日(15.08.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/166151 A1

(51) 国際特許分類:
H02K 1/276 (2022.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2023/003717

(22) 国際出願日: 2023年2月6日(06.02.2023)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(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 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 石川 淳史 (ISHIKAWA, Atsushi); 〒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 Tokyo (JP). 松岡 篤 (MATSUOKA, Atsushi); 〒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

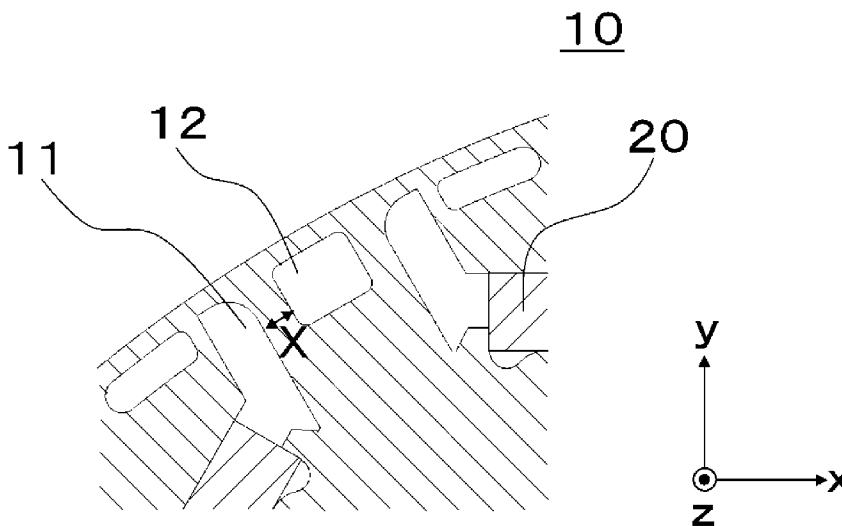
社内 Tokyo (JP). 馬場 和彦(BABA, Kazuhiko); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 倉谷 泰孝, 外(KURATANI, Yasutaka et al.); 〒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 知的財産センター内 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, 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, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,

(54) Title: ROTOR, ELECTRIC MOTOR, COMPRESSOR, AND REFRIGERATION CYCLE DEVICE

(54) 発明の名称: 回転子、電動機、圧縮機、および冷凍サイクル装置



(57) Abstract: The present invention provides a rotor capable of improving reluctance torque without increasing the quantity of the main members of an electric motor, i.e. electromagnetic steel plates, permanent magnets, and coils, and also capable of increasing the efficiency of the electric motor without reducing the productivity of a rotor core. The rotor is formed from a rotor core and permanent magnets, wherein the rotor core is configured by axially laminating electromagnetic steel plates having a plate thickness of t , has multiple magnet insertion holes, has one or more inter-polar holes disposed between magnetic poles, and is configured so as to satisfy $t \leq X$, where X represents a circumferential minimum distance between the magnet insertion hole and the inter-polar hole(s), and t represents a plate thickness of the electromagnetic steel plate.



PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,
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: 電動機の主要部材である電磁鋼板、永久磁石、巻線の使用量を増加させずにリラクタンストルクを向上させ、また回転子鉄心の生産性を低下させることなく、電動機の高効率化を達成することができる回転子を得る。回転子は、回転子鉄心と永久磁石で構成されており、前記回転子鉄心は板厚 t の電磁鋼板を軸方向に積層して構成され、複数の磁石挿入孔を備え、磁極同士の間には1以上の極間孔を備え、磁石挿入孔と極間孔との周方向の最小距離を X とし、電磁鋼板の板厚を t とした場合、 $t \leq X$ を満足するように構成したものである。

明 細 書

発明の名称： 回転子、電動機、圧縮機、および冷凍サイクル装置
技術分野

[0001] 本発明は、回転子、電動機、圧縮機、および冷凍サイクル装置に関するものである。

背景技術

[0002] 近年、省エネルギー基準の達成に向けて競争の著しい電気自動車や空調機において、製品の消費電力削減のため、電動機の高効率化が強く要求されている。

[0003] 電動機の高効率化のためには、永久磁石の使用量を増やして磁力を増加させ、巻線に発生する銅損を低減することが考えられる。しかし、電動機の主要構成要素である電磁鋼板、永久磁石および巻線の資源確保のリスクが高いため、電動機を構成する素材の使用量増加を招くことは望ましくない。

[0004] そのため、電動機の主要部材である電磁鋼板、永久磁石、巻線の使用量を増加させずに、高効率化を達成することが求められている。

[0005] 上記を達成するための手段として、固定子と永久磁石の相互作用によって発生するマグネットトルクだけでなく、固定子と回転子の相互作用によって発生するリラクタンストルクを活用することが考えられる。リラクタンストルクを活用することによって電動機に発生するトルクを高めることが可能となり、巻線に発生する銅損を低減し、電動機の効率を向上させることができる。

[0006] 電動機のリラクタンストルクを有効的に活用するための方法としては、磁極同士の間（以下：「極間」）に孔（以下：「極間孔」）を設ける構成が知られている（例えば、特許文献1）。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開2008-199846号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] しかしながら、電動機は固定子鉄心および回転子鉄心をプレス金型にて打抜き、打抜き孔を形成した後、それを軸方向に積層して構成されている。回転子鉄心に設けられる磁石挿入孔と極間孔の距離が短いと、打抜き加工のときに回転子鉄心の生産性を低下させる要因となる。

[0009] 本発明に係る回転子は、上記の課題を解決するためになされたものであり、電動機の主要部材である電磁鋼板、永久磁石、巻線の使用量を増加させずにリラクタンストルクを向上させ、また回転子鉄心の生産性を低下させることなく、電動機の高効率化を達成することができる回転子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

[0010] 上記の目的を達成するため、本発明に係る回転子は、回転子鉄心と永久磁石で構成されており、前記回転子鉄心は板厚 t の電磁鋼板を軸方向に積層して構成され、複数の磁石挿入孔を備え、磁極同士の間には 1 以上の極間孔を備え、磁石挿入孔と極間孔との周方向の最小距離を X とし、電磁鋼板の板厚を t とした場合、 $t \leq X$ を満足するように構成したものである。

発明の効果

[0011] 本発明に係る回転子は、磁石挿入孔と極間孔の径方向の最小距離 X を電磁鋼板の板厚 t 以上設けた構成とすることで、打抜き加工のときに生産性を低下させることなく、リラクタンストルクを向上させることができるので、電動機を高効率化することができる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]実施の形態 1 に係る回転子の軸方向断面図である。

[図2]実施の形態 1 に係る回転子の径方向断面図である。

[図3]実施の形態 1 に係る回転子の 1 の極間孔を示す軸方向断面図である。

[図4]実施の形態 1 に係る回転子の 2 の極間孔を示す軸方向断面図である。

[図5]実施の形態 1 に係る電動機の軸方向断面図である。

[図6]実施の形態 1 と比較例 1 と比較例 2 とにおける回転子の極間孔を示す比較図である。

[図7]実施の形態 1 における電動機の鉄損の数値解析データである。

[図8]比較例 1 における電動機の第 1 の磁路と第 2 の磁路との比較図である。

[図9]比較例 1 と比較例 2 とにおける電動機の第 1 の磁路の比較図である。

[図10]比較例 1 と比較例 2 とにおける電動機の第 1 の磁路と第 2 の磁路との比較図である。

[図11]比較例 2 と実施の形態 1 とにおける電動機の第 1 の磁路と第 2 の磁路との比較図である。

[図12]比較例 1 と比較例 2 と実施の形態 1 とにおける合計損失のデータである。

[図13]各実施の形態の電動機が適用可能な圧縮機を示す図である。

[図14]各実施の形態の電動機が適用可能な圧縮機構部を示す図である。

[図15]各実施の形態の圧縮機を有する冷房運転時における冷凍サイクル装置を示す図である。

[図16]各実施の形態の圧縮機を有する暖房運転時における冷凍サイクル装置を示す図である。

[図17]実施の形態 2 に係る回転子の極間孔を示す軸方向断面図である。

[図18]実施の形態 3 に係る回転子の極間孔を示す軸方向断面図である。

[図19]実施の形態 4 に係る回転子の極間孔を示す軸方向断面図である。

[図20]実施の形態 5 に係る回転子の極間孔を示す軸方向断面図である。

[図21]実施の形態 6 に係る回転子の極間孔を示す軸方向断面図である。

[図22]実施の形態 7 に係る回転子の極間孔を示す軸方向断面図である。

[図23]実施の形態 8 に係る回転子の極間孔を示す軸方向断面図である。

[図24]実施の形態 9 に係る回転子の極間孔を示す軸方向断面図である。

[図25]実施の形態 10 に係る回転子の極間孔を示す軸方向断面図である。

発明を実施するための形態

[0013] 以下、図面を参照しながら本発明の実施の形態について説明する。以下の図面において同一または相当する部分には同一の参照番号を付し、その説明は繰り返さない。また、図 1 を含め以下の図面では、各構成部材の大きさの関係が実際のものと異なる場合がある。さらに、明細書全文に表されている構成要素の形態は、あくまで例示であって、これらの記載に限定されるものではない。

[0014] 実施の形態 1.

以下に、本実施の形態 1 に係る回転子 1、固定子 2、電動機 3、圧縮機 4、および冷凍サイクル装置 5 を図面に基づいて詳細に説明する。

[0015] <回転子の構成>

図 1 は本実施の形態 1 に係る回転子 1 の断面図である。図 1 に示される回転子 1 は、円状の回転子鉄心 10 と複数の永久磁石 20 とにより構成される。

[0016] 以下の説明では、回転子 1 の回転中心である軸線 C 1 を中心とする円の円周に沿った方向を「周方向」、軸線 C 1 の方向を「軸方向」、軸方向に直交して回転子 1 を通る直線方向を「径方向」と称する。また、図面には、図面相互の理解を容易にするために、 x y z 直交座標系が示されている。 z 軸は、回転子 1 の軸線 C 1 に平行な座標軸である。 y 軸は、 z 軸に直交する座標軸である。 x 軸は、 y 軸および z 軸の両方に直交する座標軸である。図 1 のみならず、図 2 ～図 6、図 8 ～図 11 および図 17 ～図 25 においても方向の定義は共通する。

[0017] 図 2 は、径方向に直交する回転子 1 の断面図である。回転子鉄心 10 は、軸線 C 1 を中心とする円筒状であり、板厚 t の電磁鋼板を軸方向に複数枚積層し、図示しないカシメとリベットとにより締結して構成される。板厚 t は、例えば 0.1 ～ 0.7 [mm] である。

[0018] 図 1 に示すように、回転子鉄心 10 には軸方向に貫通された磁石挿入孔 11 と極間孔 12 とシャフト孔 13 とが設けられる。

[0019] 磁石挿入孔 11 は、 d 軸上に 1 以上設けられており、磁石挿入孔 11 には永久磁石 20 が挿入されて磁極を構成している。ここで d 軸とは、図 1 に示

すように回転子 1 の軸線 C 1 から永久磁石 2 0 が作る磁束の方向に延びる軸のことである。図 1 では 6 個の磁石挿入孔 1 1 が設けられているが、磁石挿入孔 1 1 は 6 個に限らず 2 個以上備えていればよい。

[0020] 極間孔 1 2 は、q 軸上に 1 以上設けられている。ここで q 軸とは、回転子 1 の軸線 C 1 を中心に d 軸から電気角 $90 [^\circ]$ ずれた位置にある軸のことである。電気角 $90 [^\circ]$ とは、極数 P の回転子 1 において、機械角 $180 / P [^\circ]$ に相当する。

[0021] シャフト孔 1 3 は、図示しないクランクシャフト 6 0 が挿入される孔である。クランクシャフト 6 0 の詳細は、＜圧縮機の構成＞にて説明する。

[0022] 永久磁石 2 0 は、ネオジウム (Nd) と鉄 (Fe) とホウ素 (B) とを主成分とする希土類磁石や、酸化鉄 (FeO) を主成分とするフェライト磁石が用いられる。希土類磁石もしくはフェライト磁石の何れかを備えていればよいが、永久磁石 2 0 の性能を表す指標の一つであるエネルギー積（磁束密度 B と磁界 H の積）は、フェライト磁石に対して希土類磁石が高い。従って、電動機 3 の効率を両者同等に確保するために、フェライト磁石に対して希土類磁石では永久磁石 2 0 の体積を縮小することができる。よって、本実施の形態 1 では希土類磁石を用いており、回転子鉄心 1 0 に極間孔 1 2 を設けるスペースを拡大できるため、極間孔 1 2 の設計自由度を向上させることができる。

[0023] 永久磁石 2 0 は回転子鉄心 1 0 の周方向に一定間隔で配置される。図 1 では 1 個の磁石挿入孔 1 1 につき 1 個の永久磁石 2 0 を備えているが、1 個の磁石挿入孔 1 1 につき 2 個以上の永久磁石 2 0 を備えていてもよい。

[0024] ＜X と t の関係性 ($t \leq X$)＞

図 3 は、極間孔 1 2 の断面図の拡大図である。磁石挿入孔 1 1 と極間孔 1 2 との周方向の最小距離を X とし、電磁鋼板の板厚を t とした場合、 $t \leq X$ を満足する。

[0025] 回転子鉄心 1 0 は、電磁鋼板をプレス金型にて打抜き、打抜き孔を形成した後、それを軸方向に積層して構成されている。回転子鉄心 1 0 に設けられ

る磁石挿入孔 11 と極間孔 12 の距離が短いと、磁石挿入孔 11 と極間孔 12 との間に位置する回転子鉄心 10 が打抜き加工のときに変形しやすくなる。この変形によって回転子鉄心 10 に磁束が通り難くなるため、電動機効率の悪化を招く。回転子鉄心 10 の変形を抑制するために、例えばプレス金型に保持機構を設け、回転子鉄心 10 を保持して打抜く方法がある。しかし、保持機構の追加によって回転子鉄心 10 の打抜き工程が増加するため、回転子鉄心 10 の製造のサイクルタイムが増加し、生産性を低下させる要因となる。

[0026] 本実施の形態 1 に係る回転子 1 は、回転子鉄心 10 と永久磁石 20 とで構成されており、回転子鉄心 10 は板厚 t の電磁鋼板を軸方向に積層して構成され（図 2 参照）、複数の磁石挿入孔 11 を備え、磁極同士の間には 1 以上の極間孔 12 を備え、磁石挿入孔 11 と極間孔 12 との周方向の最小距離を X とし、電磁鋼板の板厚を t とした場合、 $t \leq X$ を満足するように構成したものである。なお、図 3 では 1 の極間孔 12 を備えているが、図 4 に示すように 2 以上の極間孔 12 を備えていてもよい。

[0027] 本実施の形態 1 に係る回転子 1 は、 $t \leq X$ を満足するように構成することで、打抜き加工のときに生じる回転子鉄心 10 の変形を抑制し、回転子鉄心 10 の生産性を向上させることができる。

[0028] <電動機の構成>

図 5 は、本実施の形態 1 に係る回転子 1 を搭載した電動機 3 の一例を示す軸方向断面図である。図 5 に示される電動機 3 は、円状の固定子 2 と、固定子内径側に $0.25 \sim 1.25$ [mm] の空隙を介して配置した回転子 1 により構成される。

[0029] 固定子 2 は、固定子鉄心 30 と複数の図示しない巻線と複数の図示しない絶縁紙により構成される。

[0030] 固定子鉄心 30 は、軸線 C1 を中心とする円環状であり、板厚 $0.1 \sim 0.7$ [mm] の電磁鋼板を軸方向に複数枚積層し、カシメにより締結して構成される。また、固定子鉄心 30 は、環状のバックヨーク 32 と、バックヨー

ク32から径方向内側に向けて突出する複数のティース31を備える。さらに、ティース31同士の周方向の間には、巻線の挿入スペースであるスロット33が形成される。本実施の形態1ではバックヨーク32の外周面に4カ所のDカット34が設けられ、軸方向に貫通している。このDカット34は4カ所に限定されず、1カ所以上備えていればよい。

[0031] ティース31は、固定子鉄心30の周方向に一定間隔で配置され、本実施の形態1では18個のティース31が設けられている。このティース31は18個に限定されず、2個以上備えていればよい。

