

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-86319

(P2006-86319A)

(43) 公開日 平成18年3月30日(2006.3.30)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 F 41/02 (2006.01)	HO 1 F 41/02 G	5 E O 6 2
HO 2 K 1/27 (2006.01)	HO 2 K 1/27 5 O 1 A	5 H 6 2 1
HO 2 K 15/03 (2006.01)	HO 2 K 15/03 C	5 H 6 2 2
HO 2 K 21/16 (2006.01)	HO 2 K 21/16 M	

審査請求 有 請求項の数 16 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2004-269228 (P2004-269228)  
 (22) 出願日 平成16年9月16日 (2004.9.16)

(71) 出願人 000006013  
 三菱電機株式会社  
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号  
 (74) 代理人 100094916  
 弁理士 村上 啓吾  
 (74) 代理人 100073759  
 弁理士 大岩 増雄  
 (74) 代理人 100093562  
 弁理士 児玉 俊英  
 (74) 代理人 100088199  
 弁理士 竹中 岑生  
 (72) 発明者 石見 泰造  
 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
 菱電機株式会社内

最終頁に続く

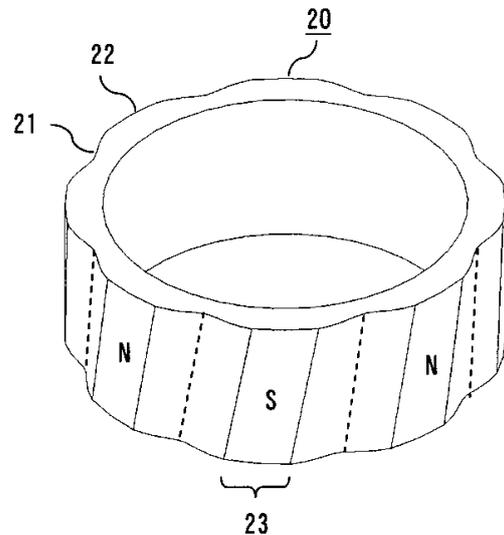
(54) 【発明の名称】 リング型焼結磁石

(57) 【要約】

【課題】 強力な磁力を有する希土類等から構成されるリング型焼結磁石であって、外径円周方向に凹凸部を形成し、その凹凸部を軸方向にスキューすることにより、回転方向の磁化分布の歪を低減した上でさらにコギングトルクを低減することを目的とする。

【解決手段】 磁性粉末を磁場で配向させ、圧縮成形し、焼結工程を経て製造されるリング型焼結磁石において、少なくともリング軸方向の一部領域においてリング外径の円周方向に周期的な凹凸形状 2 1, 2 2 が形成され、凹凸形状 2 1, 2 2 が軸方向の位置により変化すると共に、磁石の磁極が凹凸形状 2 1, 2 2 に沿って周期的に形成され、磁極の境界が凹部 2 1 に設けられている。特に、凹凸形状 2 1, 2 2 が軸方向において回転して斜めに形成されている。また、凹凸形状 2 1, 2 2 が正弦波の絶対値の波形状に近くなるように形成されている。

【選択図】 図3



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

磁性粉末を磁場で配向させ、圧縮成形し、焼結工程を経て製造されるリング型焼結磁石において、少なくともリング軸方向の一部領域においてリング外径の円周方向に周期的な凹凸形状が形成され、当該凹凸形状が軸方向の位置により変化すると共に、当該磁石の磁極が上記凹凸形状に沿って形成され、上記磁極の境界が上記凹部に設けられていることを特徴とするリング型焼結磁石。

## 【請求項 2】

上記凹凸形状は、軸方向において回転して斜めに形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載のリング型焼結磁石。

10

## 【請求項 3】

上記凹凸形状が正弦波の絶対値の波形状に近くなるように形成されていることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載のリング型焼結磁石。

## 【請求項 4】

リング軸に垂直な断面形状の凸部における最外周部を、リング軸を中心とした円の一部で構成したことを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載のリング型焼結磁石。

## 【請求項 5】

リング軸に垂直な断面形状の全ての凸部を、リング軸を中心とした円の一部で構成したことを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載のリング型焼結磁石。

20

## 【請求項 6】

上記凸部に構成した円の一部（円弧）と上記凹部の境界に R（アール）部を設けたことを特徴とする請求項 4 又は請求項 5 に記載のリング型焼結磁石。

## 【請求項 7】

上記凸部に形成した円の一部（円弧）である領域の精度が、リング型焼結磁石に対向して配置するステータとの間隔の 1/5 以下であることを特徴とする請求項 4 又は請求項 5 に記載のリング型焼結磁石。

## 【請求項 8】

リング軸方向の位置によって上記凹部の形が変化しており、軸方向の位置に従って上記凹部の幅又は深さが連続的に変化していることを特徴とする請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載のリング型焼結磁石。

30

## 【請求項 9】

上記凹部の幅又は深さの変化形状が、軸方向中心位置に対して対称に構成されていることを特徴とする請求項 8 に記載のリング型焼結磁石。

## 【請求項 10】

上記凹部の周方向幅における中心位置が、リング軸方向の位置に従って回転して斜めに形成されていることを特徴とする請求項 8 又は請求項 9 に記載のリング型焼結磁石。

## 【請求項 11】

リング軸方向の端部において、リング外周が円であることを特徴とする請求項 1 から請求項 10 のいずれか 1 項に記載のリング型焼結磁石。

40

## 【請求項 12】

上記凹部の周方向幅における中心位置がリング軸方向の位置に従って回転しており、リング軸の位置変化量に対する上記回転角度の割合が軸方向の両端の領域で小さくなっていることを特徴とする請求項 1 から請求項 11 のいずれか 1 項に記載のリング型焼結磁石。

## 【請求項 13】

請求項 1 から請求項 12 のいずれか 1 項のリング型焼結磁石が複数個の軸方向に積重ねられて一体構成されていることを特徴とするリング型焼結磁石。

## 【請求項 14】

複数個軸方向に積み重ねられているリング型焼結磁石において、上記重なる面は同一の形状が重なるように積重ねられて構成されていることを特徴とする請求項 13 に記載のリン

50

グ型焼結磁石。

【請求項 15】

複数個軸方向に積み重ねられているリング型焼結磁石において、上記重なる面は同一の形状にならないようにずらして構成されていることを特徴とする請求項 13 に記載のリング型焼結磁石。

【請求項 16】

複数個軸方向に積み重ねられているリング型焼結磁石において、個々の磁石はリング軸方向の位置によって凹部の形が変化しており、上記凹部の周方向幅における中心位置が軸方向の位置に従い回転しており、それぞれ重ねられた磁石の回転の方向が異なっていることを特徴とする請求項 13 に記載のリング型焼結磁石。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、磁性粉末を磁場で配向させ、圧縮成形し、焼結工程を経て製造されるリング型焼結磁石の構造に関するものである。

【背景技術】

【0002】

永久磁石モータのインナーロータに使用されるラジアル配向リング型磁石は、コギングトルク等の回転むらを低減するために、磁極を軸方向に斜めに形成するスキュー着磁されることが多い。しかし、ラジアル配向されたリング型磁石の磁化分布は矩形であり、高次成分による歪を多く含むため、スキュー着磁だけでは、十分にコギングトルクを低減する効果が得られない場合が多かった。

20

【0003】

そのため、従来、特許文献 1 又は特許文献 2 に示すように、リング型磁石の外周に凹凸を形成し、かつ凹凸部を軸方向にスキューする方法があった。この方法によると、回転方向の磁化分布の歪を低減すると共に、スキューによりさらにコギングトルクを低減することができる。

【0004】

例えば、特許文献 1 に示される円筒状磁石は、磁性粉を結合樹脂で結合してなる一体型の磁石であり、その内径は一定であるが、外径が円周方向に 90 度間隔をおいて減少している部分を有し、これら 4 つの部分に磁石の肉厚（径方向の厚さ）が減少する薄肉部（肉厚変化部）が形成されている。この 4 つの薄肉部は等角度間隔で形成されている。そして、各薄肉部は、円筒状磁石の円周方向の位置が、円筒状磁石の軸方向に沿って連続的に変化している。すなわち、薄肉部は円筒状磁石の軸に対し、所定角度傾斜して形成されている。

30

【0005】

また、特許文献 2 には、界磁を形成するために、樹脂で形成されたマグネットを用いたブラシレス DC モータにおいて、固定子の内周面あるいは外周面と対抗して設けられるマグネットの面を、周方向に凹凸状に形成すると共に、この凹凸部を軸方向にスキューしてマグネットを形成したものが示されている。

40

【0006】

【特許文献 1】特開平 9 - 35933 号公報（図 3、段落 0028 ~ 0029、0037）

【特許文献 2】特開 2001 - 211581 号公報（請求項 1、図 1）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

上記特許文献 1 又は特許文献 2 に示された磁石は、磁性粉末を熱硬化性樹脂または熱可塑性樹脂を結合剤として成形した磁石であり、ボンド磁石と呼ばれる。このボンド磁石は磁力が弱く、小型で出力の大きなモータへ適用ができない。例えば、希土類ボンド磁石の

50

場合、最大エネルギー積は10～25 MGOe程度で、ネオジム焼結磁石の40 MGOeと比べると磁力が弱く、強力な磁力が要求されるサーボモータ等には適用できない。

【0008】

また、特許文献1で示すように、樹脂磁石を特殊な押出成形機で成形して製造する必要がある。この成形方法によると、成形時に磁界を印加して磁石の異方化による磁力向上を行う手法が適用できないため、本来磁力の弱い樹脂磁石の磁力がさらに低くなってしまう問題がある。

【0009】

さらに、上記のような樹脂磁石の押出成形機においては、磁極を軸方向に斜めに回転させて形成している形状に限定される。しかしながら、モータ用のリング型磁石では、軸方向において磁石自身の磁気特性は必ずしも一様でないこと、リング型磁石からステータへの磁束の流れやすさであるパーミアンスが軸方向に異なること、ステータの飽和の状況が軸方向に異なることから、さらに磁石の形状を軸方向に変える必要がある。

10

【0010】

一方、強い磁力の得られる希土類焼結磁石では、その製造方法において、粉碎した粉末を磁場成形機で成形して焼結する工程が必要であるので、一般的に焼結後の形状精度がよい。

【0011】

この発明は上記のような課題を解消するためになされたものであり、強力な磁力を有する希土類等から構成されるリング型焼結磁石であって、外径円周方向に凹凸部を形成し、その凹凸部を軸方向にスキューすることにより、回転方向の磁化分布の歪を低減した上でさらにコギングトルクを低減することを目的とする。