[0032] 巻線は、銅(Cu)もしくはアルミニウム(Al)を主成分とする図示しない導体と、導体の外周を覆う図示しない絶縁被膜とで構成された導線を、ティース31に巻回されて構成されている。導体を構成する主成分は銅(Cu)やアルミニウム(Al)に限らず、銀(Ag)もしくは鉄(Fe)であってもよい。ただし、銀(Ag)に対して銅(Cu)やアルミニウム(Al)は安価で調達ができる。また、鉄(Fe)に対して銅(Cu)やアルミニウム(Al)は抵抗率が低いため巻線での損失は低減し、電動機3の効率を向上させることができる。従って、本実施の形態1の巻線の導体は銅(Cu)もしくはアルミニウム(Al)で構成することで、安価かつ高効率な電動機を構成することができる。

[0033] 巻線の巻き方は、集中巻もしくは分布巻で構成される。集中巻は一つのティース31に巻線を備えるため、図示しないコイルエンドの軸方向高さを低くすることができるため、電動機3を小型化することができる。分布巻は複数のティース31に渡って巻線を備えるため、コイルエンドが軸方向に高くなる特徴がある。ただし、分布巻は複数のティース31で1つの磁極を構成するため、回転子鉄心10を通過するq軸磁束の磁路を確保しやすくなり、q軸インダクタンス L_q が向上する特徴がある。＜リラクタンストルク T_r の説明＞で後述するように、q軸インダクタンス L_q とd軸インダクタンス L_d の差($L_q - L_d$)が大きくなると、リラクタンストルク T_r が向上する。よって、集中巻に対して分布巻ではリラクタンストルク T_r を向上させる

ことができるため、本実施の形態 1 の固定子 2 は分布巻で構成することで、より電動機 3 の効率を高めることができる。

[0034] 絶縁紙は、例えばポリエチレンテレフタレートフィルム（ポリエステルフィルム）が用いられる。絶縁紙は、固定子 2 のスロット 3 3 の絶縁、巻線の相間の絶縁、およびコイルエンドの絶縁に用いられる。

[0035] <リラクタンストルク T_r の説明>

図 6 は、比較例 1 と比較例 2 と本実施の形態 1 との回転子鉄心 10 を示す断面図である。比較例 1 と比較例 2 では、極間孔 12 が設けられていない。比較例 1 では、磁石挿入孔 11 同士の周方向の最小距離（以下：「極間幅 A 」）は、 $A = 1$ [mm] である。比較例 2 では、比較例 1 より極間幅 A を長くしており、 $A = 4.5$ [mm] である。本実施の形態 1 では、比較例 2 に極間孔 12 を設けたものである。本実施の形態 1 の極間幅 A は $A = 4.5$ [mm] であり、極間孔 12 の径方向長さは 2 [mm]、極間孔 12 の周方向長さは 2.5 [mm] である。比較例 1 に対して、本実施の形態 1 ではリラクタンストルク T_r が向上し、電動機 3 の効率が向上する。

[0036] リラクタンストルク T_r の発生原理について説明する。回転子鉄心 10 の断面形状に依存して、 d 軸インダクタンス L_d に対して q 軸インダクタンス L_q が大きくなる。この d 軸インダクタンス L_d と q 軸インダクタンス L_q との差は、 d 軸方向に対して q 軸方向に磁束が流れやすくなることが原因で生じる。 d 軸インダクタンス L_d と q 軸インダクタンス L_q の差が大きくなるほど、回転子 1 の磁気的な突極が大きくなる。固定子 2 の巻線に交流電流が流れたときに、磁気的な突極を有する回転子 1 と固定子 2 との間に吸引力が発生する。この吸引力がリラクタンストルク T_r である。

[0037] ここで、極対数 P_n 、 d 軸インダクタンス L_d [H]、 q 軸インダクタンス L_q [H]、 d 軸電流 i_d [A]、 q 軸電流 i_q [A]、電流ベクトルの大きさ I_a [A]、電流ベクトルの q 軸からの進み位相角 α [deg] とする。このとき、リラクタンストルク T_r は、以下の数式 1 によって表される。

[0038] [数1]

$$T_r = P_n(L_d - L_q)i_d i_q = \frac{1}{2}P_n(L_q - L_d)I_a^2 \sin 2\alpha$$

[0039] この数式1から分かるように、 $(L_q - L_d)$ が大きくなると、リラクタンストルク T_r が大きくなる。また、電流ベクトル I_a の2乗に比例してリラクタンストルク T_r が大きくなる。

[0040] 本実施の形態1の回転子1は永久磁石20が挿入されているため、マグネットトルク T_m も併用される。固定子2の巻線に交流電流が流れたときに、固定子2と永久磁石20との間に吸引力および反発力が発生する。この吸引力および反発力がマグネットトルク T_m である。

[0041] ここで、永久磁石20による電機子鎖交磁束 Φ_a [Wb] とする。このとき、マグネットトルク T_m は、以下の数式2によって表される。

[0042] [数2]

$$T_m = P_n \Phi_a i_q = P_n \Phi_a I_a \cos \alpha$$

[0043] 回転子1に発生するトルク T は、マグネットトルク T_m とリラクタンストルク T_r の合成となる。このとき、トルク T は以下の数式3によって表される。

[0044] [数3]

$$T = T_m + T_r = P_n \Phi_a i_q + P_n(L_d - L_q)i_d i_q = P_n \left\{ \Phi_a I_a \cos \alpha + \frac{1}{2}(L_q - L_d)I_a^2 \sin 2\alpha \right\}$$

[0045] 数式3に表される通り、電流ベクトル I_a に比例してマグネットトルク T_m が大きくなり、電流ベクトル I_a の2乗に比例してリラクタンストルク T_r が大きくなる。すなわち、電動機3を低トルク運転するときはマグネットトルク T_m の配分が大きくなる一方、電動機3を高トルク運転するときはリラクタンストルク T_r の配分が大きくなる、という特徴を有する。

[0046] <極間孔による鉄損低減のメカニズム>

図7は、比較例1と比較例2と本実施の形態1との電動機3に発生する鉄損の数値解析データである。数値解析データを算出するにあたり、電動機3の回転数は60 [rps]、電動機3のトルクは13.6 [Nm]とした。詳

細に分析すると、比較例 1 に対して比較例 2 では固定子鉄心 30 で発生する鉄損（以下：「固定子鉄損」）が 4.4 [W] 増加している。また、比較例 1 に対して比較例 2 は回転子鉄心 10 で発生する鉄損（以下：「回転子鉄損」）が 5.5 [W] 増加している。さらに、比較例 1 に対して比較例 2 は圧縮機 4 の密閉容器 90 で発生する鉄損（以下：「圧縮機鉄損」）が 2.7 [W] 増加している。

[0047] 比較例 2 の固定子鉄損が増加する原因は、電機子磁束が回転子鉄心 10 の q 軸方向に通り易くなるため、固定子 2 のバックヨーク 32 で磁束密度が高くなるからである。また、比較例 2 の回転子鉄損が増加する原因は、磁石挿入孔 11 同士の間で発生する鉄損が増加するからである。さらに、比較例 2 の圧縮機鉄損が増加する原因は後述するが、比較例 1 に対して比較例 2 ではバックヨーク 32 の磁束密度が増加し、バックヨーク 32 に磁束が流れにくくなるためである。すなわち、比較例 2 では圧縮機 4 の密閉容器 90 に磁束が漏れやすくなるため、圧縮機 4 の密閉容器 90 で発生する圧縮機鉄損が増加する。

[0048] 図 6 において、本実施の形態 1 のように隣り合う磁極同士の間で回転子鉄心 10 に四角形の空隙（以下：「極間孔」）が備えられることで、電機子磁束が比較例 2 に対して低減される。この極間孔 12 の効果によって、本実施の形態 1 では比較例 2 に対して、固定子 2 のバックヨーク 32 で発生する磁束密度が低減するため、バックヨーク 32 で発生する固定子鉄損を低減させることができる。

[0049] 比較例 1 に対して比較例 2 において鉄損が増加した理由、および比較例 2 に対して本実施の形態 1 において鉄損が低減した理由について、図 8～図 11 を用いて説明する。

[0050] 図 8 は、比較例 1 の電動機 3 の例示である。固定子 2 のスロット 33 の数は 18、回転子 1 の極数は 6、巻線は複数のティース 31 に跨って巻回された分布巻の例示である。この形態は、回転子 1 の 1 つの磁極に対して、固定子 2 のティース 31 は 3 つ対向する。すなわち、固定子 2 は 3 つのティース 3

1で1つの磁極を構成する。3つのティース31の内、両端2つのティース31から発生する電機子磁束を $\Phi 1$ 、中央1つのティース31から発生する電機子磁束を $\Phi 2$ と定義する。また、図8に電機子磁束の磁路の定義を明示している。 $\Phi 1$ が通過する磁路を「第1の磁路」、 $\Phi 2$ が通過する磁路を「第2の磁路」と定義する。

[0051] 図9は、比較例1と比較例2における第1の磁路の比較図である。ここで、比較例1の第1の磁路に流れる磁束を $\Phi 11$ 、比較例2の第1の磁路に流れる磁束を $\Phi 21$ と定義する。比較例2では比較例1に対して極間幅Aが拡大されるため、第1の磁路の磁気抵抗が小さくなる。すなわち、比較例1と比較例2の両者の第1の磁路に流れる磁束の関係性は、 $\Phi 11 < \Phi 21$ となる。この影響に起因して、比較例1に対して比較例2ではバックヨーク32での磁束密度が高くなる。

[0052] 図10は、比較例1と比較例2における第1の磁路と第2の磁路との比較図である。ここで、比較例1の第2の磁路に流れる磁束を $\Phi 12$ 、比較例2の第2の磁路に流れる磁束を $\Phi 22$ と定義する。また、比較例1のバックヨーク32の磁束密度を $B 1$ 、比較例2のバックヨーク32の磁束密度を $B 2$ と定義する。上述のように、比較例1の第1の磁路の磁束 $\Phi 11$ に対して、比較例2の第1の磁路の磁束 $\Phi 21$ は増加するため、バックヨーク32の磁束密度は $B 1 < B 2$ となる。換言すると、比較例1に対して比較例2ではバックヨーク32での透磁率が低下し、このバックヨーク32において磁束が流れにくくなる。よって、比較例1の第2の磁路の磁束 $\Phi 12$ に対して、比較例2の第2の磁路の磁束 $\Phi 22$ はバックヨーク32を流れにくくなる。

[0053] 以上の理由より、比較例1に対して比較例2ではバックヨーク32の磁束密度が増加するため（ $B 1 < B 2$ ）、バックヨーク32に磁束が流れにくくなる。すなわち、比較例2ではバックヨーク32で発生する鉄損が増加する。また、比較例2では第2の磁路の磁束 $\Phi 22$ が圧縮機4の密閉容器90に漏れやすくなるため、圧縮機4の密閉容器90で発生する圧縮機鉄損が増加する。

[0054] 比較例 2 における鉄損増加の影響を抑制するためには、バックヨーク 32 での磁束密度を低減させるための形態が必要となる。この鉄損抑制の効果をj得る目的の下、図 6 の本実施の形態 1 に示すように、極間孔 12 が設けられている。

[0055] 図 11 は、比較例 2 と本実施の形態 1 における第 1 の磁路と第 2 の磁路との比較図である。ここで、本実施の形態 1 の第 1 の磁路に流れる磁束を Φ_{31} 、本実施の形態 1 の第 2 の磁路に流れる磁束を Φ_{32} 、本実施の形態 1 のバックヨーク 32 の磁束密度を B_3 と定義する。本実施の形態 1 では極間孔 12 が設けられている。そのため、比較例 2 に対して本実施の形態 1 では第 1 の磁路の磁気抵抗が高くなっている。すなわち、比較例 2 の第 1 の磁路に流れる磁束 Φ_{21} に対して、本実施の形態 1 の第 1 の磁路に流れる磁束 Φ_{31} は低減するため、 $\Phi_{21} > \Phi_{31}$ となる。この理由により、比較例 2 に対して本実施の形態 1 ではバックヨーク 32 での磁束密度を低くすることができ、 $B_2 > B_3$ となる。

[0056] 上記の理由により、比較例 2 に対して本実施の形態 1 では固定子鉄心 30 に発生する固定子鉄損、および回転子鉄心 10 に発生する回転子鉄損を低減させることができる。

[0057] <本実施の形態 1 の損失低減効果>

図 12 は、比較例 1 と比較例 2 と本実施の形態 1 との電動機 3 に発生する損失の数値解析データである。数値解析データを算出するにあたり、電動機 3 の回転数は 60 [rps]、電動機 3 のトルクは 13.6 [Nm] とした。

[0058] 図 12 のデータより、比較例 1 に対して比較例 2 では、鉄損が 12.7 [W] 増加し、銅損が 16.3 [W] 低減するため、比較例 1 に対して比較例 2 では鉄損と銅損の合計（以下：「合計損失」）が 3.6 [W] 低減する。さらに、比較例 2 に対して本実施の形態 1 では合計損失が 12.4 [W] 低減する。よって、比較例 1 に対して本実施の形態 1 では合計損失が 16.0 [W] 低減する。

[0059] 本実施の形態 1 の電動機 3 は、比較例 1 に対してリラクタンストルク向上に

より銅損が低減し、併せて鉄損も低減することができる。すなわち、本発明の目的である、電動機 3 の主要部材である電磁鋼板、永久磁石 20、巻線の使用量を増加させずにリラクタンストルクを向上させ、また回転子鉄心 10 の生産性を低下させることなく、電動機 3 の高効率化を達成することができる回転子 1 を提供することができる。

[0060] <圧縮機の構成>

本実施の形態 1 に係る圧縮機 4 について説明する。図 13 は、本実施の形態 1 に係る電動機 3 を搭載した圧縮機 4 の一例を示す断面図である。圧縮機 4 は、例えば、ロータリ圧縮機である。なお、圧縮機 4 は、ロータリ圧縮機に限らず、低圧圧縮機またはスクロール圧縮機などの他の圧縮機であってもよい。

[0061] 図 13 に示すように、圧縮機 4 は、電動機 3 と、回転軸としてのクランクシャフト 60 と、圧縮機構部 70 と、密閉容器 90 とを有している。電動機 3 は、圧縮機構部 70 を駆動する。圧縮機構部 70 は、アキュムレータ 111 から吸入した冷媒を圧縮する。なお、圧縮機構部 70 の構成については、後述する。

[0062] クランクシャフト 60 は、電動機 3 と圧縮機構部 70 とを連結している。クランクシャフト 60 は、電動機 3 の回転子 2 に固定されるシャフト本体部 60a と、圧縮機構部 70 のローリングピストン 80 に固定される偏心軸部 60b とを有している。

[0063] 密閉容器 90 は円筒状であり、電動機 3 および圧縮機構部 70 を収容している。密閉容器 90 の底部の油だまり部には、冷凍機油が貯留されている。冷凍機油は、圧縮機構部 70 の摺動部（例えば、ローリングピストン 80 と偏心軸部 60b との嵌合部）を潤滑する潤滑油である。冷凍機油は、クランクシャフト 60 の内部に形成された給油通路を通して、圧縮機構部 70 の摺動部を潤滑する。

[0064] 圧縮機 4 は、密閉容器 90 の上部に取り付けられた吐出管 91 と端子 92 とを更に有している。吐出管 91 は、圧縮機構部 70 によって圧縮された冷

媒を密閉容器 90 の外部に吐出する。吐出管 91 は、図 15 または図 16 に示される冷媒回路に接続されている。

[0065] 端子 92 は、圧縮機 4 の外部に備えられた図示しない駆動装置に接続されている。また、端子 92 は、リード線 93 を介して、電動機 3 の固定子 2 の巻線に駆動電流を供給する。これにより、電動機 3 の回転子 1 が回転する。

[0066] 図 14 は、圧縮機構部 70 の構成を示す断面図である。図 14 に示すように、圧縮機構部 70 は、シリンダ 71 と、ローリングピストン 80 と、ベーン 81 と、上軸受部 82 と、下軸受部 84 とを有している。シリンダ 71 は、吸入口 71a と、シリンダ室 71b と、ベーン溝 71c とを有している。吸入口 71a は、吸入管 72 を介してアキュムレータ 111 に接続されている。吸入口 71a は、アキュムレータ 111 から吸入される冷媒が流れる通路であり、シリンダ室 71b に連通している。

[0067] 以下の説明では、クランクシャフト 60 を中心とする円の円周に沿った方向を「周方向」、クランクシャフト 60 の回転中心である軸線 C1 の方向を「軸方向」、軸方向に直交してクランクシャフト 60 を通る直線のことを「径方向」と呼ぶ。また、図面には、図面相互の理解を容易にするために、 x y z 直交座標系が示されている。 z 軸は、クランクシャフト 60 の軸線 C1 に平行な座標軸である。 y 軸は、 z 軸に直交する座標軸である。 x 軸は、 y 軸および z 軸の両方に直交する座標軸である。

[0068] シリンダ室 71b は、軸線 C1 を中心とする円筒状の空間である。シリンダ室 71b には、クランクシャフト 60 の偏心軸部 60b、ローリングピストン 80 およびベーン 81 が収納されている。 z 軸方向に見たときのローリングピストン 80 の形状は、リング状である。ローリングピストン 80 は、クランクシャフト 60 の偏心軸部 60b に固定されている。

[0069] ベーン溝 71c は、シリンダ室 71b と連通している。ベーン溝 71c には、ベーン 81 が取り付けられている。ベーン溝 71c の端部には、背圧室 71d が形成されている。ベーン 81 は、背圧室 71d に配置された図示しないスプリングによって、軸線 C1 に向けて押圧されることで、ローリング

ピストン 80 の外周面に当接している。これにより、ベーン 81 は、シリンダ室 71 b の内周面、ローリングピストン 80 の外周面、上軸受部 82、および下軸受部 84 で囲まれる空間 86 を吸入側の作動室（以下、「吸入室」という）86 a および圧縮側の作動室（以下、「圧縮室」という）86 b に分割している。吸入室 86 a は、吸入口 71 a と連通している。

[0070] ベーン 81 は、ローリングピストン 80 が偏心回転しているときに、ベーン溝 71 c 内を y 軸方向に往復運動する。ベーン 81 は、例えば、板状である。なお、図 14 に示す例では、ローリングピストン 80 およびベーン 81 は別体であるが、ローリングピストン 80 およびベーン 81 は一体であってもよい。

[0071] 図 13 に示すように、上軸受部 82 は、シリンダ室 71 b の + z 軸側の端部を閉鎖している。下軸受部 84 は、シリンダ室 71 b の - z 軸側の端部を閉鎖している。上軸受部 82 および下軸受部 84 はそれぞれ、図示しない締結部材（例えば、ボルト）によってシリンダ 71 に固定されている。

[0072] 上軸受部 82 および下軸受部 84 はそれぞれ、圧縮された冷媒をシリンダ室 71 b の外部に吐出する吐出口を有している。上軸受部 82 および下軸受部 84 のそれぞれの吐出口は、シリンダ室 71 b の圧縮室 86 b と連通している。吐出口には、図示しない吐出弁が備えられている。吐出弁は、圧縮室 86 b で圧縮された冷媒の圧力が予め定められた圧力以上になった場合に開口し、高温高圧の冷媒を密閉容器 90 の内部空間に吐出する。なお、下軸受部 84 は、吐出口を備えていなくてもよい。

[0073] 上軸受部 82 には、締結部材（例えば、ボルト）によって上部吐出マフラ 83 が取り付けられている。上軸受部 82 と上部吐出マフラ 83 との間には、マフラ室 83 a が設けられている。これにより、上軸受部 82 の吐出口から吐出された冷媒がマフラ室 83 a に拡散するため、上軸受部 82 の吐出口から吐出される冷媒の吐出音の発生が抑制される。

[0074] また、下軸受部 84 には、締結部材（例えば、ボルト）によって下部吐出マフラ 85 が取り付けられている。下軸受部 84 と下部吐出マフラ 85 との

間には、マフラ室 85 a が設けられている。これにより、下軸受部 84 の吐出口から吐出された冷媒がマフラ室 85 a に拡散するため、下軸受部 84 から吐出される冷媒の吐出音の発生が抑制される。なお、上軸受部 82 および下軸受部 84 のいずれか一方に吐出口が形成されている場合には、吐出口が形成されているフレームに吐出マフラを備えていてもよい。

[0075] <冷凍サイクル装置>

図 15 および図 16 は、本実施の形態 1 に係る圧縮機 4 を搭載した冷凍サイクル装置 5 の一例を示す外観図である。本実施の形態 1 では、冷凍サイクル装置 5 が空気調和装置に適用された場合を例にして説明する。なお、冷凍サイクル装置 5 は、冷蔵庫またはヒートポンプサイクル装置などの他の装置に適用されてもよい。

[0076] 図 15 は、本実施の形態 1 に係る冷凍サイクル装置 5 の冷房運転時における冷媒回路の構成を示す図である。図 16 は、本実施の形態 1 に係る冷凍サイクル装置 5 の暖房運転時における冷媒回路の構成を示す図である。図 15 および図 16 に示すように、冷凍サイクル装置 5 は、冷媒と、冷媒を圧縮する圧縮機 4 と、アキュムレータ 111 と、冷房運転と暖房運転を切り替える四方弁 112 と、室外熱交換器 113 と、減圧装置としての膨張弁 114 と、室内熱交換器 115 と、配管 116 とを有している。圧縮機 4、アキュムレータ 111、室外熱交換器 113、膨張弁 114 および室内熱交換器 115 は、配管（例えば、銅管） 116 によって互いに接続されている。圧縮機 4、室外熱交換器 113、膨張弁 114 および室内熱交換器 115 によって、冷媒回路が構成されている。

[0077] 冷凍サイクル装置 5 は、制御部 117 を更に有している。制御部 117 は、例えば、圧縮機 4 の内部の圧力または温度などを制御する。制御部 117 は、例えば、マイクロコンピュータである。なお、制御部 117 は、冷凍サイクル装置 5 を構成する他の要素（例えば、四方弁 112 など）を制御してもよい。

[0078] 次に、冷房運転時における冷凍サイクル装置 5 の動作について、説明する

。図15に示すように、圧縮機4は、アキュムレータ111から吸入した冷媒を圧縮して高温高压の冷媒ガスとして送り出す。四方弁112は、圧縮機4から送り出された高温高压の冷媒ガスを室外熱交換器113に流す。室外熱交換器113は、高温高压の冷媒ガスと媒体（例えば、空気）との熱交換を行うことで、冷媒ガスを凝縮して低温高压の液冷媒として送り出す。つまり、冷房運転時には、室外熱交換器113は、凝縮器として機能する。

[0079] 膨張弁114は、室外熱交換器113から送り出された液冷媒を膨張させて、低温低压の液冷媒として送り出す。具体的には、室外熱交換器113から送り出された低温高压の液冷媒は、膨張弁114によって減圧されることによって、低温低压の冷媒ガスと、低温低压の液冷媒との二相状態になる。室内熱交換器115は、膨張弁114から送り出された二相状態の冷媒と媒体（例えば、空気）との熱交換を行い、液冷媒を蒸発させて、冷媒ガスを送り出す。つまり、冷房運転時には、室内熱交換器115は、蒸発器として機能する。室内熱交換器115から送り出された冷媒ガスは、アキュムレータ111を介して、圧縮機4に戻る。このように、冷房運転時には、冷媒は、図15の矢印で示す経路に沿って、冷媒回路を循環する。つまり、冷房運転時には、冷媒は、圧縮機4、室外熱交換器113、膨張弁114および室内熱交換器115の順に循環する。

[0080] なお、冷房運転と暖房運転の切り替えは、図15および図16に示すように四方弁112により流路を切り替えることによって行われる。つまり、暖房運転時には、室内熱交換器115は、凝縮器として、室外熱交換器113は、蒸発器として機能する。

[0081] 〈冷媒〉

次に、冷媒について説明する。冷媒は、炭素の二重結合を有するエチレン系フッ化炭化水素を含む混合冷媒である。炭素の二重結合を有するエチレン系フッ化炭化水素を含む混合冷媒とすることで、動作圧力を低下させ、不均化反応を防止できる。本実施の形態1では、冷媒は、R1123を含む混合冷媒である。なお、冷媒は、R1123に限らず、他のエチレン系フッ化炭

化水素を含む混合冷媒であってもよい。

[0082] 冷媒は、1種類以上のエチレン系フッ化炭化水素を有していればよく、エチレン系フッ化炭化水素と他の冷媒とを混合した混合冷媒である。冷媒は、例えば、R 1 1 2 3 と R 3 2 とが混合した混合冷媒である。この混合冷媒における R 1 1 2 3 の割合は、例えば、40 wt % ~ 60 wt % の範囲内に設定されることが好ましい。なお、R 1 1 2 3 は、R 3 2 に限らず、R 1 2 3 4 y f、R 1 2 3 4 z e (E)、R 1 2 3 4 z e (Z)、R 1 2 5 および R 1 3 4 a のいずれか1つ以上の冷媒と混合されてもよい。

[0083] また、冷媒は、2種類以上のエチレン系フッ化炭化水素を有する冷媒であってもよい。R 1 1 2 3 は、例えば、R 1 1 4 1、R 1 1 3 2 a、R 1 1 3 2 (E)、および R 1 1 3 2 (Z) のいずれか1つ以上のエチレン系フッ化炭化水素と混合されてもよい。さらに、R 5 1 6 A、R 4 4 5 A、R 4 4 4 A、R 4 5 4 C、R 4 4 4 B、R 4 5 4 A、R 4 5 5 A、R 4 5 7 A、R 4 5 9 B、R 4 5 2 B、R 4 5 4 B、R 4 4 7 B、R 4 4 7 A、R 4 4 6 A、R 4 5 9 A の混合冷媒でもよい。

[0084] また、他の冷媒として、R 1 2 3 4 y f、R 1 2 3 4 z e、R 3 2、R 2 9 0 のいずれかの単一冷媒であってもよい。

[0085] <本実施の形態1の効果>

本実施の形態1では、回転子1を $t \leq X$ の構成とすることで、打抜き加工のときに生じる回転子鉄心10の変形を抑制し、回転子鉄心10の生産性向上の効果を奏することができる。また、本実施の形態1に係る回転子1を用いて電動機3を構成することで、電磁鋼板、永久磁石20、巻線の使用量を増加させずに電動機3の高効率化の効果を奏することができる。さらに、本実施の形態1に係る電動機3を用いることで、圧縮機4および冷凍サイクル装置5の高効率化の効果を奏することができる。

[0086] 実施の形態2.

<Xとtの関係性 ($2t \leq X \leq (A-1) \times 0.5$)>

図17は、本実施の形態2における極間孔12の断面図の拡大図である。磁

石挿入孔 1 1 同士の周方向の最小距離を A とし、電磁鋼板の板厚を t とした場合、磁石挿入孔 1 1 と極間孔 1 2 との周方向の最小距離 X の範囲は、 $2t \leq X \leq (A - 1) \times 0.5$ を満足する。

[0087] 回転子鉄心 1 0 は、プレス金型を用いて電磁鋼板を打抜き加工し、打抜き孔を形成した後、それを軸方向に積層して構成されている。鉄心が打抜き加工を施されると、打抜き孔の端面 1 の周辺の回転子鉄心 1 0 は、磁気特性が劣化される。磁気特性の劣化を換言すると、鉄心の透磁率が低減することを意味する。一般に、打抜き孔の端面から電磁鋼板の板厚 t に相当する距離において、磁気特性の劣化が発生する。

[0088] 極間孔 1 2 が設けられている回転子鉄心 1 0 は、 q 軸の磁路である。 q 軸の磁路における磁束が流れやすいと q 軸インダクタンス L_q が増加する。よって、数式 3 よりリラクタンストルク T_r を増加させるためには q 軸インダクタンス L_q を増加させる必要があるため、前記 q 軸の磁路は磁束が流れやすいことが望ましい。しかし、極間孔 1 2 を打抜き加工した後は、極間孔 1 2 の端面周辺は磁気特性の劣化により q 軸インダクタンス L_q の低下を招く。

[0089] 打抜き加工後の磁気特性の劣化による q 軸インダクタンス L_q の低下を抑制する目的の下、磁石挿入孔 1 1 と極間孔 1 2 との最小距離を X と、回転子鉄心 1 0 を構成する電磁鋼板の板厚 t との関係性として、 $2t \leq X$ の関係性を持たせる。

[0090] 磁石挿入孔 1 1 および極間孔 1 2 の端面から距離 t の範囲内では、磁気特性の劣化が発生する。よって、 $2t \leq X$ の関係性を持たせるように極間孔 1 2 の形状を決めることで、磁気特性の劣化が発生しない q 軸の磁路を設けることができる。これにより、 q 軸インダクタンス L_q を低下させずに極間孔 1 2 を設けることができるため、リラクタンストルク T_r を向上させることができる。

[0091] また、 $X \leq (A - 1) \times 0.5$ の関係性を持たせることにより、極間孔 1 2 の周方向の最小距離を 1 [mm] 以上確保することができる。回転子鉄心

10は、プレス金型を用いて電磁鋼板を打抜き加工して打抜き孔を形成する。このとき、プレス金型に用いるパンチの幅が短いと、金型の耐久性が悪化し、生産設備の寿命悪化を招く。一般に、回転子鉄心10に形成される打抜き孔の幅を1 [mm] 以上確保することで、金型の耐久性確保することができる。これを満足するため、磁石挿入孔11と極間孔12との周方向の最小距離 X の範囲は、 $X \leq (A - 1) \times 0.5$ の関係性を持たせる。

[0092] <本実施の形態2の効果>

本実施の形態2では、回転子1を $2t \leq X \leq (A - 1) \times 0.5$ の構成とすることで、プレス金型の耐久性悪化を抑制しつつ、 q 軸インダクタンス L_q を低下させずに極間孔12を設けることができ、電動機3の高効率化の効果を奏することができる。

[0093] 実施の形態3.

< Y と t の関係性 ($1 \leq Y \leq A - 2t$) >

図18は、本実施の形態3における極間孔12の断面図の拡大図である。磁石挿入孔11同士の周方向の最小距離を A とし、電磁鋼板の板厚を t とした場合、極間孔12の周方向の最小距離 Y の範囲は、 $1 \leq Y \leq A - 2t$ を満足する。

[0094] 実施の形態2にて既述の通り、回転子鉄心10に形成される極間孔12の周方向の最小距離を1 [mm] 以上設けることで、金型の耐久性を確保することができる。これを満足するため、極間孔12の周方向の最小距離 Y の範囲は、 $1 \leq Y$ の関係性を持たせる。

[0095] また、 $Y \leq A - 2t$ の関係性を持たせることにより、磁石挿入孔11と極間孔12の距離を電磁鋼板の板厚 t 以上確保することができる。実施の形態1にて既述の通り、回転子鉄心10に設けられる磁石挿入孔11と極間孔12の距離が短いと、打抜き加工のときに回転子鉄心10が変形しやすくなり、生産性を低下させる要因となる。そのため、磁石挿入孔11と極間孔12の径方向の最小距離 X を電磁鋼板の板厚 t 以上設けた構成とすることで、回転子鉄心10の生産性を向上させることができる。これを満足するため、極

間孔 1 2 の周方向の最小距離 Y の範囲は、 $Y \leq A - 2t$ の関係性を持たせる。

[0096] <本実施の形態 3 の効果>

本実施の形態 3 では、回転子 1 を $1 \leq Y \leq A - 2t$ の構成とすることで、プレス金型の耐久性悪化を抑制しつつ、回転子鉄心 10 の生産性を向上させることができ、電動機 3 の高効率化の効果を奏することができる。

[0097] 実施の形態 4 .