20

【0012】

また、リング型焼結磁石の製造過程において焼結後の形状精度が高くない場合でも、コギングトルクを抑制できるリング型焼結磁石を得ることを目的とする。

【0013】

さらに、モータ用のリング型磁石では、リング型磁石の形状をさらに軸方向に変えることで、上記のバラつきを補正し、それらの要因で発生するコギングトルクやトルクリップなどのトルクムラを小さく抑制することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

30

【0014】

この発明は、磁性粉末を磁場で配向させ、圧縮成形し、焼結工程を経て製造されるリング型焼結磁石において、少なくともリング軸方向の一部領域においてリング外径の円周方向に周期的な凹凸形状が形成され、凹凸形状が軸方向の位置により変化すると共に、磁石の磁極が凹凸形状に沿って周期的に形成され、磁極の境界が凹部に設けられていることを特徴とする。ここで、凹凸形状が軸方向の位置により変化する代表的な例として、凹凸形状が軸方向において回転して斜めに形成されている場合や、リング軸方向の位置によって凹部の形が変化しており軸方向の位置に従って凹部の幅又は深さが連続的に変化している場合がある。

【発明の効果】

40

【0015】

この発明のリング型焼結磁石によれば、リング軸方向の磁束量のバラつきを少なくする等、磁石の起磁力分布を精度よく制御できるので、コギングトルク等のトルクムラを低減することができる。その結果、モータに組み付けた際、モータとして有効な磁束の量を増すことができ、トルクアップやモータ電流を少なくして銅損低減による効率向上でき、出力の大きなモータが得られる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

以下、この発明を実施するための最良の形態を図に基づいて説明する。

【0017】

50

## 実施の形態 1 .

図 1 はこの発明の実施の形態 1 によるリング型焼結磁石を示す斜視図である。本実施の形態による磁石 10 は、ネオジム (Nd)、鉄 (Fe)、ボロン (B) を主成分としたリング型の焼結磁石であり、リング外径は凹部 11 及び凸部 12 を有する凹凸形状となっている。この凹部 11 及び凸部 12 は、リング型焼結磁石 10 の外径円周方向に周期的に形成されている。図 1 のリング型焼結磁石では、凹部 11 及び凸部 12 がそれぞれ 8 個ずつ所定角度間隔 (45 度間隔) で設けられている。

## 【0018】

上記凹凸形状は、リング型焼結磁石 10 の軸方向に対して所定角度回転して斜めに形成されている。また、リング型焼結磁石 10 の磁極は、上記凹凸形状に沿って軸方向に所定角度回転して斜めに形成され、一般にスキュー着磁が施されている。さらに、磁極 (図 1 のリング型焼結磁石では 8 極) の境界は、凹部 11 に設けられている。

10

## 【0019】

次に、リング型焼結磁石 10 の具体的な構成について説明する。本例の磁石 10 の組成は、Nd ; 30 wt %、B ; 1 wt %、Dy ; 3 wt %、Fe ; 残り wt % である。高周波溶解で混合した原料合金を水素脆性化处理、ジェットミルにより粉碎し、平均粒径 4  $\mu$  m の磁性粉末を得る。その粉末に磁場を加えて磁性結晶の方向をそろえる配向を行い、外径に凹部 11 及び凸部 12 を有するリング形状に圧縮成形する。そして、真空中で 1080、900、600 の焼結・熱処理工程を経て、下記に示す形状のリング焼結体を得る。なお、磁性粉末の磁場成形においては、磁場を加えながら加圧しても、磁場を加えた後、加圧してもよい。

20

## 【0020】

リング型焼結磁石 10 の凹凸形状の詳細について説明する。磁石 10 の軸に垂直な断面の外周の凹凸形状は、回転方向 (円周方向) に対して厚さの変化が正弦波の絶対値の波形状 (正弦波の全波整流波状) になるように形成するのが好ましい。磁石 10 の最大厚さ (凸部 12) は 3 mm、最小厚さ (凹部 11) は 1.8 mm である。軸長は 14 mm、磁石最外径は 30 mm である。本例では磁極数が 8 であるため、正弦波形状の厚さの変化は回転方向 1 周あたり 4 回の変動になる。スキュー角度は凹凸形状が軸長 14 mm の変化に対して 15° 回転している。これは電気角 60° に相当する。

## 【0021】

本例のリング型焼結磁石 10 を使用し、12 スロットのステータと組み合わせて、モータを製作した。コギングトルク測定の結果、凹凸形状のない通常のリング型磁石を用いた場合に対して、コギングトルクを 1/2 以下に低減できた。

30

## 【0022】

以上のように、本実施の形態によるリング型焼結磁石 10 は、ネオジム系焼結磁石で構成されているので、強い磁力があり、モータの高い出力が得られる。さらに、回転方向の磁石の起磁力分布を正弦波に近づけることができ、高調波歪みを低減することができる。この高調波歪み成分は、磁石をモータに組んだ時にモータのトルクムラであるコギングトルクの要因となる。そのため、この高調波歪成分を低減することでコギングトルクを低減することができる。また、磁極を凹凸形状に沿って斜めに形成することによるコギングトルク低減効果も合わせることで、より小さなコギングトルクのモータを実現できる。

40

## 【0023】

さらに、本実施の形態では、N 極と S 極の境界である磁極間は凹部 11 にある。極間はステータの発生する強い逆磁界が加わりやすく、磁石は減磁しやすいが、最も減磁しやすい部分に磁石はなく、減磁による特性変化が少ないといった特長も得られる。

## 【0024】

上記の説明では、磁石 10 の組成が Nd、B、Fe、Dy の例を示したが、Co、Al、Cu、その他添加元素を加えてもよい。磁石 10 の厚さの範囲は磁石の機械強度が許す範囲において大きく変化させることで、より大きな効果を得ることができる。上記の説明では、厚さの変動は正弦波の絶対値の波形状としたが、他の繰返し関数や 2 次関数に従っ

50

た凹部を繰返すことでも、同様の効果を得ることができる。

【0025】

また、スキュー角度は電気角で60～72°の範囲およびその周辺が大きな効果が得られるが、モータの大きさによっては、これ以外の角度でも効果が得られることがある。また、低減したいコギングトルクの成分によっても角度を変えることで対応できる。

【0026】

実施の形態2.

本実施の形態のリング型焼結磁石は、実施の形態1と同様、ネオジウム、鉄、ボロンを主成分としたリング型の焼結磁石であり、リング外径に凹凸形状を有している。その凹凸形状は軸方向に対して所定角度回転して斜めに形成されている。また、磁石の磁極は凹凸形状に沿って形成され、磁極の境界は凹部に設けられている。本実施の形態で特徴的なことは、当該磁石の外径の凸形状の最外周が、リング内径の中心つまり回転軸を中心とする円の一部(円弧)として構成されている。

10

【0027】

本実施の形態のリング型焼結磁石は、実施の形態1と同様、磁性粉末に磁場を加え、圧縮成形した後、焼結・熱処理する粉末焼結法により製造する。それゆえに、圧縮された成形体の密度にばらつきがあった場合や配向方向が一様でない場合、焼結後の形状に歪が生じる。その結果、リング型焼結磁石の中心から外径の凸部における最外周までの距離は、凸部毎に異なることがおきる。この距離の大きい凸部を、研削加工や放電加工により、回転軸中心と同軸の円になるように加工することにより、凸部の内径の中心からの距離のばらつきを小さくする。

20

【0028】

本実施の形態によるリング型焼結磁石をシャフトに固定し、ステータと組み合わせモータとして組み立てた場合、当該磁石の最外周はシャフトの回転中心と同軸の円となるため、磁石とステータとの最も狭い間隔は、磁石の最外周の円とステータ内径の間隔になる。磁石最外周の円の径を、ステータ内径との間隔が可能な限り狭くなるように設定することで、磁束を流す上で抵抗となるステータと磁石の間のギャップを狭くでき、ステータへ流れ込む磁束量を多く得ることができる。本実施の形態では通常0.5mm前後である。そのため、モータのトルクアップなど、出力を高めることができる。また、同じトルクを得るために、モータ電流を少なくすることで銅損を低減でき効率向上が図れる。

30

【0029】

上記の効果は、全ての凸部に円の一部を形成しなくても得ることができる。つまり、最外周の凸部のみを加工し、他の凸部は必ずしも加工の必要はない。なお、最外周の円の中心はリング内径の中心としたが、モータのシャフトの回転中心と一致すればよい。

【0030】

実施の形態3.

図2はこの発明の実施の形態3によるリング型焼結磁石を示す斜視図である。本実施の形態のリング型焼結磁石20は、実施の形態1と同様、ネオジウム、鉄、ボロンを主成分とした焼結磁石であり、リング外径は凹部21、凸部22を有する凹凸形状となっている。その凹凸形状は軸方向に対して所定角度回転して斜めに形成されている。

40

【0031】

また、図3に示すように、リング型焼結磁石20の磁極は、凹凸形状に沿って軸方向に所定角度回転して斜めに形成される。磁極の境界(図中点線で示す)は凹部21に設ける。さらにリング外周の全ての凸部22は、リング内径の中心つまり回転軸中心と同じ中心を有する円の一部(円弧)23で構成されている。

【0032】

リング型焼結磁石は、上述したように焼結後の形状歪が生じることがあり、リング外径の凸部における最外周までの中心からの距離は、凸部毎に異なることがおきる。本実施の形態では、全ての凸部22を研削加工や放電加工により、回転軸の中心と同軸の円にすることで、凸部22の内径の中心からの距離を一定にできる。

50

## 【0033】

そのため、本実施の形態のリング型焼結磁石20をシャフトに固定し、ステータと組み合わせモータとして組立てた時に、磁石20の最外周はシャフトの回転中心と同軸の円となるため、ステータと磁石の凸部の間隔を狭くするとともに一定にできる。

## 【0034】

その結果、ステータと磁石20の間を流れる磁束の抵抗となるギャップが一様になり、ステータに流れこむ磁束量の磁極毎のばらつきを低減できる。磁極毎の磁束のばらつきは、コギングトルクの要因となるため、コギングトルクを低減できる効果が得られる。