< T_1 と T_2 の関係性 ($t \leq T_1 \leq T_2$) >

図 19 は、本実施の形態 4 における極間孔 1 2 の断面図の拡大図である。磁石挿入孔 1 1 と回転子鉄心 10 の外周面との径方向の最小距離を T_1 とし、極間孔 1 2 と回転子鉄心 10 の外周面との径方向の最小距離を T_2 とした場合、 $t \leq T_1 \leq T_2$ を満足する。

[0098] 磁石挿入孔 1 1 と回転子鉄心 10 の外周面との距離が短いと、打抜き加工のときに生産性を低下させる要因となる。そのため、磁石挿入孔 1 1 と回転子鉄心 10 の外周面との径方向の最小距離 T_1 を電磁鋼板の板厚 t 以上設けた構成とすることで、回転子鉄心 10 の生産性を向上させることができる。これを満足するため、磁石挿入孔 1 1 と回転子鉄心 10 の外周面との径方向の最小距離 T_1 の範囲は、 $t \leq T_1$ の関係性を持たせる。

[0099] また、 $T_1 \leq T_2$ の関係性を持たせることにより、磁石挿入孔 1 1 に対して極間孔 1 2 の磁気抵抗が低くなるため、極間孔 1 2 が設けられる磁路に q 軸磁束が流れやすくなる。すなわち、 q 軸に流れる磁束の磁路を適切に確保できるため q 軸インダクタンス L_q が向上し、リラクタンストルク T_r を高めることができる。これを満足するため、極間孔 1 2 と回転子鉄心 10 の外周面との径方向の最小距離 T_2 の範囲は、 $T_1 \leq T_2$ の関係性を持たせる。

[0100] <本実施の形態 4 の効果>

本実施の形態 4 では、回転子 1 を $t \leq T_1 \leq T_2$ の構成とすることで、 q 軸インダクタンス L_q が向上し、リラクタンストルク T_r を高めることができ、電動機 3 の高効率化の効果を奏することができる。

[0101] 実施の形態 5.

＜YとZの関係性（ $Y \leq Z$ ）＞

図 20 は、本実施の形態 5 における極間孔 12 の断面図の拡大図である。極間孔 12 の周方向の最小距離を Y とし、極間孔 12 の径方向の最小距離を Z とした場合、 $Y \leq Z$ を満足する。

[0102] 極間孔 12 の周方向の最小距離 Y を短くすると、q 軸に流れる磁束の磁路を適切に確保できるため q 軸インダクタンス L_q が向上し、リラクタンストルク T_r を高めることができる。これを満足するため、極間孔 12 の径方向の最小距離を Z とした場合、極間孔 12 の周方向の最小距離 Y の範囲は、 $Y \leq Z$ の関係性を持たせる。

[0103] ＜本実施の形態 5 の効果＞

本実施の形態 5 では、回転子 1 を $Y \leq Z$ の構成とすることで、リラクタンストルク T_r を高め、電動機 3 の高効率化の効果を奏することができる。

[0104] 実施の形態 6.

＜YとZの関係性（ $Y > Z$ ）＞

図 21 は、本実施の形態 6 における極間孔 12 の断面図の拡大図である。極間孔 12 の周方向の最小距離を Y とし、極間孔 12 の径方向の最小距離を Z とした場合、 $Y > Z$ を満足する。

[0105] 極間孔 12 の周方向の最小距離 Y を長くすると、q 軸に流れる磁束が減少してバックヨーク 32 に流れる磁束が減少するため、バックヨーク 32 の磁束密度が低減し、固定子鉄心 30 で生じる鉄損を低減させることができる。これを満足するため、極間孔 12 の径方向の最小距離を Z とした場合、極間孔 12 の周方向の最小距離 Y の範囲は、 $Y > Z$ の関係性を持たせる。

[0106] ＜本実施の形態 6 の効果＞

本実施の形態 6 では、回転子 1 を $Y \leq Z$ の構成とすることで、バックヨーク 32 の磁束密度が低減し、固定子鉄心 30 で生じる鉄損を低減する効果を奏することができる。

[0107] 実施の形態 7.

＜磁石挿入孔と極間孔の間の鉄心が均等に配置＞

図 2 2 は、本実施の形態 7 における極間孔 1 2 の断面図の拡大図である。磁石挿入孔 1 1 同士の周方向の中心が q 軸と一致し、極間孔 1 2 の周方向幅の中心も q 軸と一致していることを満足する。

[0108] 磁石挿入孔 1 1 と極間孔 1 2 の間の磁路を周方向に均等になるように極間孔 1 2 を配置することで、その磁路での磁束密度が均等となる。これにより、磁石挿入孔 1 1 と極間孔 1 2 の間の磁路にて局所的に磁束密度が高くなることを抑制できるため、この磁路での透磁率を高めることができる。よって、q 軸に流れる磁束の磁路を適切に確保できるため q 軸インダクタンス L_q が向上し、リラクタンストルク T_r を高めることができる。

[0109] ＜本実施の形態 7 の効果＞

本実施の形態 7 では、磁石挿入孔 1 1 同士の周方向の中心が q 軸と一致し、極間孔 1 2 の周方向幅の中心も q 軸と一致している構成とすることで、リラクタンストルク T_r を高め、電動機 3 の高効率化の効果を奏することができる。

[0110] 実施の形態 8.

＜R の数値範囲 ($0.2 \leq R \leq Y \times 0.5$)＞

図 2 3 は、本実施の形態 8 における極間孔 1 2 の断面図の拡大図である。極間孔 1 2 は、角部に設ける丸みの半径を R とした場合、 $0.2 \leq R \leq Y \times 0.5$ を満足する。

[0111] 回転子鉄心 1 0 に設けられる極間孔 1 2 の角部が先鋭 ($R < 0.2$) の場合、回転子 1 の運転中に回転子鉄心 1 0 に発生する遠心力によって、この角部に発生する引張応力が大きくなり、回転子鉄心 1 0 の機械的強度の低下をもたらす。そこで、角部に設ける丸みの半径 R の範囲は、 $0.2 \leq R$ の関係性を持たせる。これにより、極間孔 1 2 の角部に発生する引張応力を緩和し、回転子鉄心 1 0 の機械的強度を向上させることができる。

[0112] また、 $R > Y \times 0.5$ の場合、極間孔 1 2 の角部に設けられる丸み同士が干渉し合い、干渉した部分に先鋭部が生じる。回転子 1 の運転中に回転子鉄

心 10 に発生する遠心力によって、当該先鋭部に発生する引張応力が大きくなり、回転子鉄心 10 の機械的強度の低下をもたらす。そこで、 $R \leq Y \times 0.5$ の関係性を持たせることで、極間孔 12 の角部に設けられる丸み同士の干渉を抑制し、極間孔 12 に先鋭部が生じることなく角部に丸みを設けることができるため、極間孔 12 に発生する引張応力を緩和し、回転子鉄心 10 の機械的強度を向上させることができる。

[0113] <本実施の形態 8 の効果>

本実施の形態 8 では、回転子 1 を $0.2 \leq R \leq Y \times 0.5$ の構成とすることで、回転子 1 の運転中に極間孔 12 に発生する引張応力を緩和し、回転子鉄心 10 の機械的強度を高める効果を奏することができる。

[0114] 実施の形態 9.

<極間孔の形状が三角形>

図 24 は、本実施の形態 9 における極間孔 12 の断面図の拡大図である。極間孔 12 は、回転子鉄心 10 の径方向外側に頂点を有する三角形で構成される。

[0115] 回転子鉄心 10 の径方向外側に頂点を有する三角形により極間孔 12 を構成することで、極間孔 12 の径方向外側の磁気抵抗が低下し、q 軸磁束が流れやすくなる。すなわち、q 軸に流れる磁束の磁路を適切に確保できるため q 軸インダクタンス L_q が向上し、リラクタンストルク T_r を高めることができる。

[0116] <本実施の形態 9 の効果>

本実施の形態 9 では、径方向外側に頂点を有する三角形により極間孔 12 を構成とすることで、リラクタンストルク T_r を高め、電動機 3 の高効率化の効果を奏することができる。

[0117] 実施の形態 10

<極間孔の形状が円形もしくは楕円形>

図 25 は、本実施の形態 10 における極間孔 12 の断面図の拡大図である。極間孔 12 は、形状が真円もしくは径方向に伸びる楕円形で構成される。

[0118] 本実施の形態１の回転子１を圧縮機４に搭載した場合、圧縮機４の圧縮機構部７０では冷媒が循環するため、回転子１も軸方向に冷媒が通過する。従って、回転子鉄心１０の軸方向には、冷媒流路として用いる空隙を設けることが望ましい。さらに、冷媒流路は軸方向に見た断面積が大きく、また冷媒流路を形成する端面の周長が短いと、冷媒の流路抵抗が低減するため、冷媒が効率良く冷媒流路を通過することができる。

[0119] 端面の周長を短くするための冷媒流路形状として、真円もしくは楕円形が望ましい。楕円形の場合、径方向に伸びるように形成することで、磁石挿入孔１１と極間孔１２の間に位置する磁路が確保され、 q 軸磁束が流れやすくなる。すなわち、 q 軸に流れる磁束の磁路を適切に確保できるため q 軸インダクタンス L_q が向上し、リラクタンストルク T_r を高めることができる。

[0120] <本実施の形態１０の効果>

本実施の形態１０では、真円もしくは回転子鉄心１０の径方向に伸びる楕円形で極間孔１２を構成することで、リラクタンストルク T_r を高めて電動機３を高効率化しつつ、冷媒の循環効率を向上する効果を奏することができる。

符号の説明

[0121] １ 回転子、 ２ 固定子、 ３ 電動機、 ４ 圧縮機、 ５ 冷凍サイクル装置、 １０ 回転子鉄心、 １１ 磁石挿入孔、 １２ 極間孔、 １３ シャフト孔、 ２０ 永久磁石、 ３０ 固定子鉄心、 ３１ ティース、 ３２ バックヨーク、 ３３ スロット、 ６０ クランクシャフト、 ６０ａ シャフト本体部、 ６０ｂ 偏心軸部、 ７０ 圧縮機構部、 ７１ シリンダ、 ７１ａ 吸入口、 ７１ｂ シリンダ室、 ７１ｃ ベーン溝、 ７１ｄ 背圧室、 ７２ 吸入管、 ８０ ローリングピストン、 ８１ ベーン、 ８２ 上軸受部、 ８３ 上部吐出マフラ、 ８３ａ マフラ室、 ８４ 下軸受部、 ８５ 下部吐出マフラ、 ８５ａ マフラ室、 ８６ 空間、 ８６ａ 吸入室、 ８６ｂ 圧縮室、 ９０ 密閉容器、 ９１ 吐出管、 ９２ 端子、 ９３ リード線、 １１１

アキュムレータ、 1 1 2 四方弁、 1 1 3 室外熱交換器、 1 1 4
膨張弁、 1 1 5 室内熱交換器、 1 1 6 配管、 1 1 7 制御部、
C 1 軸線

請求の範囲

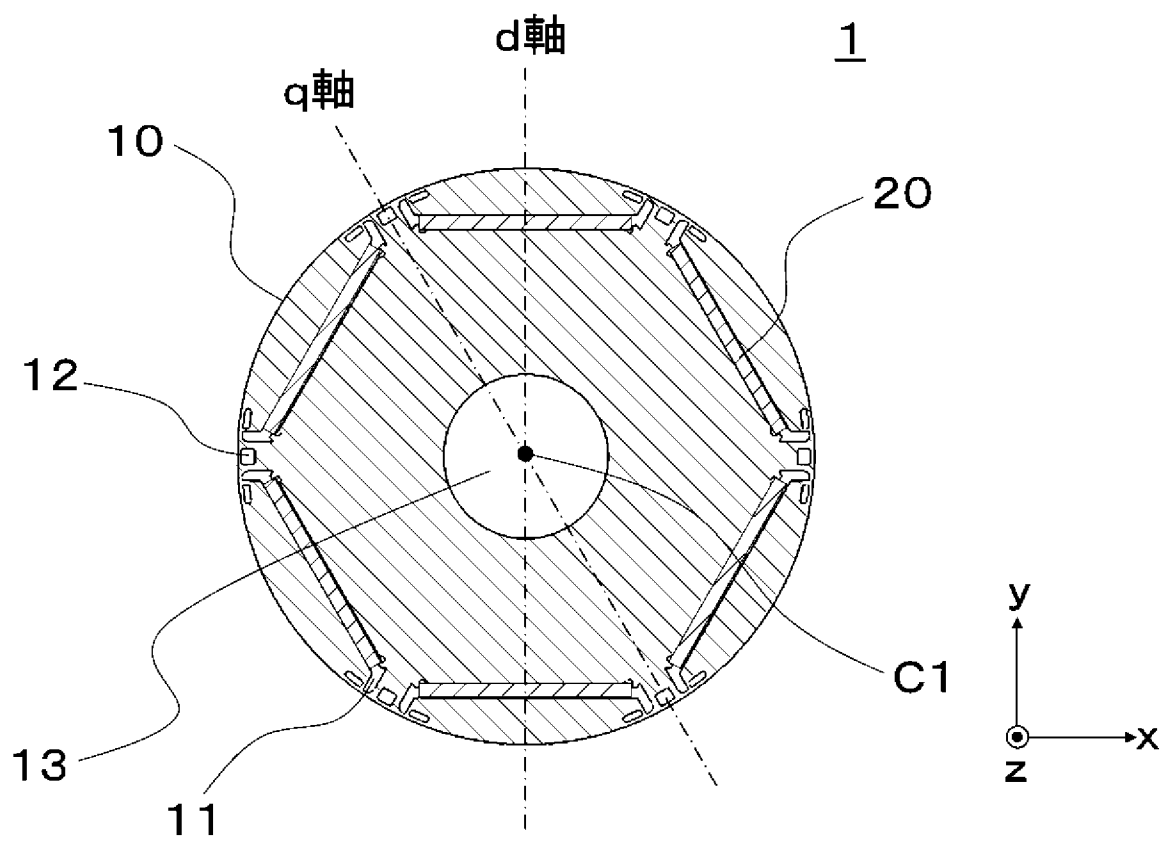
- [請求項1] 永久磁石と回転子鉄心を備えた回転子であって、
前記回転子鉄心は、電磁鋼板を軸方向に積層して構成され、磁石挿入孔と、極間孔が設けられ、
前記磁石挿入孔は、1の磁極に対して1以上設けられ、前記永久磁石が挿入されて極数Pの磁極を構成し、
前記極間孔は、前記回転子鉄心の回転軸に対して前記永久磁石の周方向中心から周方向に機械角 $180/P$ 度ずれた軸上に1以上設けられており、
前記磁石挿入孔と前記極間孔との周方向の最小距離をXとし、前記電磁鋼板の板厚をtとした場合、 $t \leq X$ を満足する、
回転子。
- [請求項2] 前記磁石挿入孔同士の周方向の最小距離をAとした場合、前記磁石挿入孔と前記極間孔との周方向の最小距離Xの範囲は、 $X \leq (A - 1) \times 0.5$ を満足する、
請求項1記載の回転子。
- [請求項3] 前記極間孔の周方向の最小距離をYとした場合、 $1 \leq Y \leq A - 2t$ を満足する、
請求項1から請求項2までのいずれか1項に記載の回転子。
- [請求項4] 前記磁石挿入孔と前記回転子鉄心の外周面との径方向の最小距離をT1とし、前記極間孔と前記回転子鉄心の外周面との径方向の最小距離をT2とした場合、 $t \leq T1 \leq T2$ を満足する、
請求項1から請求項3までのいずれか1項に記載の回転子。
- [請求項5] 前記極間孔は、径方向の最小距離をZとした場合、 $Y \leq Z$ を満足する、
請求項1から請求項4までのいずれか1項に記載の回転子。
- [請求項6] 前記極間孔は、 $Y > Z$ を満足する、
請求項1から請求項4までのいずれか1項に記載の回転子。

- [請求項7] 前記磁石挿入孔同士の周方向の中心が、前記極間孔の周方向幅の中心である、
請求項1から請求項6までのいずれか1項に記載の回転子。
- [請求項8] 前記極間孔は、角部に設ける丸みの半径を R とした場合、 $0.2 \leq R \leq Y \times 0.5$ を満足する、
請求項1から請求項7までのいずれか1項に記載の回転子。
- [請求項9] 前記極間孔は、前記回転子鉄心の外径側に頂点を有する三角形で構成される、
請求項1から請求項8までのいずれか1項に記載の回転子。
- [請求項10] 前記極間孔は、形状が円形もしくは前記回転子鉄心の外径側に伸びる楕円形で構成される、
請求項1から請求項8までのいずれか1項に記載の回転子。
- [請求項11] 前記永久磁石は、鉄、ネオジム、ボロンを含有する希土類磁石である、
請求項1から請求項10までのいずれか1項に記載の回転子。
- [請求項12] 前記磁石挿入孔と前記極間孔との周方向の最小距離 X の範囲は、 $2t \leq X$ を満足する、
請求項1から請求項11までのいずれか1項に記載の回転子。
- [請求項13] 固定子と回転子を備えた電動機であって、
前記固定子は、電磁鋼板を軸方向に積層して構成された固定子鉄心と、該固定子鉄心のティースに巻線が巻回されて構成され、
前記巻線は、分布巻で構成され、
前記固定子の内径側にエアギャップを介して対向する位置に、請求項1から請求項12までのいずれか1項に記載の回転子を備える、
電動機。
- [請求項14] 前記巻線の導体部は、銅もしくはアルミニウムで構成される、
請求項13記載の電動機。
- [請求項15] 請求項13から請求項14までのいずれか1項に記載の電動機と、

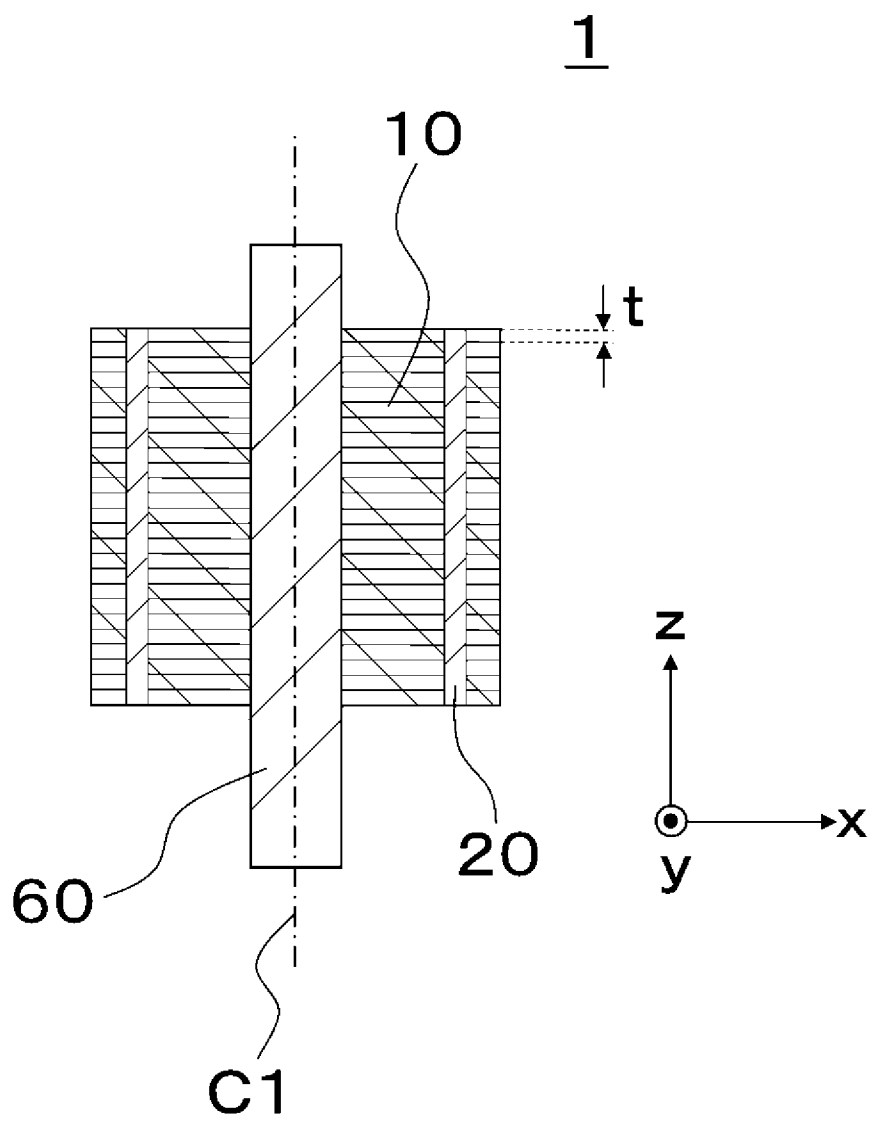
前記電動機によって駆動する圧縮機構と、を備えた、
圧縮機。

[請求項16] 請求項15記載の圧縮機と、凝縮器と、膨張弁と、蒸発器と、を備えた、
冷凍サイクル装置。

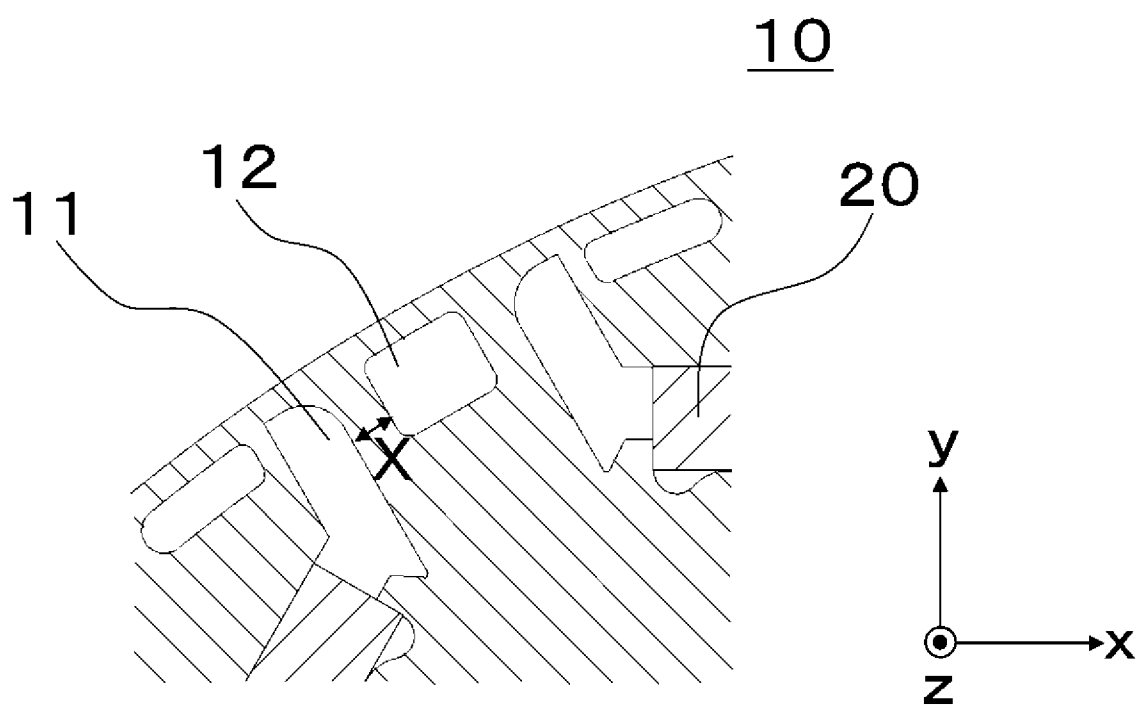
[図1]



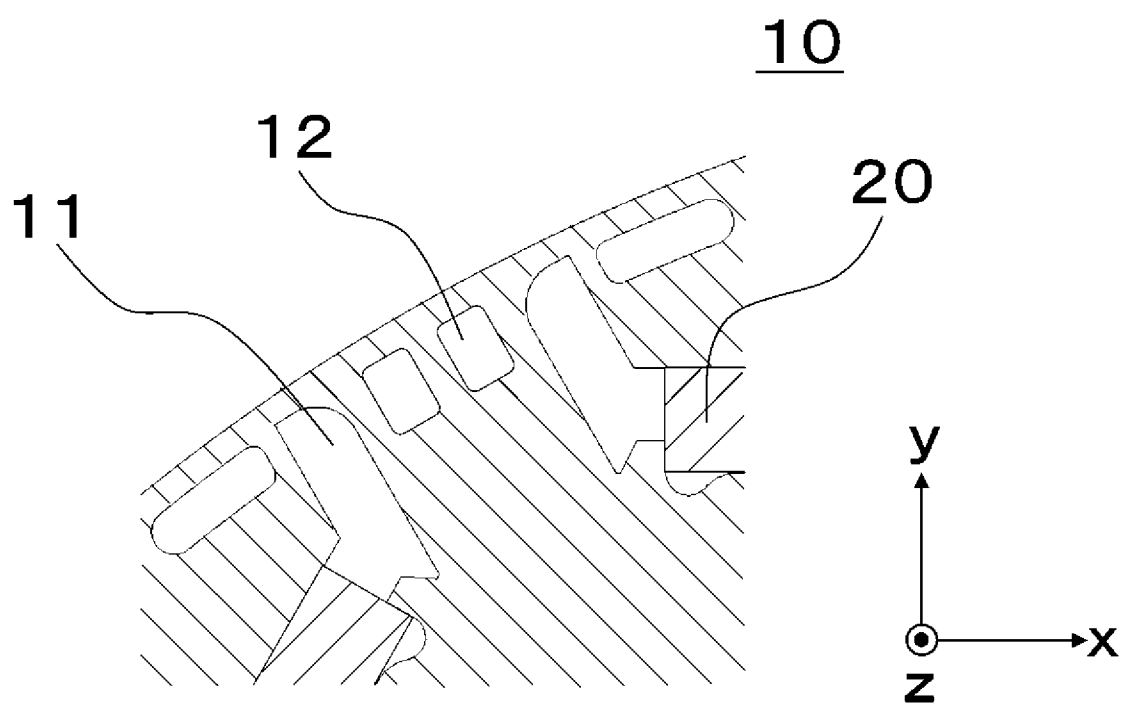
[図2]



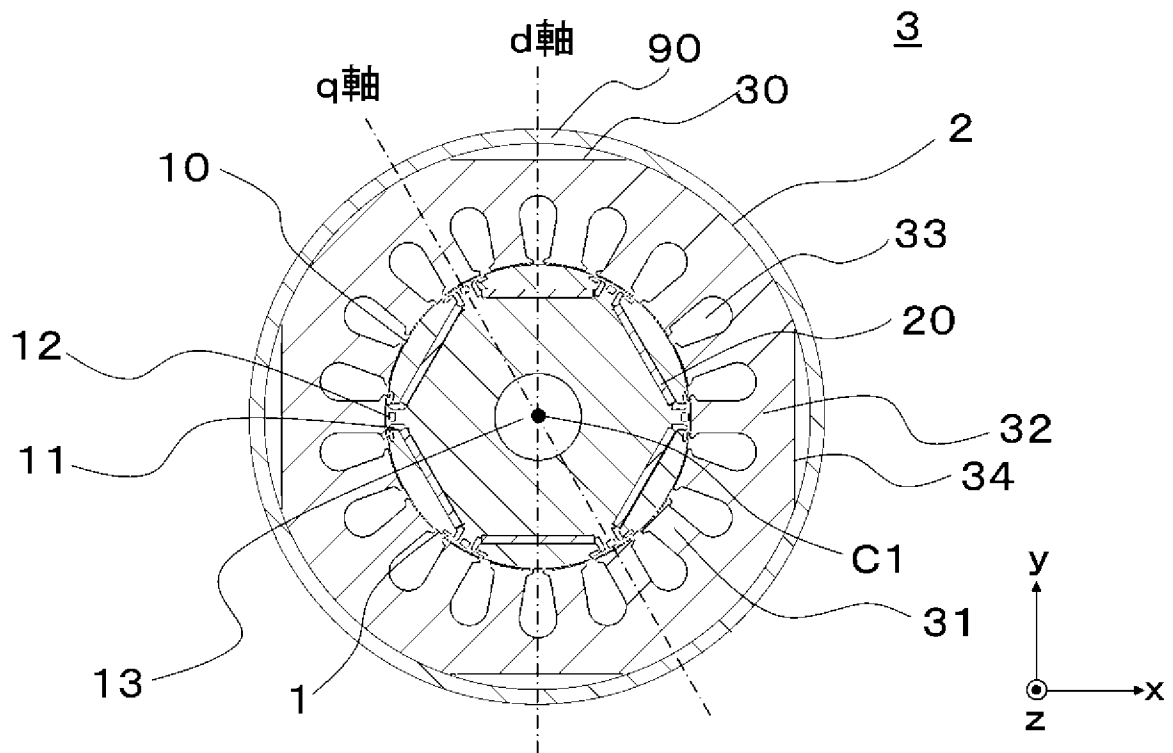
[図3]



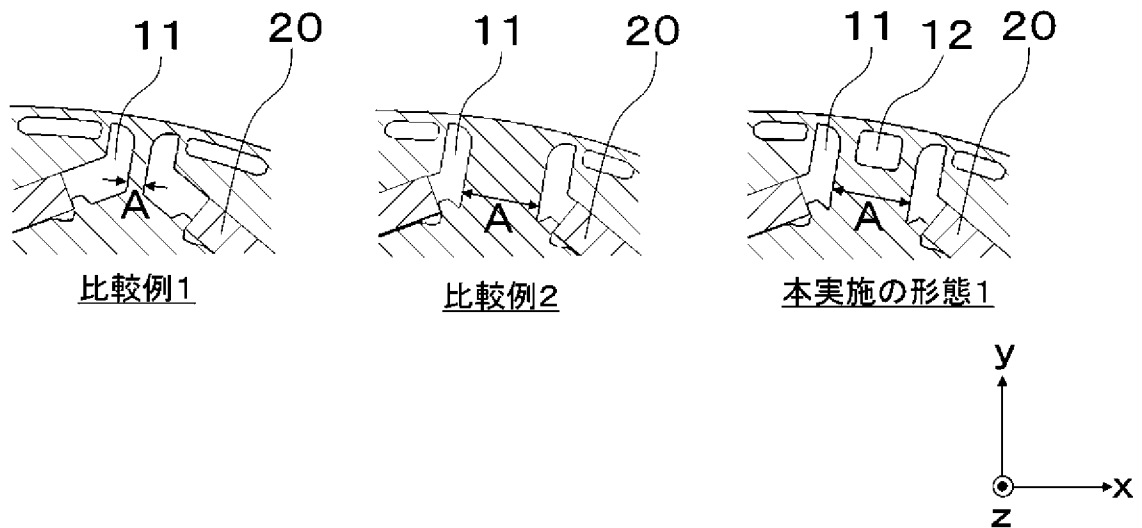
[図4]



[図5]



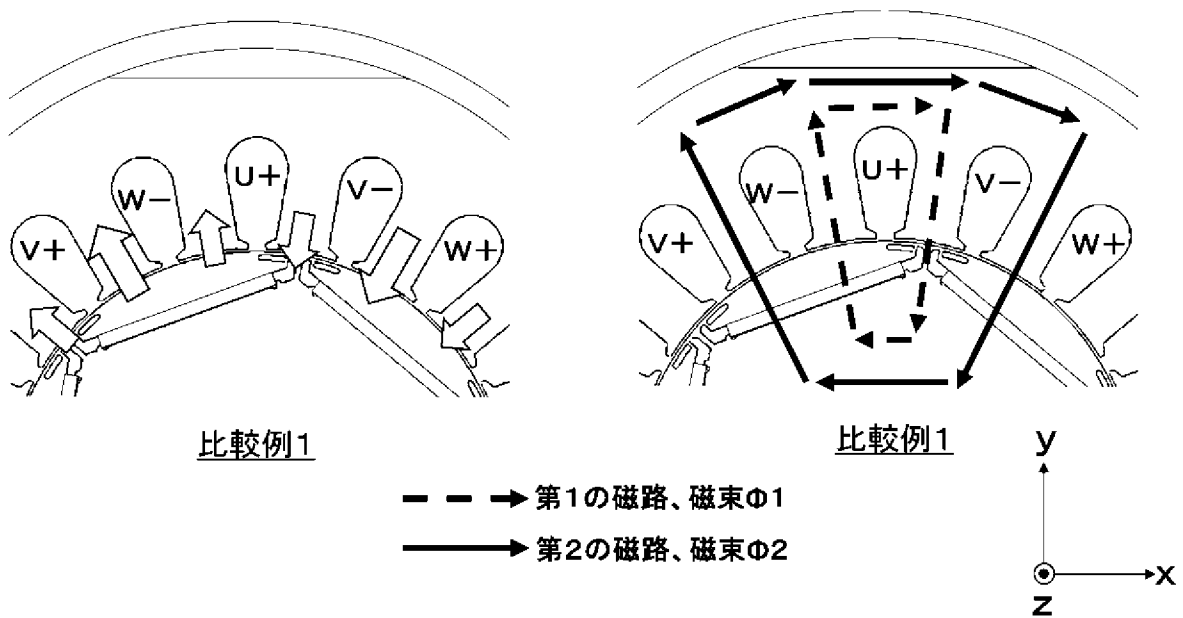
[図6]