## 【0035】

凸部22における円の一部(円弧)23となる円周方向の範囲は、軸中心に対する角度の割合として20~80%程度がよい。 10

## 【0036】

1つの磁極において、その回転方向の両端の1/5ずつに凹部21を設けることにより、起磁力分布における5次高調波成分を低減できる。また1つの磁極において、その回転方向の両側1/7ずつに凹部21を設けることにより、起磁力分布の7次高調波成分を低減できる。

## 【0037】

5次、7次の高調波成分とは、リング型磁石の起磁力の回転方向分布において、N極、S極の繰返し成分である基本波に対して、繰返し回数がそれぞれ5倍、7倍の成分である。そしてこの5次、7次高調波成分は、磁石に起因するコギングトルクやトルクリップルの主な原因となる。 20

## 【0038】

コギングトルクの要因となる5次高調波成分を低減するには、1つの磁極において、軸を中心とする角度で、磁極の両端の2箇所1/5以上の凹部が存在すればよい。同様に、コギングトルクの要因となる7次高調波成分を低減するには、磁極の両端の2箇所に1/7以上の凹部が存在すればよい。

## 【0039】

また、凹部22を除いた円の部分23は、磁極の5/7以下であれば7次高調波に効果があり、3/5以下であれば、5次高調波、7次高調波に効果がある。すなわち、少なくとも5/7(71%)以下であればよい。 30

## 【0040】

図4は、凹部のない通常のリング型磁石と、磁極の両側に1/5ずつの凹部を設けたリング型磁石において、その磁石厚さと起磁力分布を示す図である。図4(a)(b)は通常の凹凸のないリング型磁石の磁石厚さと起磁力分布及び基本波、5次高調波成分を表す。図4(c)(d)は凹部のあるリング磁石の磁石の厚さと起磁力分布及び基本波、5次高調波成分を表す。図4(c)(d)に示すように凹部を設けることで、5次高調波成分が低減される。

## 【0041】

実用的なリング型磁石の厚さは3mm程度であり、それに対して磁石厚さの凹凸の振幅は1~2mmである。一方、焼結後の磁石の形状歪は、磁場成形時の成形体密度ばらつきを少なくすることで0.2mm程度に抑制できる。上述の8極のリング型磁石では、磁石厚さ3mmに対して凹凸の振幅は1.2mmである。 40

## 【0042】

図5は回転方向の角度に対するリング型焼結磁石の厚さの関係を示す図である。焼結後の磁石厚さの誤差が0.2mm生じていたため、1つの極の回転方向に対して20%をリング内径の中心と同軸になる円となるように、図中に点線で示すように、リング磁石厚さを削ると、円と凹部との境界位置の回転方向ばらつきは角度で±1.25°程度となり、例えば5次高調波低減のための回転角で磁極幅の1/5の凹部の角度9°に対して、十分小さくなる。

## 【0043】

これらのことから、上述したように、円の領域のうち凸部の円の一部となる領域の範囲は、軸中心に対する角度の割合として20～80%程度がよい。

#### 【0044】

また、上述したように、磁極は、上記凹凸形状に沿って軸方向に斜めに形成される。磁極の境界は、凹部21に設けられているが、磁極の境界は凹部21の中の正確な中心位置に形成される必要はない。図6に示す様に、凹部21の磁極の境界における両側の磁束はステータに達することなく、N極エアギャップの空間(凹部)S極へと循環する。そのためステータへ到達し、トルクを発生させる主な磁束は、リング外径の凸部に形成された円部分の形状で決まる。着磁の精度や着磁ヨークと磁石の位置決め精度が低くても、十分なコギング低減効果を得ることができる。

10

#### 【0045】

なお、リング外径の凸部の円形状は、研削加工やワイヤーカット、放電加工等により形成しても良い。また、リング型焼結磁石の焼結精度を向上させることにより焼結後に必要な形状精度が得られる場合は、加工なしで上述の形状を得ても同じ効果が得られる。

#### 【0046】

このリング外径の円部分の精度として、ステータと磁石の間隔に対して1/5以下の寸法の精度が得られていれば、磁束量の変動は5%以下になり、コギングトルクへの影響が無視できる程度となる。上述の磁石厚さ3mmでステータと磁石の平均間隔が0.5mmの場合では磁束量のばらつきは3%以下になる。一般にネオジム系のリング型焼結磁石を用いるモータは、数100Wクラスであり、磁石厚さを磁石とステータの間隔の比率が上述と大幅に変わることはない。

20

#### 【0047】

実施の形態4.

本実施の形態によるリング型焼結磁石20は、実施の形態1と同様、ネオジム、鉄、ボロンを主成分とした焼結磁石であり、リング外径は凹部21、凸部22を有する凹凸形状となっている。その凹凸形状は軸方向に対して回転しつつ斜めに形成されている。また、磁石20の磁極も凹凸形状に沿って軸方向に対して回転しながら斜めに形成される。磁極の境界は凹部21に設ける。さらに、リング外周の全ての凸部22はリング軸を中心とした円の一部(円弧)23で構成されている。そして、外周の凸部22の円の一部(円弧)23と凹部21の境界にR(アール)部27を形成している。

30

#### 【0048】

すなわち、図7に示すように、外周の凸部22に設けられた円の一部23と凹部21の境界にR(アール)部27を構成することで、磁石外周に鋭く尖った部分が無くなる。本例では、最外径;30mm、磁極数;8、磁石の最大厚さ(凸部);3mm、最小厚さ(凹部);1.8mmの凹凸形状を有するリング型焼結磁石において、外周の凸部22に設けられリング軸を中心とした円の一部23と凹部21の境界に、1.5mmのR(アール)部27を形成した。R(アール)部27がない場合、回転方向の表面磁束密度を測定すると上記位置において表面磁束密度は10%程度、他の領域より局所的に高くなるが、R(アール)部27を設けることで、局所的に高くなることを抑制できる。R(アール)は0.5mm以上で効果を得ることができる。

40

#### 【0049】

鋭く尖った部分は磁束量が増大する。その部分が軸方向に均一でない場合、磁石の一部に強い磁力を有する部分が生じることになり、コギングトルクが増大する。例えば、モータが1回転あたり、ステータのスロット数に相当する振動回数のコギングトルクの要因となる。本実施の形態では、R(アール)部を設けることで、上記のコギング要因を無くすることができる。

#### 【0050】

上述した効果は、特にステータにダミースロットを設け、コギングトルクの回転方向の振動数を高くして低減する手法と併用すると効果が大きく、ダミースロット効果をより大きく得ることができる。

50

## 【0051】

実施の形態5 .

図8はこの発明の実施の形態5によるリング型焼結磁石を示す斜視図である。本実施の形態のリング型焼結磁石80は、リング外周に周期的な凹凸形状を有するとともに、リング最外周はリング内径の中心（リング軸中心）と同軸の円の一部分（円弧）82を形成している。この円の一部分（円弧）は全ての凸部に形成されている。図9は、軸に垂直な断面の例として、図8の点線A、Bの断面形状を示している。軸に垂直な断面は軸の位置によりそれぞれ異なっている。すなわち、リング型磁石の軸方向の両端ほど、凹部81の幅が狭くかつ深さが浅くなっており、軸方向の中央ほど、溝81の幅が広くかつ深さが深くなっている。さらに、磁極（図8のリング型焼結磁石では8極）の境界は、凹部81に設けら

10

## 【0052】

図10(a)~(e)は、リング型磁石の軸方向の位置において、それぞれ回転方向における磁石の厚さの分布を詳細に示したものである。この磁石厚さは、起磁力の分布と対応しており、縦軸は、磁石の極性を考えない場合の起磁力とみなしてもよい。なお、極性を考えるとN極、S極に従い、(+)(-)が縦軸に必要なことになる。図では簡単のため、2個の磁極での、1極の極中心からもう1極の極中心までを示す。角度は1周期相当を360°として表している。図8および図9の8極磁石では図10の分布を4回繰返すことになる。

## 【0053】

図11は、図10のリング型磁石の軸方向における磁石の厚さすなわち起磁力分布の平均を示すものである。モータとして使用した場合、回転に寄与する起磁力は軸方向の積算値になるため、この平均で評価すればよい。

20

## 【0054】

図12は、図10のリング型磁石の凹部の厚さが一番小さいところをN極、S極の境界になるように着磁し、極性を考慮した場合の起磁力分布である。

## 【0055】

モータが回転する場合のトルク変動は、ステータに流れ込む磁束量の回転に対する変動である。リング型磁石の起磁力の軸方向積算量の回転方向分布を評価し、起磁力の平均値が矩形波から正弦波分布に近づけることが必要である。

30

## 【0056】

本実施の形態では、凹部81の形状は楕円の一部分であり、磁石の軸方向の位置が中央から両端に行くに従い、楕円の長径、短径が比例して小さくなる。また、円周方向（回転方向）において、凹部81の占有する割合は80%から20%、深さが磁石厚さの80%から20%変化する形状である。起磁力分布における正弦波の基本波に対する5次、7次の高調波は、それぞれ矩形波（凹凸のないリング型磁石）の場合の45%、60%以下に低減できる。そのために、コギングトルクの発生要因である起磁力分布の歪みに相当する高調波を低減でき、コギングトルクを低減できる。

## 【0057】

なお、磁石の厚さが図13のようであって、軸方向に一樣な場合も同様の起磁力分布となり同等の効果を得ることができるが、焼結磁石の場合、製造工程の磁場成形で上記の形状を実現しても、焼結工程での形状歪が大きく、正弦波に近い厚さを精度良く実現することは困難である。その結果、精度が悪いことにより、起磁力分布の大きな誤差になり、コギングトルクが増加してしまうことになる。

40

## 【0058】

本実施の形態によるリング型焼結磁石の形状の場合、円の一部分でない領域における外周の凹部は深い溝となっている。そのため、凹部の形状精度が悪く、深さにばらつきがあっても、起磁力の軸方向分布の積算量は正弦波に精度良く近づけることができるため、大きなコギングトルクの低減効果を得ることができる。

## 【0059】

50

なお、本発明のリング型ネオジウム焼結系磁石は、磁性粉末を圧縮成形した後、焼結して製造する。焼結時に収縮するため、形状精度を高めることが比較的困難である。また、最外周の円の形状は研削加工で形成してもかまわないし、焼結形状精度を向上させて焼結後、加工なしでもかまわない。

【0060】

図8に示したリング型焼結磁石では、軸方向の中央に対して、両端部方向に対称に凹部81が設けられた例を示した。この場合、リング型磁石の重心のバランスがよくなり、音や振動が軽減される効果がある。

【0061】

しかしながら、軸方向中央に対称でなく、例えば、凹部81の幅が軸方向の一端部で広く、他端部で狭い等の形状においても、コギングトルクの低減に関して同様の効果を得ることができる。

【0062】

図14はこの発明の実施の形態5によるリング型焼結磁石の他の形状を示す斜視図である。図14のリング型焼結磁石140は、軸方向の両端ほど凹部141の幅が広くかつ深さが深くなっており、軸方向の中央ほど凹部141の幅が狭くかつ深さが浅くなっている。すなわち、凹部141の形状は楕円の一部分であり、軸方向の位置が中央から両端に行くに従い、楕円の長径、短径が比例して長くなっている。図14のリング型焼結磁石の形状でも、上記と同様の効果を得ることができる。

【0063】

実施の形態6。

図15はこの発明の実施の形態6によるリング型焼結磁石を示す斜視図である。本実施の形態のリング型焼結磁石150は、リング外周に周期的な凹凸形状を有するとともに、リング最外周はリング軸の中心と同軸の円の一部(円弧)152を形成している。この円の一部(円弧)152は全ての凸部に形成されている。実施の形態1と同様に軸に垂直な断面は軸の位置により異なる。軸に垂直方向の断面の凹凸形状は実施の形態5と同様な形状であるが、さらに、その凹凸形状が軸方向に対して回転して斜めに構成されている。そのため、図9および図10の形状が軸の位置に従って回転していることになる。磁極の境界は、図16の点線に示すように凹部151に斜めにスキュー着磁されている。

【0064】

本実施の形態のリング型焼結磁石によれば、起磁力分布の歪を少なくするとともに、磁極をスキューする効果によって、当該磁石をモータに適用した時のコギングトルク、トルクリップルなどのトルクムラを低減することができる。スキューの回転角は、本実施の形態の磁石の場合、15°あるいは18°において効果を得ることができ、通常のリング型磁石に比べ1/3以下にコギングトルクを低減できる。

【0065】

図17はこの発明の実施の形態6によるリング型焼結磁石の他の形状の例を示す。図17のリング型焼結磁石170は、リング外周に周期的な凹凸形状を有するとともに、リング最外周はリング軸の中心と同軸の円の一部(円弧)を形成している。この円の一部(円弧)は全ての凸部に形成されている。軸に垂直方向の断面の凹凸形状は図14と同様な形状であるが、さらに、その凹凸形状が軸方向に対して回転して斜めに構成されている。磁極の境界は、凹部171に沿って斜めにスキュー着磁されている。本形状でも上記と同様の効果を得ることができる。

【0066】

実施の形態7。

図18はこの発明の実施の形態7によるリング型焼結磁石を示す斜視図である。本実施の形態のリング型焼結磁石180は、軸方向における所定領域のリング外周に楕円形状の凹部181が形成されており、軸方向の両端部におけるリング外周は円となっている。その他の形状は上記実施の形態と同様である。

【0067】

10

20

30

40

50

本実施の形態のリング型焼結磁石によれば、より多くの磁束を発生することができ、コギングトルクを低減しながら大きなモータ出力を得ることができる。また、モータ電流を少なくでき効率の向上が図れる。また、磁石の機械強度が高いといった特長も得られる。

【0068】

楕円のある凹部181の領域は、軸方向長さに対して5～30%で効果を得ることができる。図18では軸方向の両端に軸方向に垂直な断面の外径が円となる領域を設けた例を示したが、図40に示すように軸方向の中央部に軸方向に垂直な断面の外径が円となる領域を設けてもよい。図40の例では、軸方向両端面に短軸（または長軸）が位置する半楕円形状の凹部181Aを設け、軸方向の中央部に軸方向に垂直な断面の外径が円となる領域を設けてもよい。

10

【0069】

図19はこの発明の実施の形態7によるリング型焼結磁石の他の例を示す斜視図である。図19のリング型焼結磁石190は、外周の一部に楕円形状の凹部191を有するとともに、その凹部191が軸方向にスキューした構成である。そのため、上記の効果に加え、スキューの効果でコギングトルクをより小さくできる。なお、図40のリング型焼結磁石180Aの凹部181Aを軸方向にスキューしても同様な効果が得られる。

【0070】

実施の形態8 .

図20はこの発明の実施の形態8によるリング型焼結磁石を示す斜視図である。

【0071】

図21に示すように、リング型磁石の軸方向の端部では、リング型磁石2101から発生した磁束2102はステータ2103に届かず、磁石端部の空間を通して、磁石2101に戻ってしまう成分が発生する。そのため、磁石2101の端部では有効に働く磁束量が少なくなる。磁極を斜めに形成するスキュー着磁の効果は磁束の発生が一定である時にコギング低減の効果を得ることができるが、一様でない場合はコギング低減効果が低くなる。そこで、磁石端部での磁束量の低下を補正するために、図20に示すリング型焼結磁石200に示すように、軸方向の端部ほどスキューの角度を小さくする（磁石を外周から見て磁極境界が軸に平行に近くなるようにする）ことで磁束量の変動を補正でき、より高いコギングトルク低減効果を得ることができる。

20

【0072】

図22はこの発明の実施の形態8によるリング型焼結磁石の他の例を示す斜視図である。このリング型焼結磁石220は、磁石の最外周にリング軸を中心とする円の一部を設け、上記のようにスキュー角を補正した場合の実施例を示している。磁束量の変動を補正してスキューによるコギングトルク低減効果を得るとともに、ステータとの間隔を狭くかつ均一にすることによるモータ出力アップとコギングトルクの低減を得ることができる。

30

【0073】

また、磁石の製造方法によっては、もともと磁石自身のもつ磁気特性が、配向特性のばらつきや、不純物の混入などにより、軸方向に変化することがある。そのため発生磁束量の少ない領域ではスキュー角を小さくするように構成してもよい。

【0074】

実施の形態9 .

図23はこの発明の実施の形態9によるリング型焼結磁石を示す斜視図である。図23に示すリング型焼結磁石230は、複数個のリング型磁石成形体235を積み重ねて焼結したものであり、リング型焼結磁石230の軸方向に境界層233が存在する構成となる。境界層233は焼結磁石を製造する時に生じるものである。リング型磁石成形体235は、上記実施の形態1から8に示された形状と同様のリング型形状を成している。図23は、代表例として実施の形態1と同様の形状のリング型磁石成形体を示している。

40

【0075】

このような構成により、軸長の長いリング型焼結磁石を得ることができ、有効な磁束量が増加し、モータ外形を大きくすることなく出力の向上を図るとともに、コギングトルク

50

の小さいモータを実現することができる。境界層はホール素子などで表面の磁束密度を測定すると、磁束密度が低下する領域として確認することができる。

【0076】

図24は、さらに最外周にリング軸の中心と同心の円の一部243を設けたリング型焼結磁石240の例である。ステータとの間隔を狭く、一様にすることができ、有効な磁束量を多くでき、極ごとのばらつくも小さくできるため、トルクアップ、効率向上、コギングトルク低減の効果が得られる。図25は本実施の形態によるリング型焼結磁石240をシャフト1000に固定した状態を示す図であり、図26はリング型焼結磁石240を固定したシャフト1000をステータ1100と組み合わせてモータとして構成したところを示す断面図である。

10

【0077】

上記境界層を有するリング型焼結磁石の場合、上記実施の形態と同様の形状のリング型磁石成形体を積層した構成が可能であるが、異なった形状のものを組み合わせて積層することも可能である。

【0078】

図23及び図24の例では、リング型磁石成形体を積層する際に、積層面の形状が重なるように積層している。このように積層することで、磁石表面に鋭く飛び出した部分がなくなる。鋭く飛び出した部分は、そこで発生する磁束密度が急激に大きくなるため、コギングトルクの要因となる。積層面の形状が重なるように積層することで、急激に磁束密度が高まることが防止でき、コギングトルクの低減ができる。

20

【0079】

実施の形態10.

図27はこの発明の実施の形態10によるリング型焼結磁石を示す斜視図である。本実施の形態においては、リング型磁石成形体271を積重ねて一体のリング型焼結磁石270を製作する場合に、リング型磁石成形体271を回転方向にずらして積層している。この場合、積層面同士は形状は重ならない。そして、回転方向にずらす角度をそれぞれの層の発生するコギングトルクが打ち消し合うようにつまり位相がずれるように積重ねることで、コギングトルクの低減も可能である。

【0080】

リング磁石の磁極数が8極でステータのスロット数が12の場合、モータ1周あたりに発生するコギングトルクは24回発生する。360°を24回で割った15°の半分にあたる7.5°ずらすことで、リング磁石の上下それぞれの発生するコギングトルクが打ち消しあい、コギングトルクを低減できる。

30

【0081】

実施の形態11.

図28はこの発明の実施の形態11によるリング型焼結磁石を示す斜視図であり、リング軸方向に境界層を持つリング型焼結磁石の他の例である。図28のリング型焼結磁石280は、リング外径に周期的な凹凸部が形成され当該凹凸部がスキューされているリング型磁石成形体281を、凹凸部のスキューの方向が境界部を境に逆になるように積層して焼結したものである。このように構成することで、層毎に軸方向に発生する力を低下することができ、音や振動を低減できる。

40

【実施例】

【0082】

実施例1.