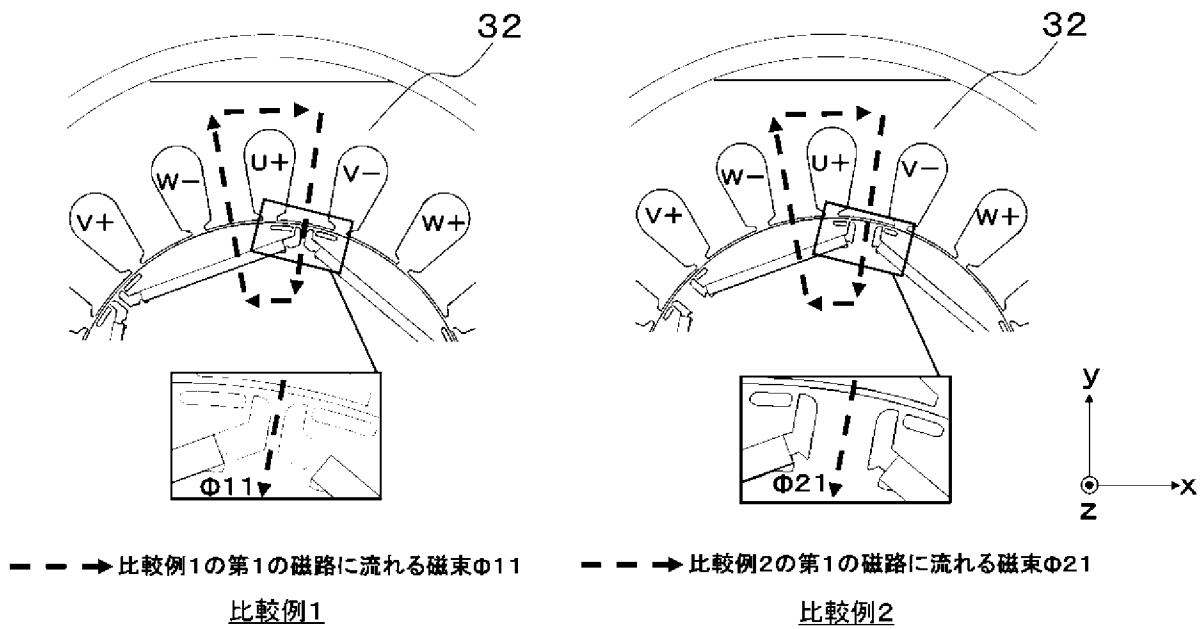
[図7]

	比較例1	比較例2	本実施の形態1
固定子鉄損[W]	203.4	207.8	198.5
回転子鉄損[W]	27.2	32.7	28.1
圧縮機鉄損[W]	0.9	3.6	1.4
合計[W]	231.5	244.2	228.0

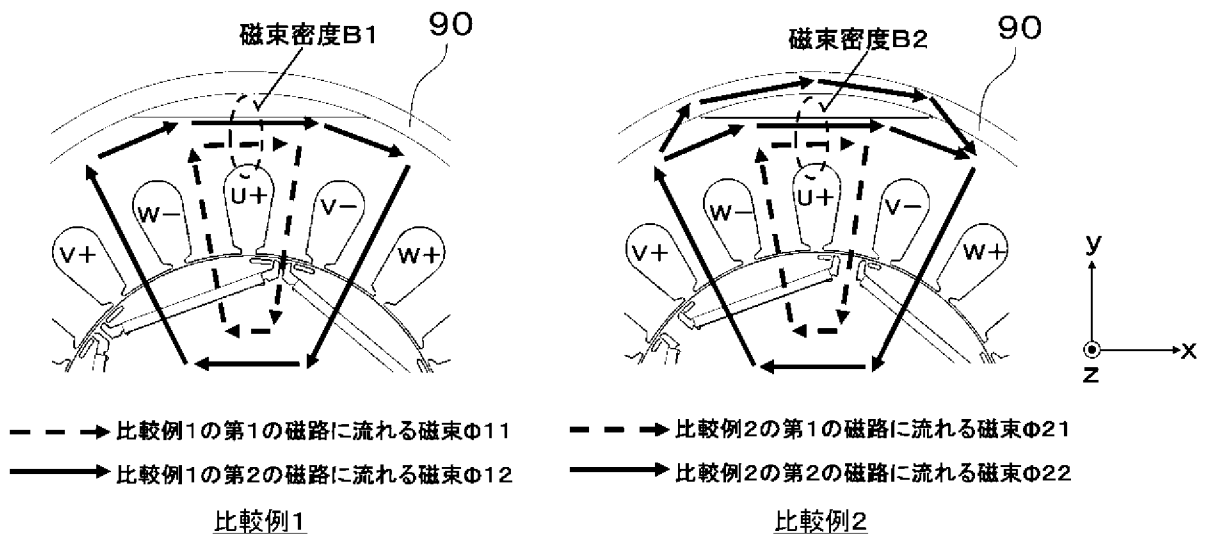
[図8]



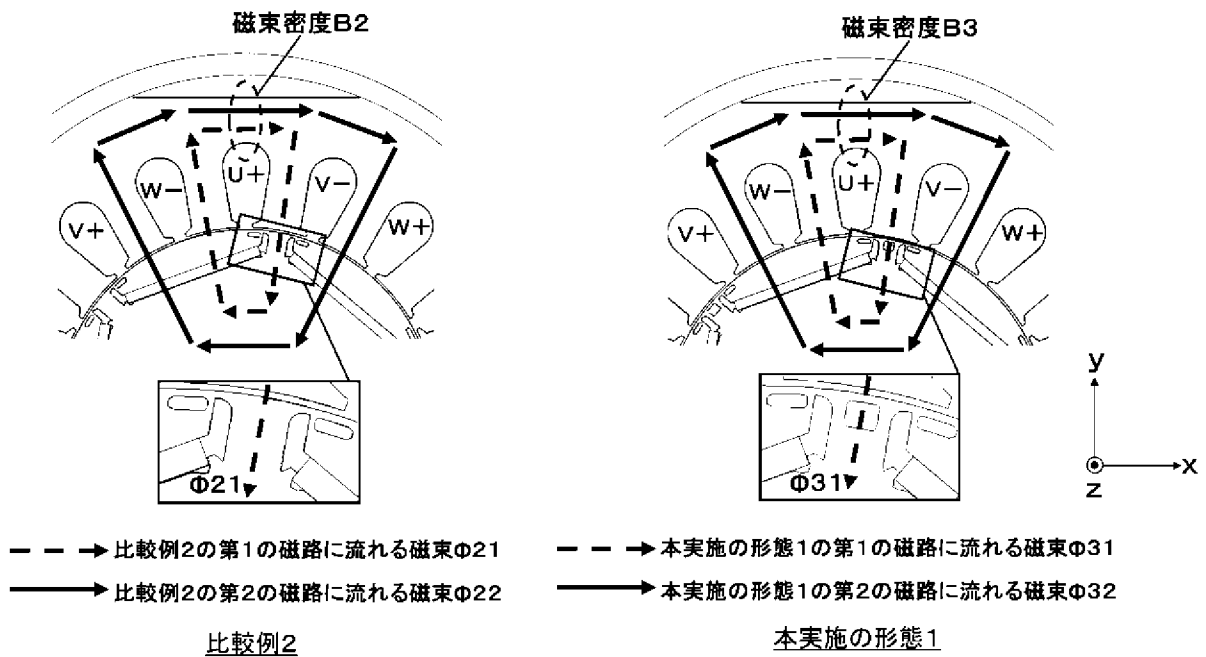
[図9]



[図10]



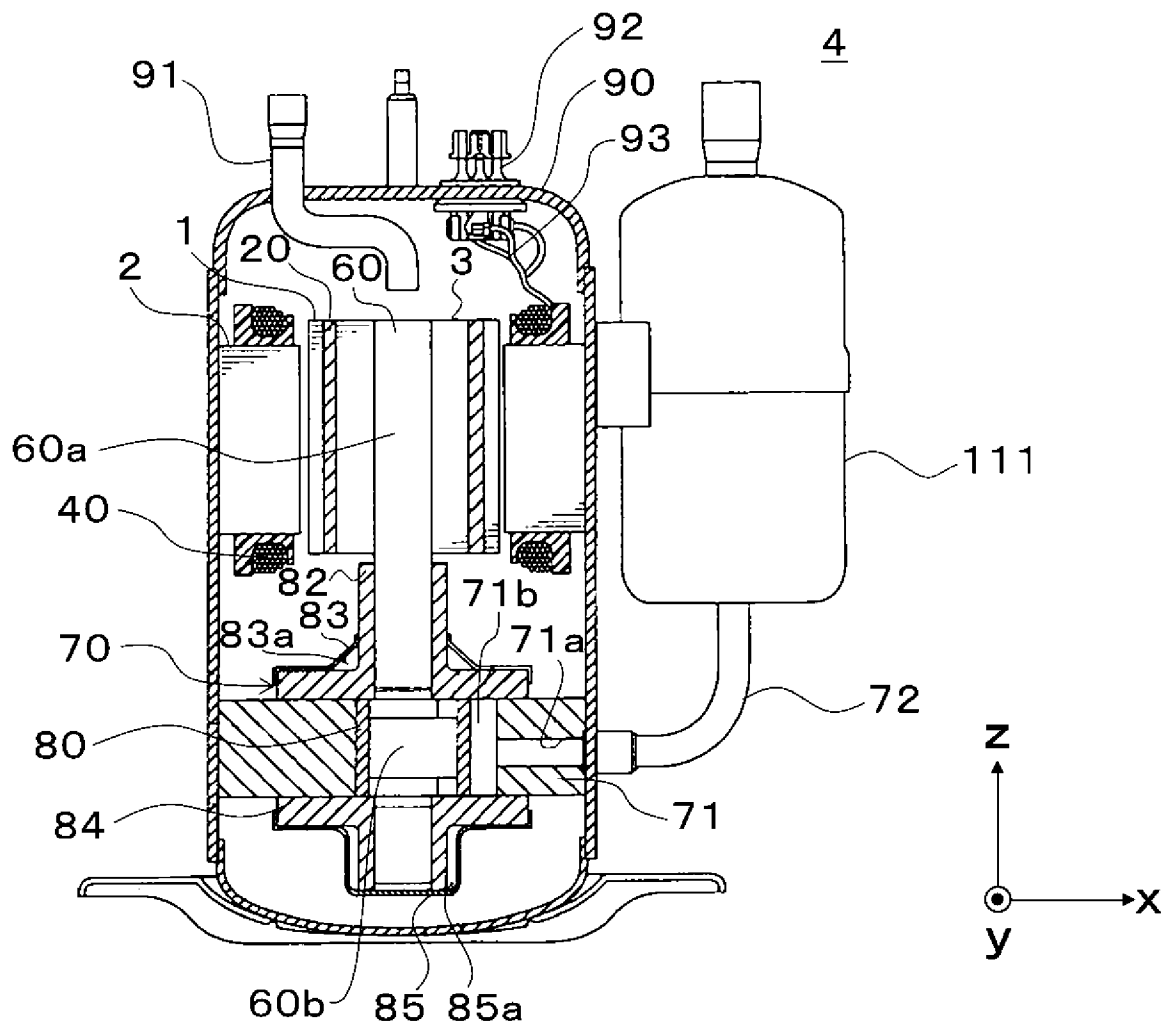
[図11]



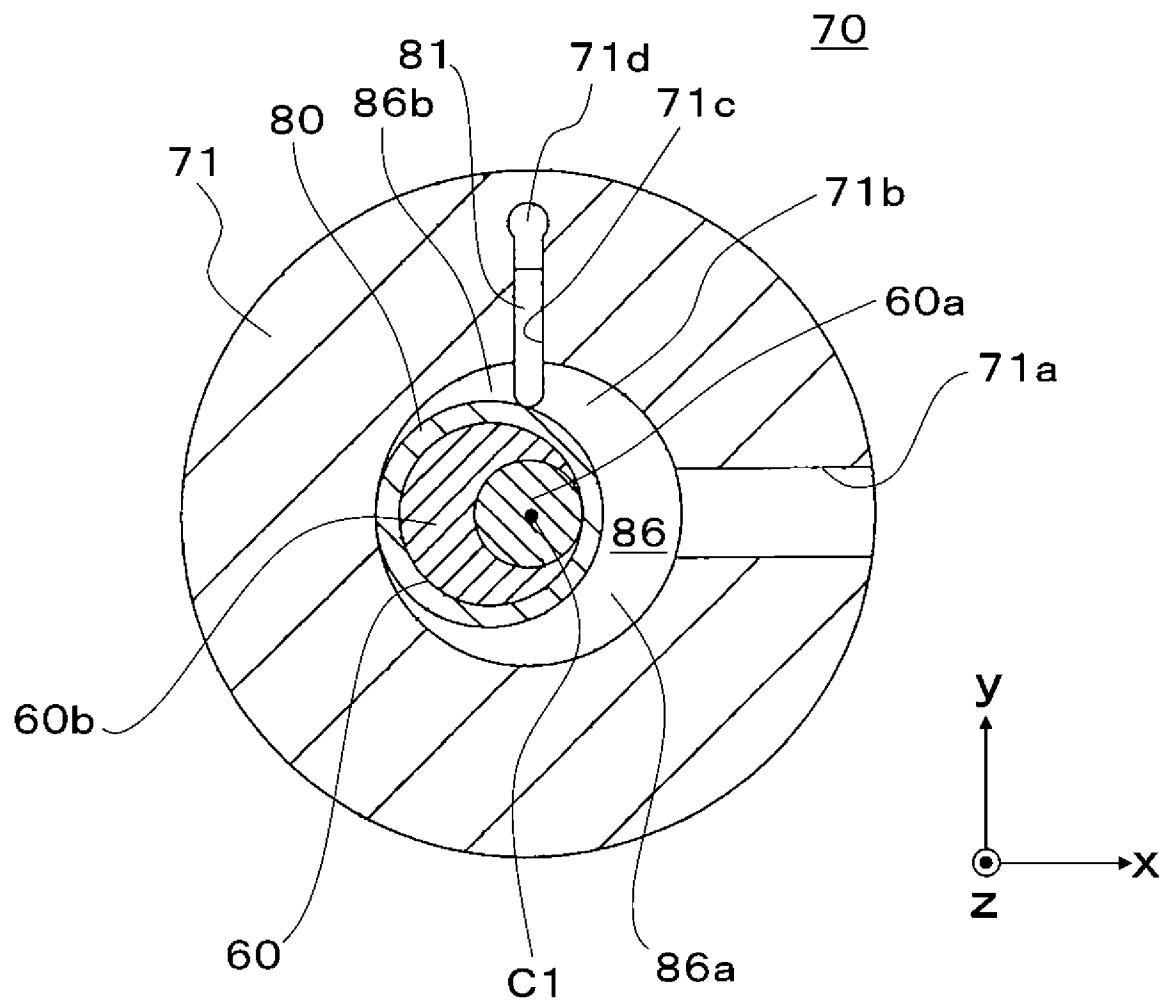
[図12]