次に、上記実施の形態のリング型焼結磁石を製造するための成形装置（成形金型）および成形プロセスについて説明する。

【0083】

焼結磁石の材料として、例えばNd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B系の磁性材料合金を用いる。磁性材料合金を粗粉碎処理、水素脆化処理後、ジョットミルを用いて平均粒径4μmの微粒子に微粉碎する。この磁性粉末を用いて以下に述べる方法により、リング型磁石成形体をラジアル

50

配向成形する。

【0084】

図30に従来のラジアルリング型磁石の一般的な成形プロセスを示す。図31にはラジアル配向磁場の模式図を示す。

【0085】

従来のリング型磁石成形体の製造装置は、図30に示すように、強磁性体のダイス41と、ダイス41の内周側に配置されるコア42と、非磁性体の上パンチ43及び下パンチ44を備えている。また、図31に示すように、ラジアル配向磁場は、上下一対の電磁コイル45a及び45bを備え、上側電磁コイル45aにより下向きの磁力線を、下側電磁コイル45bにより上向きの磁力線を発生させ、それをコア42を通してキャビティ部46に導く。そして、キャビティ46にラジアル方向の磁力線が流れ、ダイス41を通過して還流するように構成される。このように、キャビティ46にラジアル配向磁場が掛けられた状態で、上パンチ43または下パンチ44によりキャビティ46の磁性粉末47を軸方向から圧縮することでリング型磁石成形体48が得られる。

10

【0086】

従来の成形プロセスを図30(1)~(6)に基づいて説明する。

- (1) ダイス41とコア42、下パンチ44によりキャビティ46を形成する。
- (2) 図示しない給粉器によりキャビティ46内に磁性粉末47を充填する。
- (3) 上パンチ43及び上コア43bが下降し、キャビティ46を閉じた状態でラジアル配向磁場が掛けられる。この時、下コア42と上コア43bは接触し磁気回路を構成している。
- (4) 上パンチ43が下降することで、キャビティ46内の磁性粉末47が軸方向に圧縮されてリング型磁石成形体48が成形される。
- (5) 上パンチ43による加圧力を除去した後、ダイス41を下降させることでリング型磁石成形体48をダイス41から抜き出す。
- (6) 上パンチ43が上昇した後、リング型磁石成形体48を成形装置から取り出す。

20

【0087】

このように、従来方法では、軸方向の断面形状が一定であるリング型磁石成形体を成形することができるが、上記実施の形態のリング型磁石のように軸方向に断面形状が変化する場合、例えば図32に示すように、リング形状断面が軸方向に回転(スキュー)している場合、従来の成形装置および成形方法では成形できない。

30

【0088】

なぜならば、図30において、リング型磁石成形体48は圧縮成形時に上パンチ43による加圧を受けるために、上パンチ43による加圧力を除去した後も、ダイス41内にリング型磁石成形体48が存在する間は、リング型磁石成形体48内部に圧縮応力が残留し、外径方向へ膨張しようとする。そのため、リング型磁石成形体48を軸方向に抜き出すとダイス41内面との間で摩擦力が働く。リング型磁石成形体48の軸方向の断面形状が同一の場合は、単純に軸方向からリング型磁石成形体48を押してやれば、ダイス41からリング型磁石成形体48を抜き出すことができるが(図30では下パンチ44を固定してダイス41を引き下げている)、断面形状が一定でない場合は軸方向から押すだけでは、ダイス41からリング型磁石成形体を抜き出せない。

40

【0089】

図32に示すリング型磁石成形体30の場合、スキュー角度が一定であるので、リング型磁石成形体30を一定回転で回転させながら抜き出せば幾何学的にはダイスから抜き出すことができるが、実際にはリング型磁石成形体30にはダイス内周面から受ける力に耐え得る強度はなく、このような脱型方法を採用すれば、リング型磁石成形体30の破損は免れない。

【0090】

図33はこの発明に使用するダイスを示す。そして、図29は当該ダイスを用いたリング型磁石成形プロセスを示す。

50

## 【0091】

図29に示すように、この発明で使用されるリング型磁石成形体の製造装置は、弾性部材からなるリング状のダイス31と、ダイス31の内周側に配置される強磁性体のコア32と、ダイス31の外周部に配置される強磁性体のリング状部材33と、ダイス31、コア32、リング状部材33を設置するベース34を備えている。そして、ダイス31の内周面、コア32の外周面で囲まれるキャビティ部35内に磁性粉末30aが供給される。

## 【0092】

また、図33に示すように、ダイス31の内周面には、8個の凹部31a及び凸部31bからなる凹凸形状が周期的に(45度ピッチで)形成されている。当該凹凸形状は軸方向に回転して斜めに形成(スキュー)しており、スキュー角度は6.87度(ダイス内周面の軸長16.2mm、凹部内径(最大径部)44mm、凸部内径(最小内径)42mm、コア径33mm)である。凹凸の差は1mmである。

## 【0093】

図29に示すパンチ36は、キャビティ部35内に充填される磁性粉末30a及びダイス31を加圧する加圧部の役割を果たす。また、ダイス31は、シリコンゴム(ゲル)で形成されており、ラジアル配向磁場を印加する際に使用できるように、例えば鉄粉を40~70体積%含有している。鉄粉はダイス31内部に均一に分散している。

## 【0094】

次に、リング型磁石成形プロセスについて、図29に基づいて説明する。

- (1) ダイス31とコア32によりキャビティ35を形成する。
- (2) キャビティ35に磁性粉末30aを充填する。この時、キャビティ部35内の磁性粉末30aの嵩密度が3になるよう充填する。
- (3) 次に、キャビティ35の磁性粉末30aにラジアル配向磁場を加える。配向磁場の強さは3T以上とする。
- (4) 次に、キャビティ35内の磁性粉末30aとダイス31と一緒に非磁性材のパンチ36により軸方向から加圧する。弾性を有するダイス31は外周部を剛体のリング状部材33で拘束されているので、中心方向に膨れて変形する。これによりキャビティ35の磁性粉末30aは軸方向から及び外径方向からの加圧により圧縮成形される。当該圧縮によりリング型磁石成形体30の寸法は、外径42.24mm、内径33mm、高さ15.55mmになる。
- (5) 次に、パンチ36を上昇させる。そうすると、軸方向からの加圧により中心軸方向に変形していたダイス31が元の形に戻り、リング型磁石成形体30の外径部とダイス31の内径部には隙間ができる。リング型磁石成形体30の最外径(凸部の外径)が42.24mmであるのに対して、無加圧時のダイス31の最内径(凸部の内径)は42mmであるので、最小で約0.1mmの隙間ができる。
- (6) 次に、リング型磁石成形体30をコア31から抜き出すことにより、成形完了となる。

## 【0095】

このようにして得られたリング型磁石成形体30を端面の形状が一致するようにして軸方向に3個積重ね、1080で焼結後、600で熱処理を施すことでリング型磁石焼結体を得られる。そして、リング磁石焼結体の上下端面、内径を研削加工する。加工後は場合によって腐食防止のための表面処理を施すことがある。

## 【0096】

このリング型焼結磁石10の外周の凸形状の稜線を極位置に合わせてラジアル着磁してモータへ組み込むことにより、上述したようにコギングトルクの小さな高出力モータができる。

## 【0097】

実施例2.

図34はこの発明のリング型磁石成形体を製造するために使用するダイスの例を示す斜視図である。図8(a)(b)に示すように、本例のダイス180は、4個のアーチ形状

部材 181、182、183、184 を組み合わせて構成されている。アーチ形状部材 181 ~ 184 を組み合わせた状態でのダイス 180 の内周面（キャビティの外周部）には、8 個の凹部 180 a 及び凸部 180 b からなる凹凸形状が周期的に（45 度ピッチで）形成されている。当該凹凸形状は軸方向に回転して斜めに形成（スキュー）されており、スキュー角度は 6.9 度、軸長 26 mm、凹部内径（最大径部）43 mm、凸部内径（最小内径）41 mm、コア径 33 mm である。凹凸の差は 1 mm である。ダイス内径の最外周部（直径の最も大きい部分：凹部の頂点部）はリング中心軸を中心とした円の一部（円弧形状）185 で構成されている。

#### 【0098】

次に、この実施例によるリング型磁石成形体の成形プロセスについて説明する。図 35 ~ 図 39 は実施例 2 のリング型磁石成形体の成形プロセスを示す模式図であり、図では明瞭化のため、1 個のアーチ状部材 182 の記述を省略して、装置内部の状況がわかるよう記載している。

#### 【0099】

図 35 に示すように、ダイスのアーチ形状部材 181、182、183、184 の外周部にはそれぞれ油圧シリンダによる駆動する直動機構 181 A、182 A、183 A、184 A が接続されており、リングの径方向に移動できる構造になっている。また、下パンチ 191 と上パンチ 192 の外径部にはダイス内径部に沿う凹凸形状が形成されている。当該凹凸形状のクリアランスは 0.01 ~ 0.04 mm に設定されている。図示はしないが、上パンチ 192 はキャビティ内の磁性粉末を加圧するために、モータとボールネジにより軸方向に移動するように構成されており、さらにサーボモータにより、軸方向のストロークと同期して、ダイス 180 の凹凸形状のスキュー角度分だけ回転するよう構成されている。本実施の形態では、軸方向に 26 mm ストロークする間に、時計回りに 9.6 度上パンチ 192 が回転するように制御する。また、上パンチ 192 の下端面がダイス 180 の上端面と一致する位置に移動したときに、ダイス上端面の断面形状と上パンチ下端面の断面形状が一致するように上パンチ角度の基準が設定されている。

#### 【0100】

そして、4 個のアーチ状部材 181、182、183、184 がそれぞれ直動機構 181 A、182 A、183 A、184 A により軸中心方向に押し付けられて、リング状のダイス 180 が形成される。このダイス 180 と強磁性体の下コア 193、非磁性体の下パンチ 191 により、キャビティが形成される。次に、給粉器によりキャビティに磁性粉末 100 a が充填され、図 35 の状態となる。

#### 【0101】

次に、図 36 に示すように、非磁性体の上パンチ 192 と強磁性体の上コア 194 が下降し、キャビティを閉じた状態でラジアル配向磁場が掛けられる。この時、上コア 193 と下コア 194 は接触して磁気回路を構成する。

#### 【0102】

次に、図 37 に示すように、上パンチ 192 が上述のようにスキュー角度と同じ割合で回転しながら下降し、磁性粉末 100 a が圧縮されてリング型磁石成形体 100 が形成される。なお、この時、同時に下パンチ 191 を回転させながら上昇させてもよい。上下両方からの加圧のほうが磁石成形体内の密度が均一になり、磁石焼結体の形状精度が向上する。

#### 【0103】

次に、図 38 に示すように、上パンチ 192 と上コア 194 を上昇させた後（上パンチ 192 は回転させながら上昇）、ダイス 180 を構成するアーチ形状部材 181、182、183、184 を油圧シリンダによる直動機構によりリング外径方向に移動させる。移動させる距離は、ダイス内面の凹部 180 a と凸部 180 b の差よりも大きくする。ダイス 180 すなわちアーチ形状部材 181、182、183、184 を、リング型磁石成形体 100 の外周面から離すことで、リング型磁石成形体 100 内の圧縮応力が均一に開放され、脱型による成形体破損は発生し難い。

10

20

30

40

50

## 【0104】

次に、図39に示すように、下コア193からリング型磁石成形体100を抜き出すことで、軸方向においてリング外径がスキューされているリング型磁石成形体を得られる。ダイス180を構成するアーチ形状部材181, 182, 183, 184を外径方向へ移動した際、リング型磁石成形体100の圧縮応力が開放され、スプリングバックによりリング形状が大きくなっているため、下コア193とリング型磁石成形体100の間には隙間が発生している。さらにダイス80が外径側に移動したため、リング型磁石成形体100の最外周部(凸部頂点)とダイス80の最内周部(凸部頂点)の間にも隙間が生じているので、リング型磁石成形体100を容易に下コア93から抜き出すことができる。

## 【0105】

このようにして得られたリング型磁石成形体100を端面の形状が一致するようにして3個積重ね、1080で焼結後、600で熱処理を施すことでリング型磁石焼結体を得られる。リング磁石焼結体の上下端面、内径を研削加工し、外径部は円弧形状部のみを研削加工する。なお、加工後に、場合によって腐食防止のための表面処理を施すことがある。

## 【0106】

そして、このリング型焼結磁石の外周の凸形状の稜線(円弧形状の中間点を軸方向に繋げた線)を極位置に合わせてラジアル着磁して、モータへ組み込むことで上記のようにコギングトルクの小さな高出力モータができる。

## 【0107】

以上のように、この発明の上記実施の形態によるリング型焼結磁石は、弾性を有するリング状のダイスと、ダイスの内周側に配置されて当該ダイスとの間で磁性粉末が供給されるキャビティを形成するコアと、キャビティ内に供給される磁性粉末及びダイスを軸方向から加圧する加圧部を備え、ダイスの内周面の軸に垂直な断面形状が軸方向の位置により変化する部分を有するリング型磁石成形体の製造装置を用いて、磁性粉末を磁場で配向させ、圧縮成形し、焼結工程を経て製造されるものである。

## 【0108】

また、この発明の上記実施の形態によるリング型焼結磁石は、複数のアーチ状部材で構成されるリング状のダイスと、ダイスの内周側に配置されて当該ダイスとの間で磁性粉末が供給されるキャビティを形成するコアと、キャビティ内に供給される磁性粉末を軸方向から加圧する加圧部を備え、ダイスの内周面の軸に垂直な断面形状が軸方向の位置により変化する部分を有するリング型磁石成形体の製造装置を用いて、磁性粉末を磁場で配向させ、圧縮成形し、焼結工程を経て製造されるものである。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0109】

【図1】この発明の実施の形態1によるリング型焼結磁石を示す斜視図である。

【図2】この発明の実施の形態3によるリング型焼結磁石を示す斜視図である。

【図3】この発明の実施の形態3によるリング型焼結磁石(磁極の形成例)を示す斜視図である。

【図4】通常のリリング型磁石と本実施の形態のリリング型磁石の厚さと起磁力の回転方向分布を示す図である。

【図5】リング型磁石の厚さのばらつきと最外周を円の一部にする効果を説明するための図である。

【図6】リング型磁石の凹部における磁束の流れを示す図である。

【図7】この発明の実施の形態4によるリング型焼結磁石の円の一部と凹部の境界のR形状を示す図である。

【図8】この発明の実施の形態5によるリング型焼結磁石を示す斜視図である。

【図9】この発明の実施の形態5によるリング型焼結磁石の軸に垂直な断面形状を示す図である。

【図10】リング型磁石の軸方向の位置による回転方向の磁石厚さの分布を示す図である

10

20

30

40

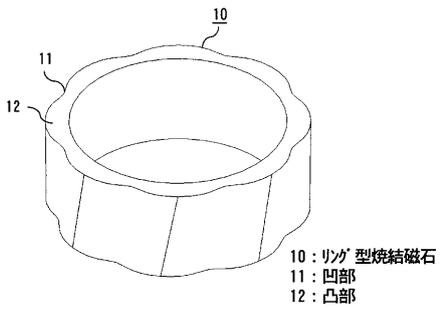
50

- 。
- 【図 1 1】図 1 0 のリング型磁石の軸方向における平均磁石厚さを示す図である。
- 【図 1 2】図 1 0 のリング型磁石の回転方向の起磁力分布を示す図である。
- 【図 1 3】リング型磁石の磁石厚さ分布の例を示す図である。
- 【図 1 4】この発明の実施の形態 5 によるリング型焼結磁石の他の例を示す斜視図である
- 。
- 【図 1 5】この発明の実施の形態 6 によるリング型焼結磁石を示す斜視図である。
- 【図 1 6】この発明の実施の形態 6 によるリング型焼結磁石（磁極の形成例）を示す斜視図である。
- 【図 1 7】この発明の実施の形態 6 によるリング型焼結磁石の他の例を示す斜視図である 10
- 。
- 【図 1 8】この発明の実施の形態 7 によるリング型焼結磁石を示す斜視図である。
- 【図 1 9】この発明の実施の形態 7 によるリング型焼結磁石の他の例を示す斜視図である
- 。
- 【図 2 0】この発明の実施の形態 8 によるリング型焼結磁石を示す斜視図である。
- 【図 2 1】リング型磁石とステータの間における磁束の流れを示す図である。
- 【図 2 2】この発明の実施の形態 8 によるリング型焼結磁石の他の例を示す斜視図である
- 。
- 【図 2 3】この発明の実施の形態 9 によるリング型焼結磁石を示す斜視図である。
- 【図 2 4】この発明の実施の形態 9 によるリング型焼結磁石の他の例を示す斜視図である 20
- 。
- 【図 2 5】この発明の実施の形態 9 によるリング型焼結磁石をシャフトに固定した状態を示す図である。
- 【図 2 6】この発明の実施の形態 9 によるリング型焼結磁石をステータと組み合わせてモータとして組み立てたところを示す断面図である。
- 【図 2 7】この発明の実施の形態 1 0 によるリング型焼結磁石を示す斜視図である。
- 【図 2 8】この発明の実施の形態 1 1 によるリング型焼結磁石を示す斜視図である。
- 【図 2 9】この発明の実施例 1 によるリング型磁石成形体の成形プロセスを示す図である
- 。
- 【図 3 0】従来のリング型磁石成形体の一般的な成形プロセスを示す図である。 30
- 【図 3 1】ラジアル配向磁場の模式図を示す。
- 【図 3 2】この発明の実施例 1 により成形されたリング型磁石成形体を示す斜視図である
- 。
- 【図 3 3】この発明の実施例 1 によるリング型磁石成形装置に使用されるダイスを示す斜視図である。
- 【図 3 4】この発明の実施例 2 によるリング型磁石成形装置を構成するダイスの斜視図である。
- 【図 3 5】この発明の実施例 2 によるリング型磁石成形体の成形プロセスを示す模式図である。
- 【図 3 6】この発明の実施例 2 によるリング型磁石成形体の成形プロセスを示す模式図である 40
- 【図 3 7】この発明の実施例 2 によるリング型磁石成形体の成形プロセスを示す模式図である。
- 【図 3 8】この発明の実施例 2 によるリング型磁石成形体の成形プロセスを示す模式図である。
- 【図 3 9】この発明の実施例 2 によるリング型磁石成形体の成形プロセスを示す模式図である。
- 【図 4 0】この発明の実施の形態 7 によるリング型焼結磁石の他の例を示す斜視図である
- 。
- 【符号の説明】

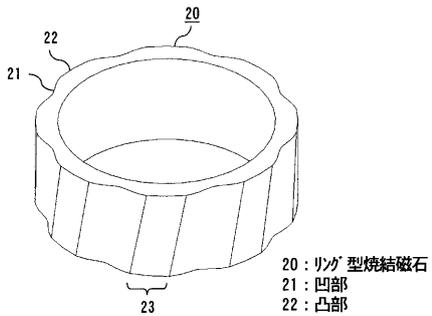
【 0 1 1 0 】

1 0 , 2 0 , 8 0 , 1 4 0 , 1 5 0 , 1 7 0 , 1 8 0 , 1 9 0 , 2 0 0 , 2 3 0 、 2 4  
0 , 2 7 0 , 2 8 0 リング型焼結磁石、  
1 1 , 2 1 , 8 1 , 1 4 1 , 1 5 1 , 1 7 1 、 1 8 1 , 1 9 1 、 2 3 1 , 2 4 1 凹部、  
1 2 , 2 2 , 2 3 2 , 2 4 2 凸部、  
2 3 , 8 2 , 1 4 2 , 1 5 2 , 2 4 3 円の一部（円弧）。