	比較例1	比較例2	本実施の形態1
鉄損[W]	231.5	244.2	228.0
銅損[W]	161.8	145.5	149.3
合計損失[W]	393.3	389.7	377.3

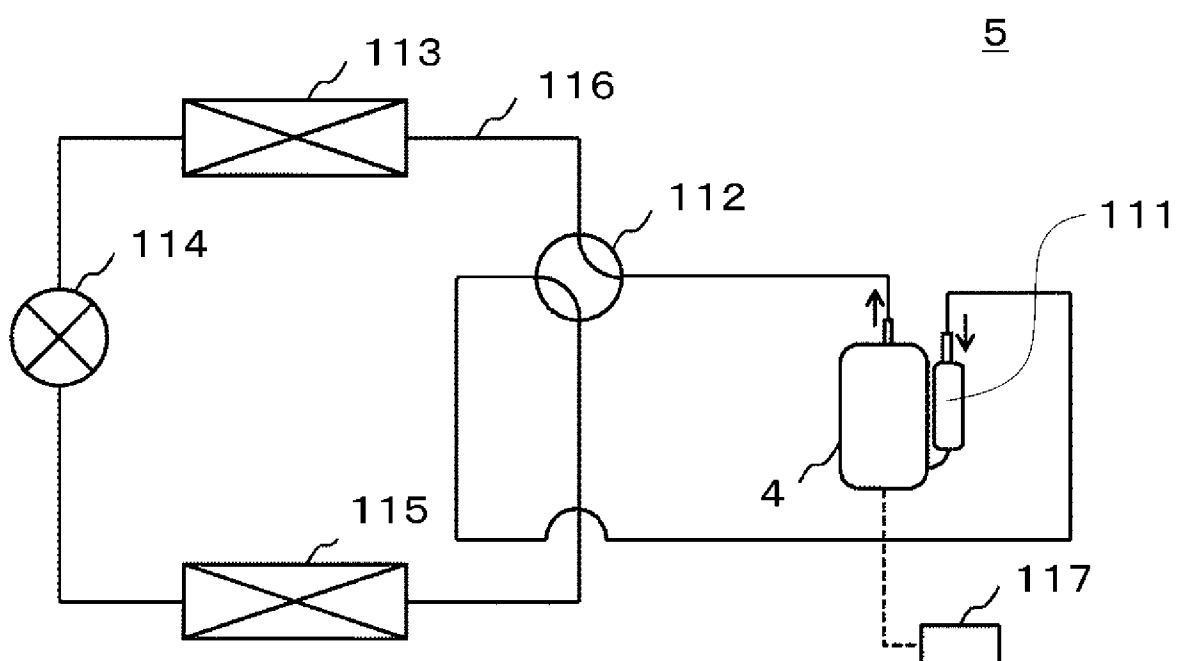
[図13]



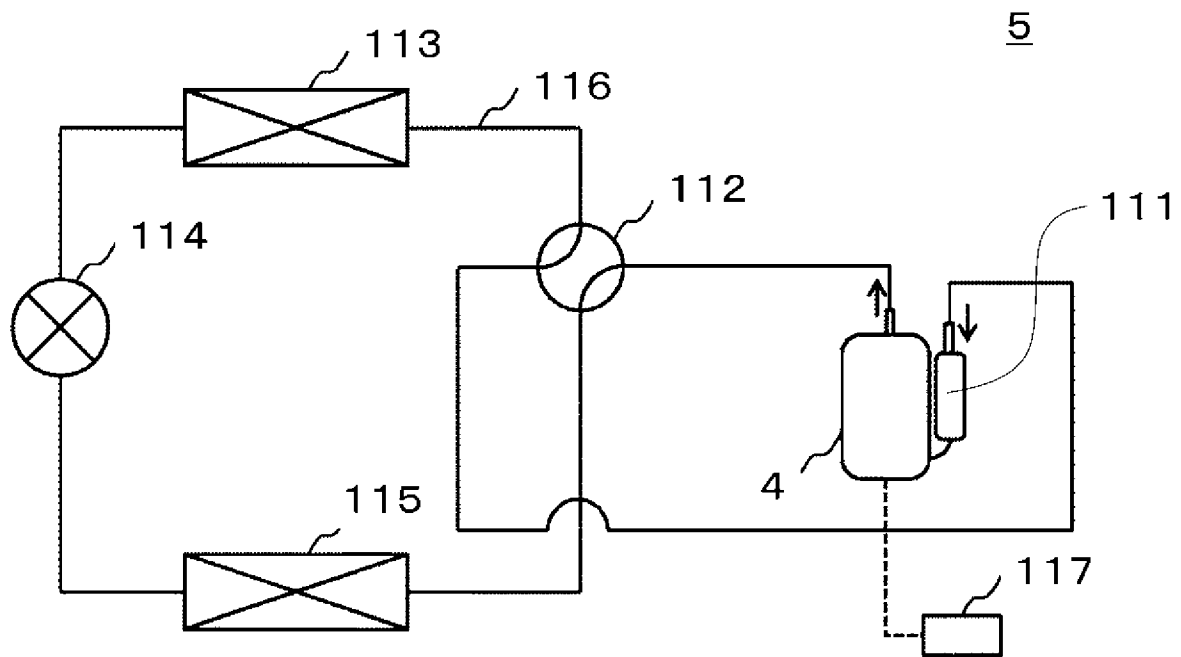
[図14]



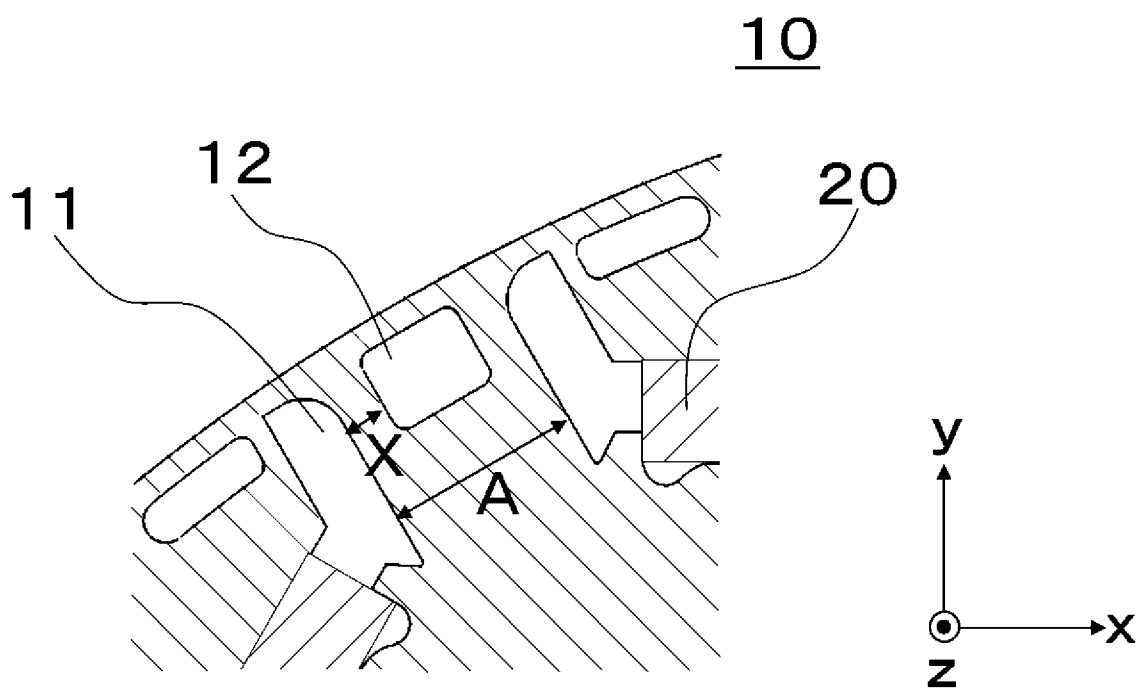
[図15]



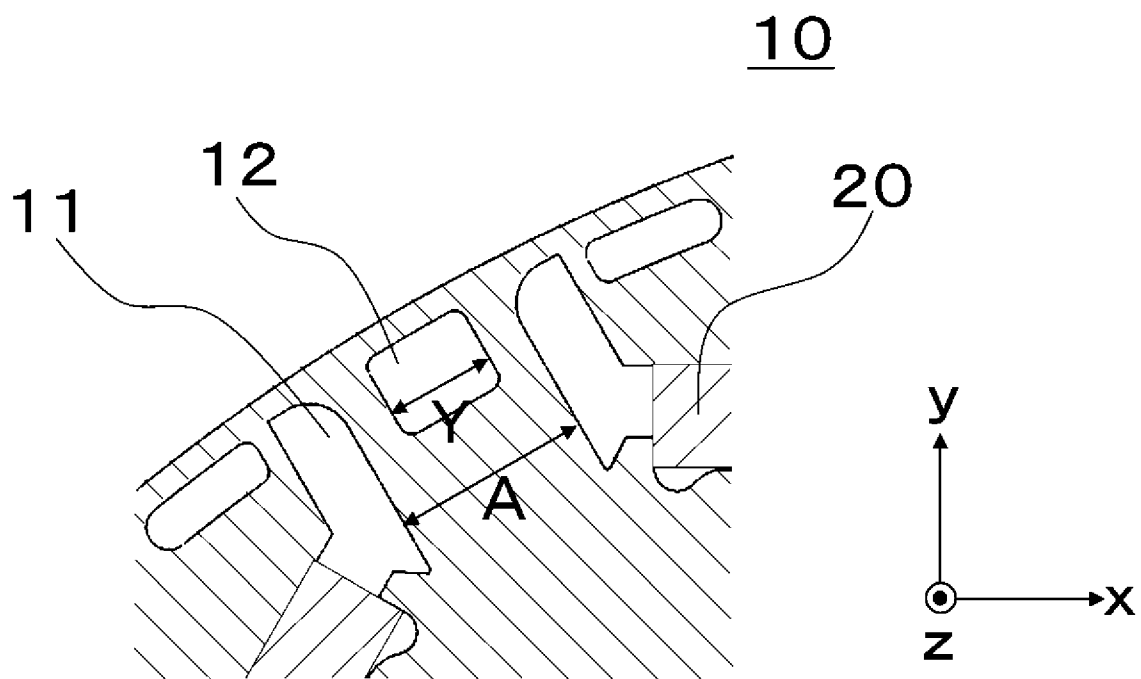
[図16]



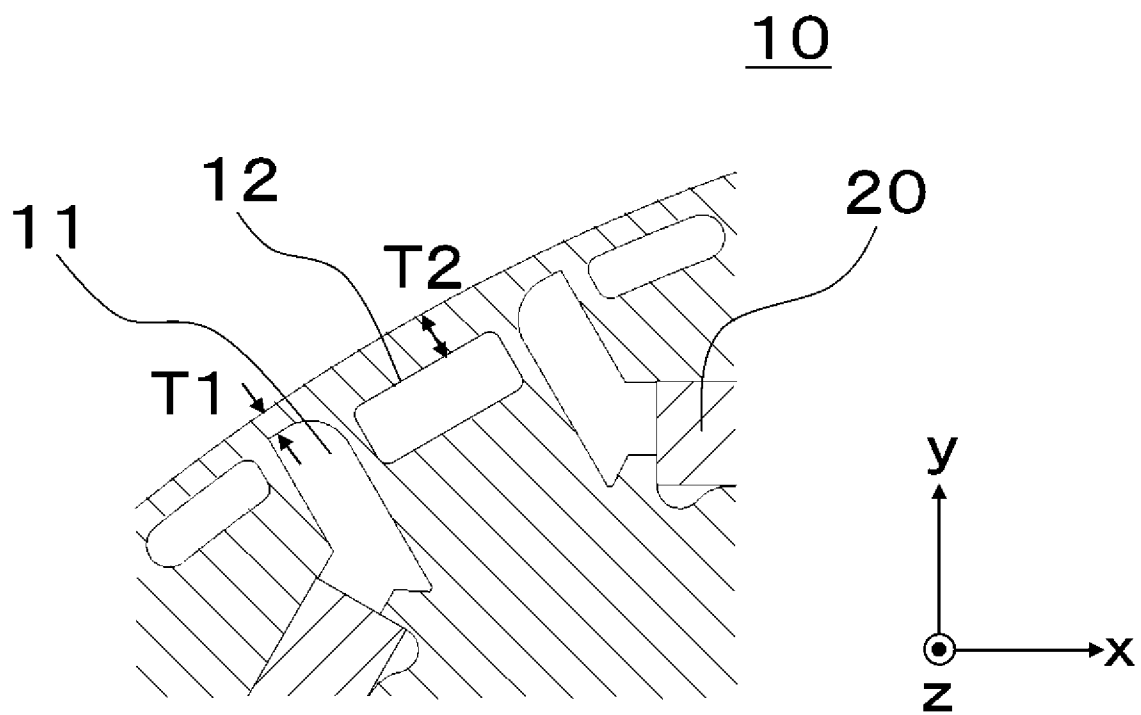
[図17]



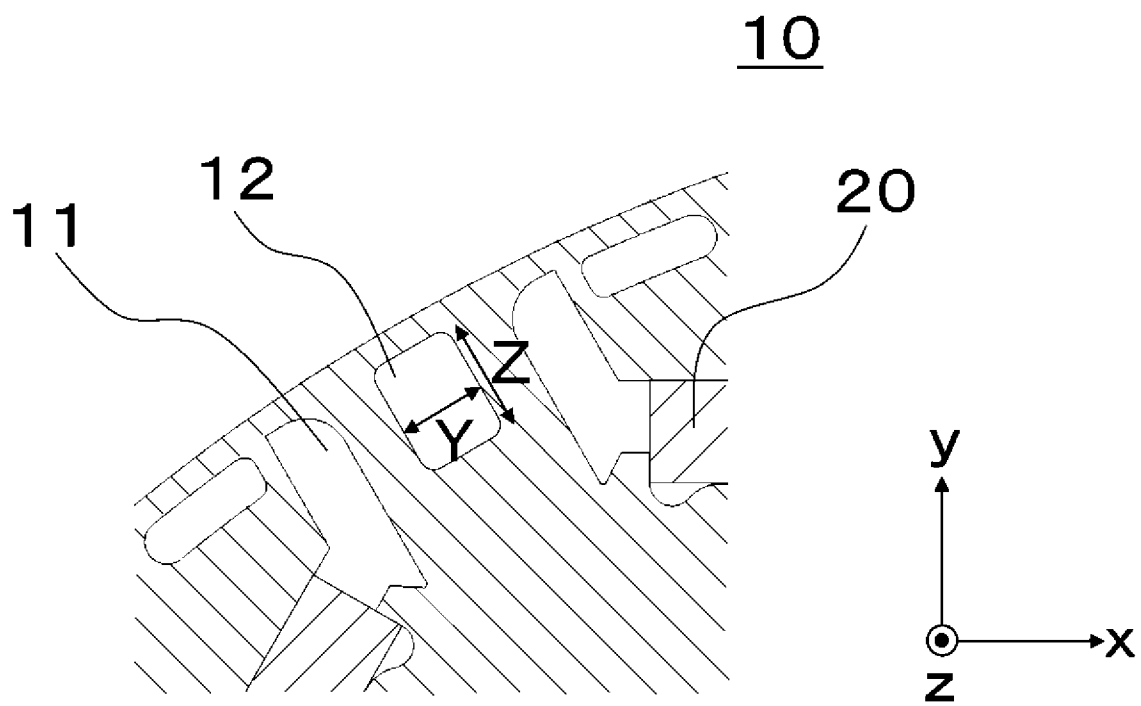
[図18]