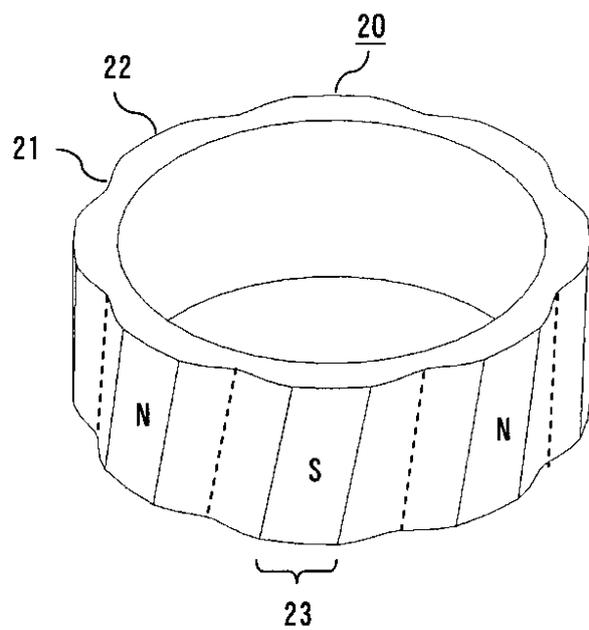
【 図 1 】



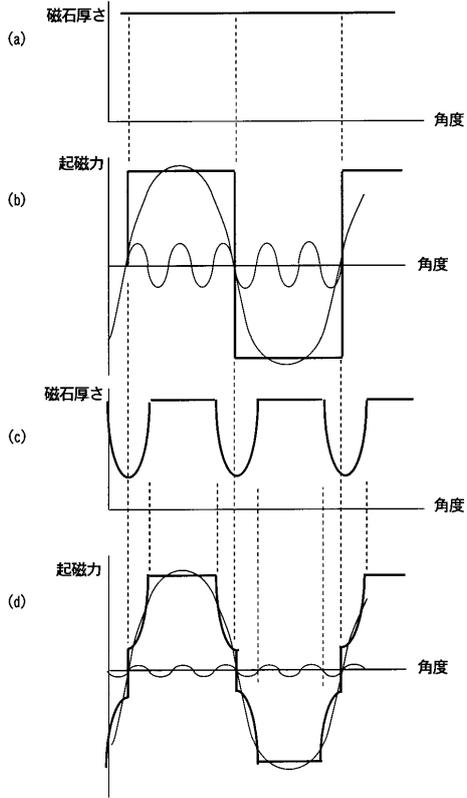
【 図 2 】



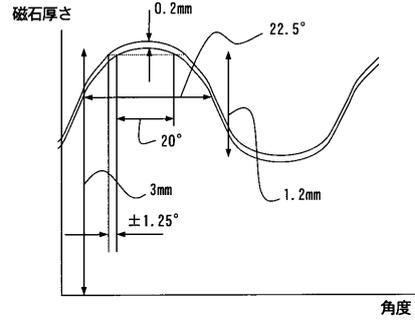
【 図 3 】



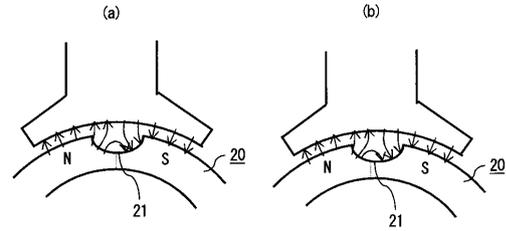
【 図 4 】



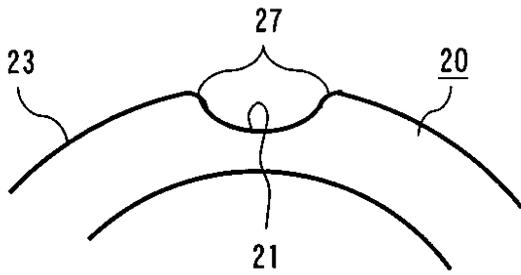
【 図 5 】



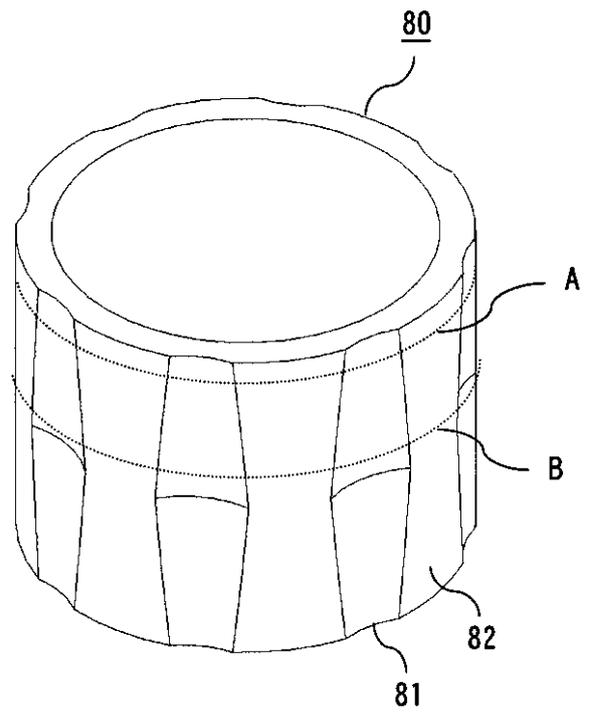
【 図 6 】



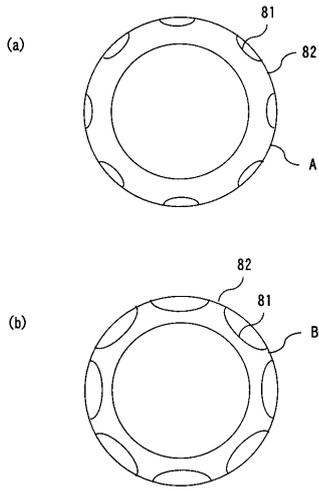
【 図 7 】



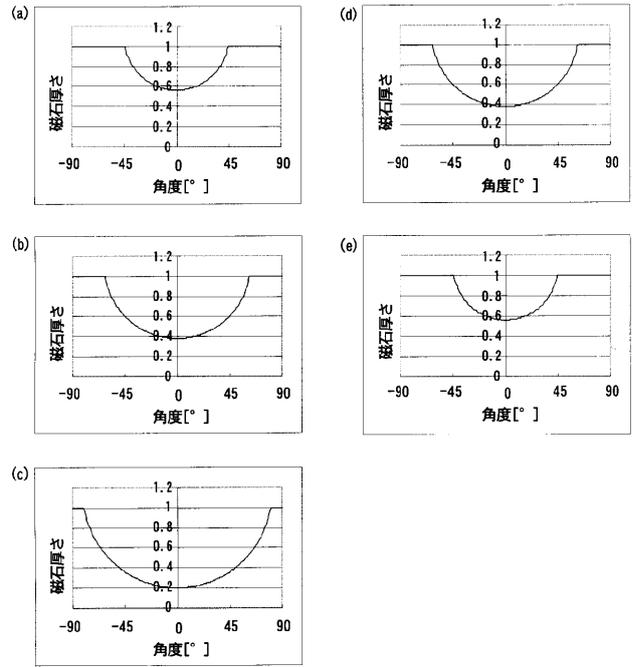
【 図 8 】



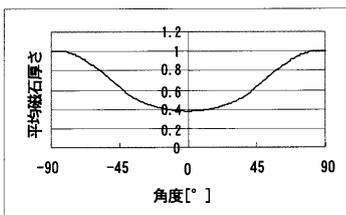
【 図 9 】



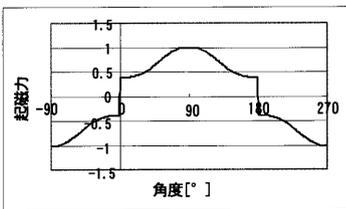
【 図 10 】



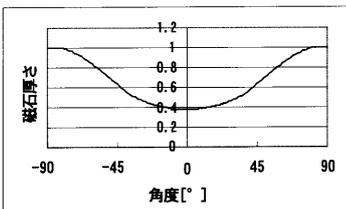
【 図 11 】



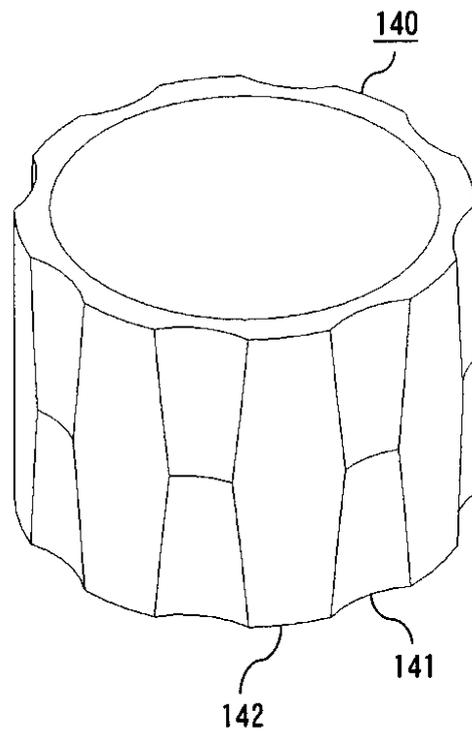
【 図 12 】



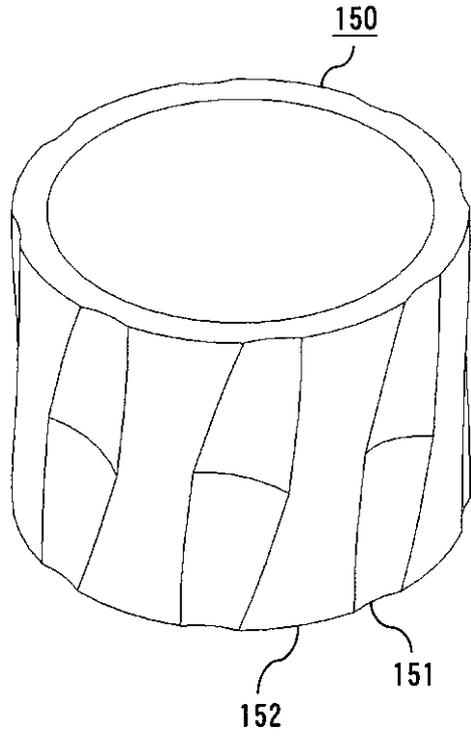
【 図 13 】