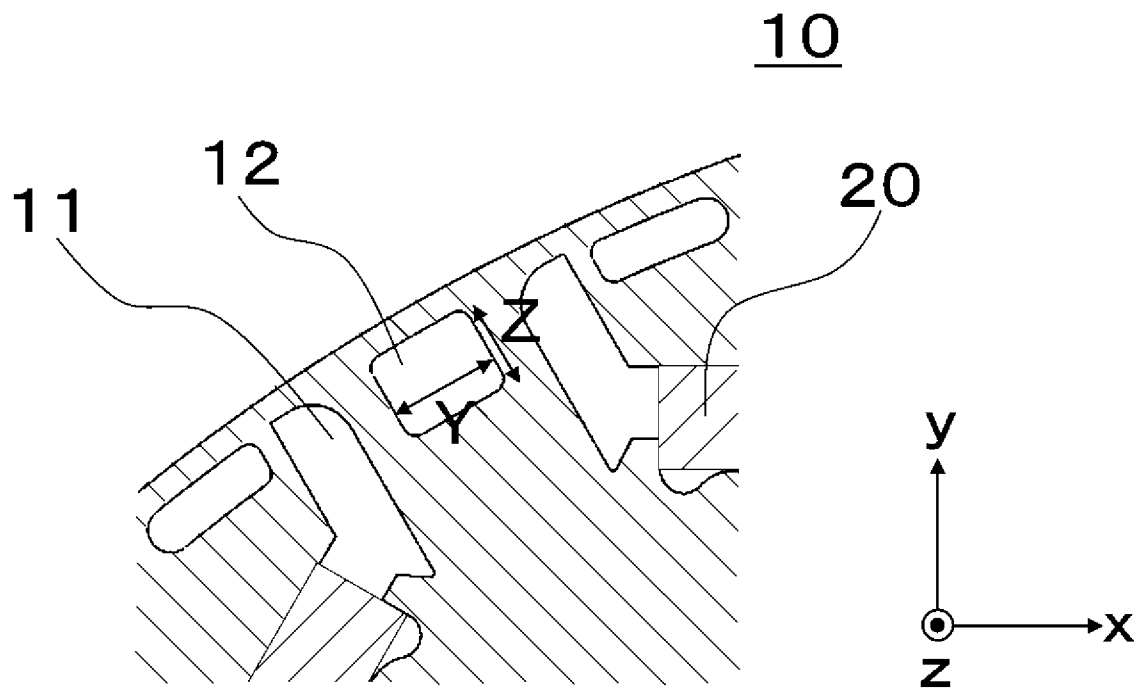
[図19]



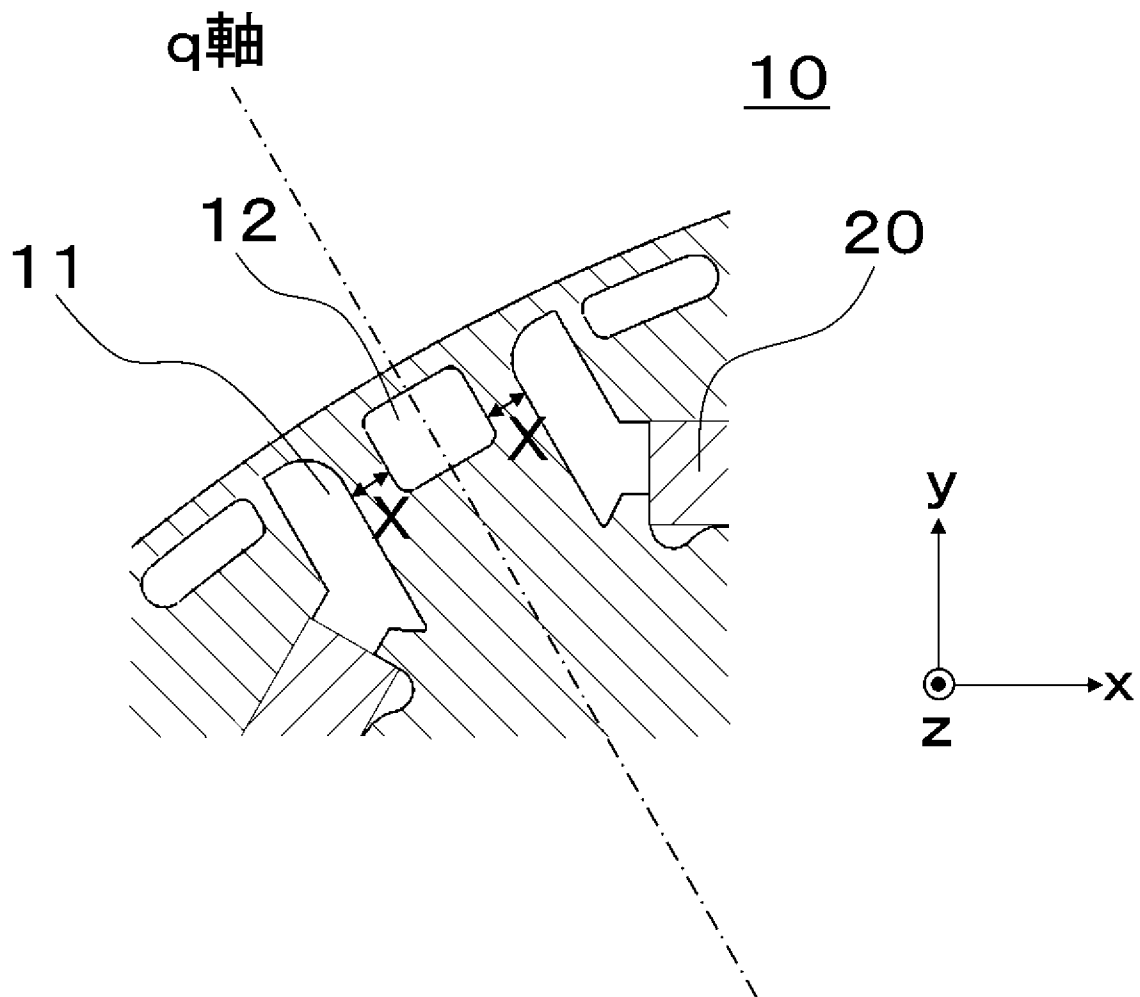
[図20]



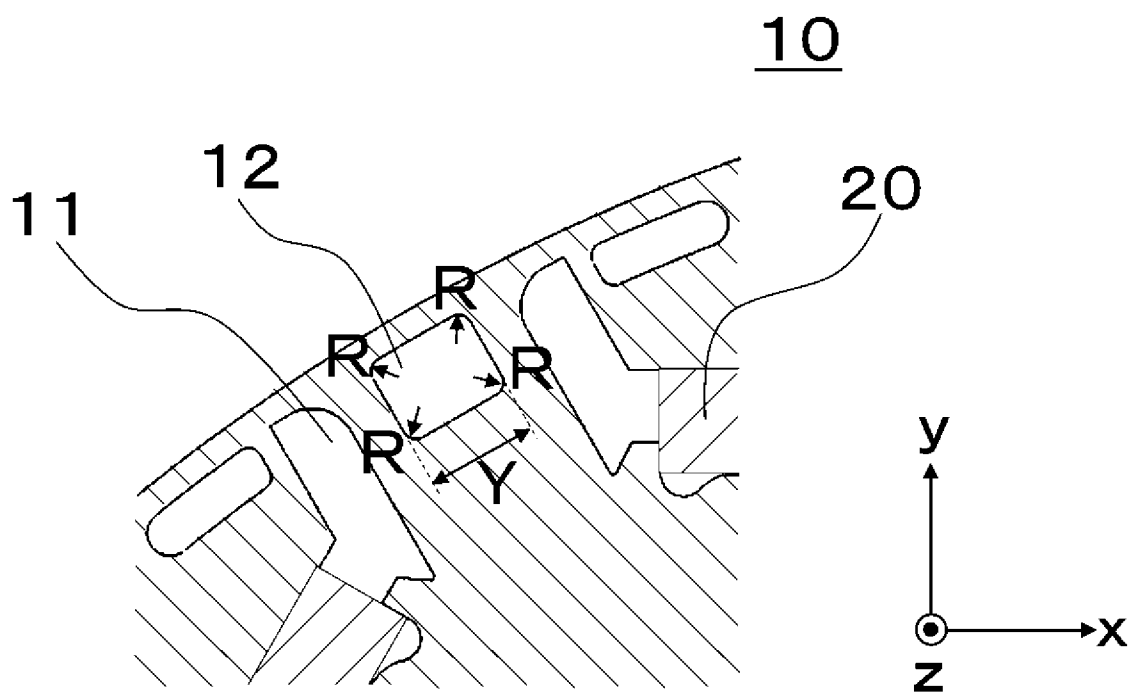
[図21]



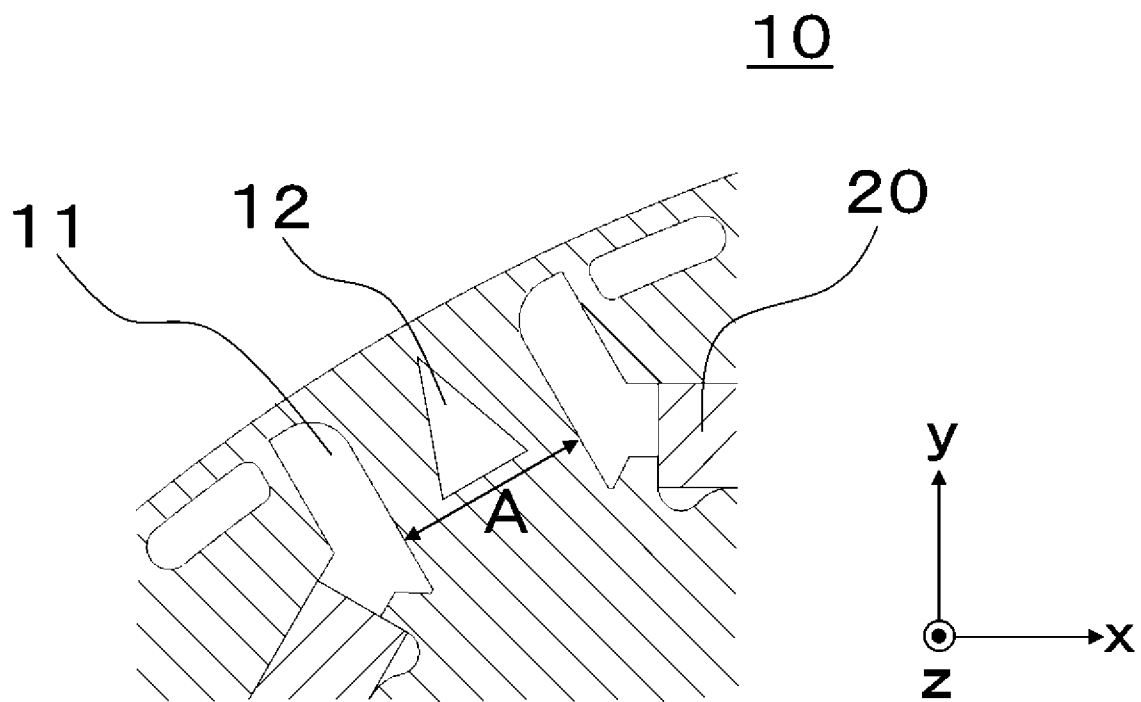
[図22]



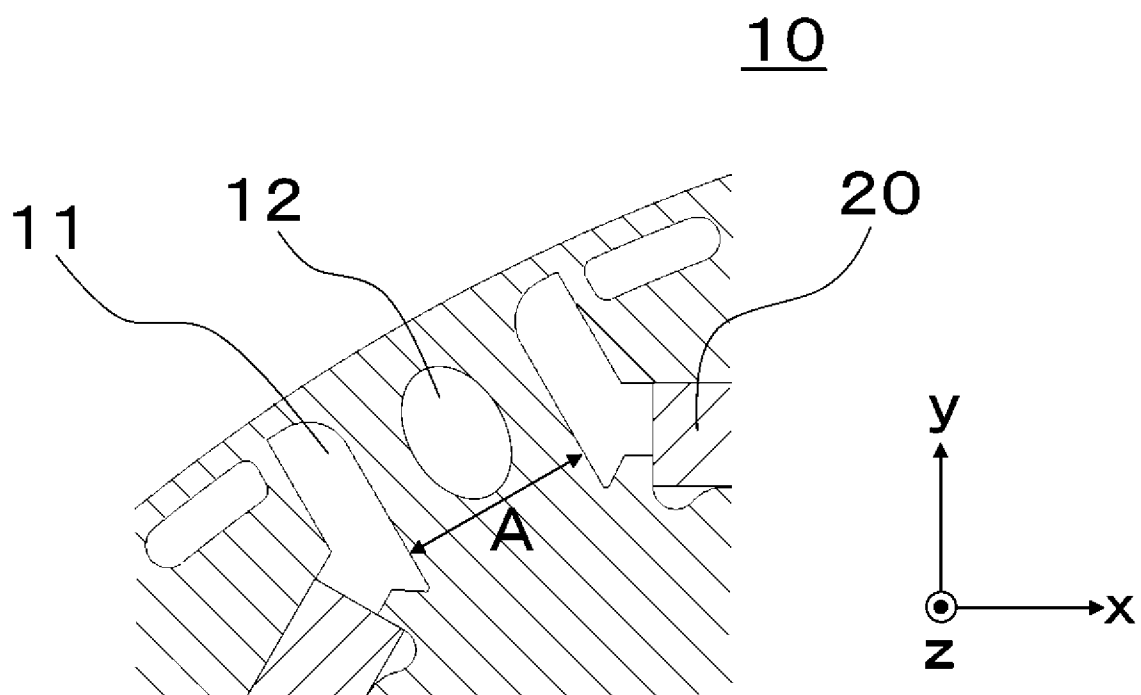
[図23]



[図24]



[図25]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/003717

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 1971-2023

Registered utility model specifications of Japan 1996-2023

Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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	JP 2000-245087 A (FUJITSU GENERAL LIMITED) 08 September 2000 (2000-09-08)	1-3
Y	paragraphs [0016]-[0055], fig. 1-6	4-16
Y	JP 2013-162613 A (SUZUKI KABUSHIKI KAISHA) 19 August 2013 (2013-08-19)	4-16
	paragraph [0024], fig. 1	
Y	JP 2022-129760 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 06 September 2022 (2022-09-06)	6-16
	paragraph [0048], fig. 3	
Y	CN 110620453 A (GUANGDONG MEIZHI COMPRESSOR CO., LTD.) 27 December 2019 (2019-12-27)	9-16
	paragraph [0048]	
A	JP 2021-145515 A (HITACHI ASTEMO, LTD.) 24 September 2021 (2021-09-24)	1-16
	entire text, all drawings	



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

07 March 2023

Date of mailing of the international search report

04 April 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)

3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915

Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/003717

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2000-245087	A	08 September 2000	(Family: none)	
JP	2013-162613	A	19 August 2013	(Family: none)	
JP	2022-129760	A	06 September 2022	US 2022/0271584 A1 paragraph [0053], fig. 3 CN 114977583 A	
CN	110620453	A	27 December 2019	(Family: none)	
JP	2021-145515	A	24 September 2021	(Family: none)	

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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2023年</td> </tr> </table> 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）			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年
日本国実用新案公報	1922 - 1996年									
日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年									
日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年									
日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年									
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	JP 2000-245087 A（株式会社富士通ゼネラル）08.09.2000（2000 - 09 - 08） 段落0016 - 0055、図1 - 6	1-3								
Y		4-16								
Y	JP 2013-162613 A（スズキ株式会社）19.08.2013（2013 - 08 - 19） 段落0024、図1	4-16								
Y	JP 2022-129760 A（三菱電機株式会社）06.09.2022（2022 - 09 - 06） 段落0048、図3	6-16								
Y	CN 110620453 A（GUANGDONG MEIZHI COMPRESSOR CO., LTD.）27.12.2019（2019 - 12 - 27） 段落0048	9-16								
A	JP 2021-145515 A（日立Astemo株式会社）24.09.2021（2021 - 09 - 24） 全文、全図	1-16								
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。										
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な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 07.03.2023		国際調査報告の発送日 04.04.2023								
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） 島倉 理 3V 4131 電話番号 03-3581-1101 内線 3357								

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/JP2023/003717

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2000-245087	A	08.09.2000	(ファミリーなし)	
JP	2013-162613	A	19.08.2013	(ファミリーなし)	
JP	2022-129760	A	06.09.2022	US 2022/0271584 A1	
				段落 0 0 5 3、図 3	
				CN 114977583 A	
CN	110620453	A	27.12.2019	(ファミリーなし)	
JP	2021-145515	A	24.09.2021	(ファミリーなし)	