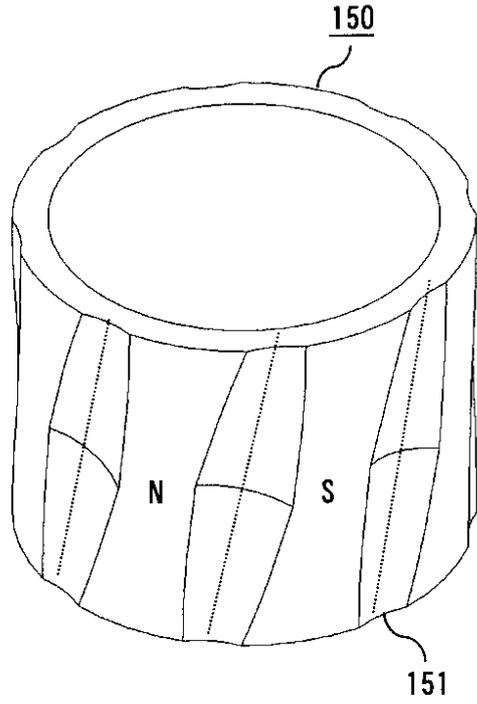
【 図 14 】



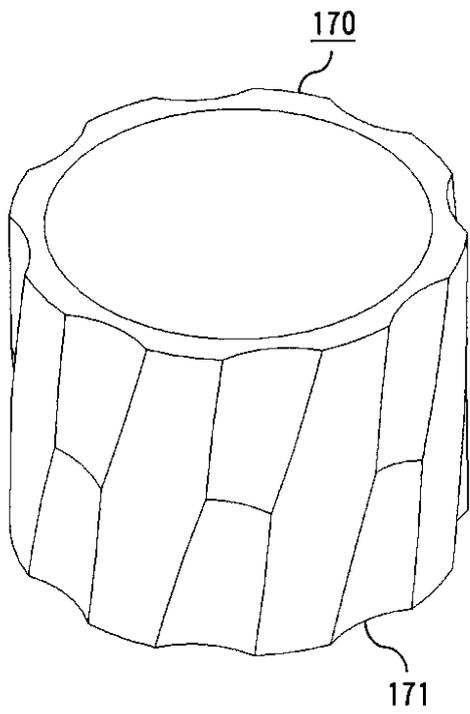
【 15】



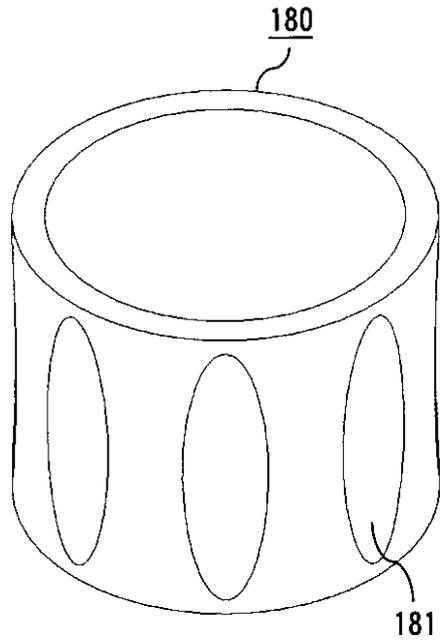
【 16】



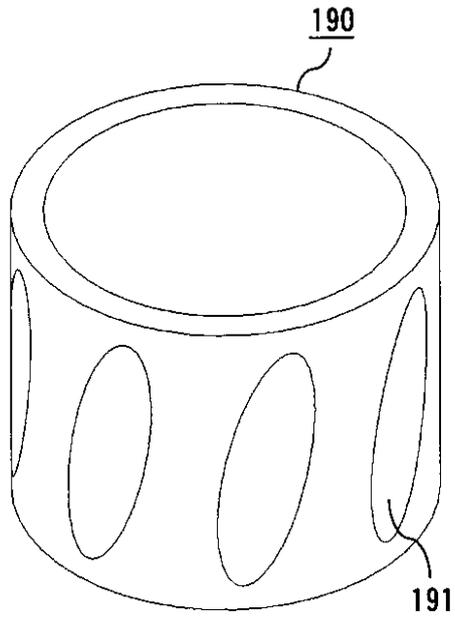
【 17】



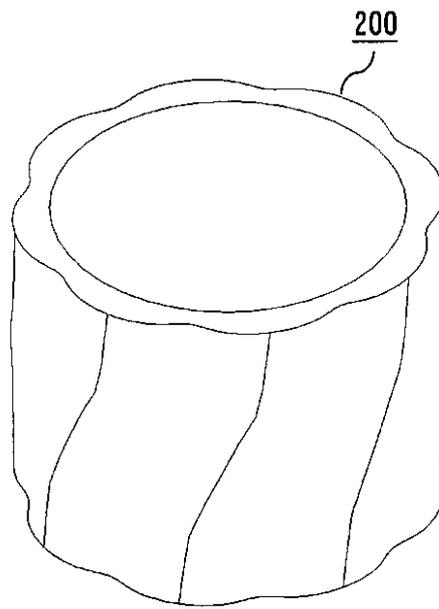
【 18】



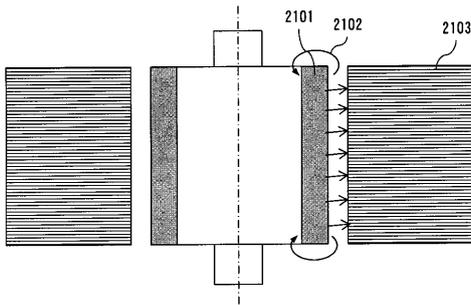
【 図 1 9 】



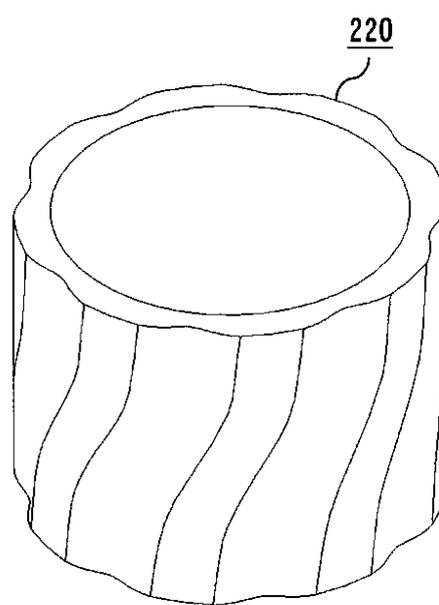
【 図 2 0 】



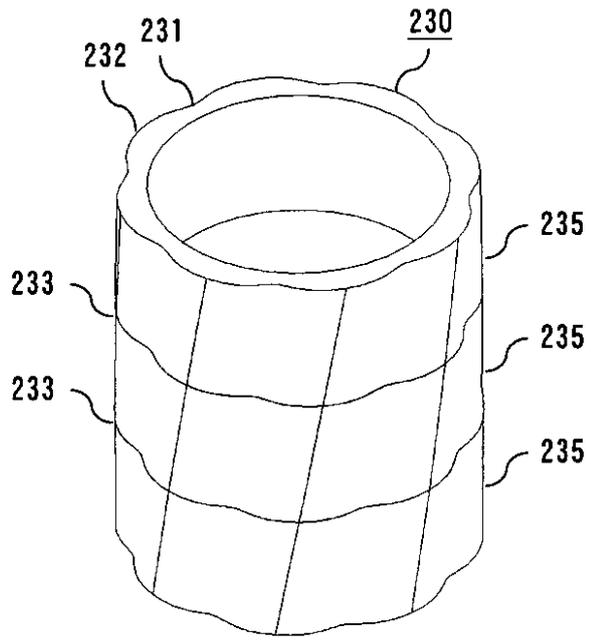
【 図 2 1 】



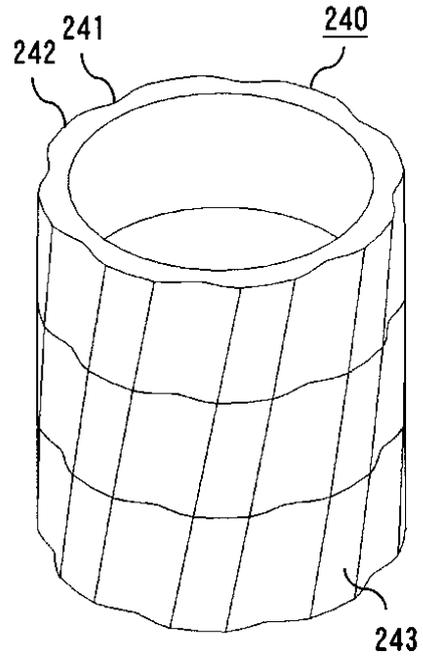
【 図 2 2 】



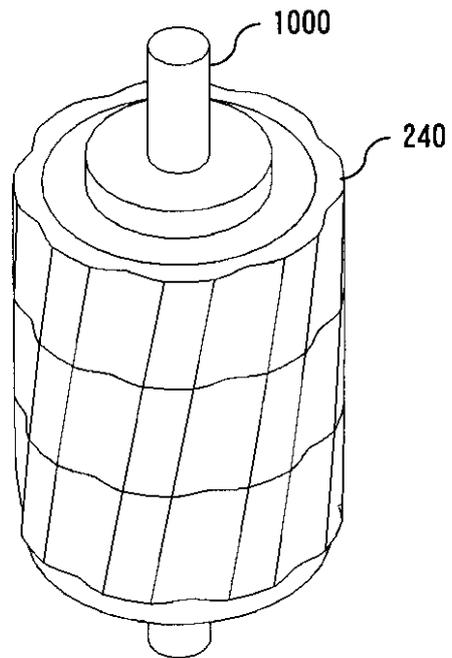
【 図 2 3 】



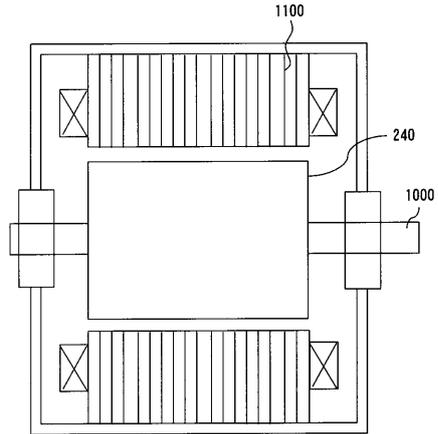
【 図 2 4 】



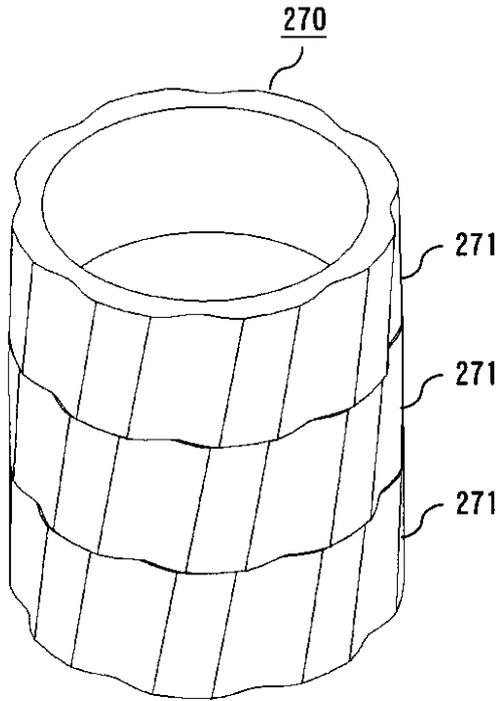
【 図 2 5 】



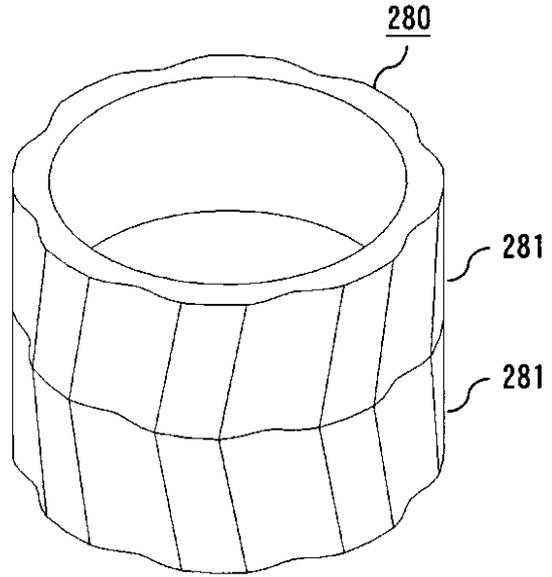
【 図 2 6 】



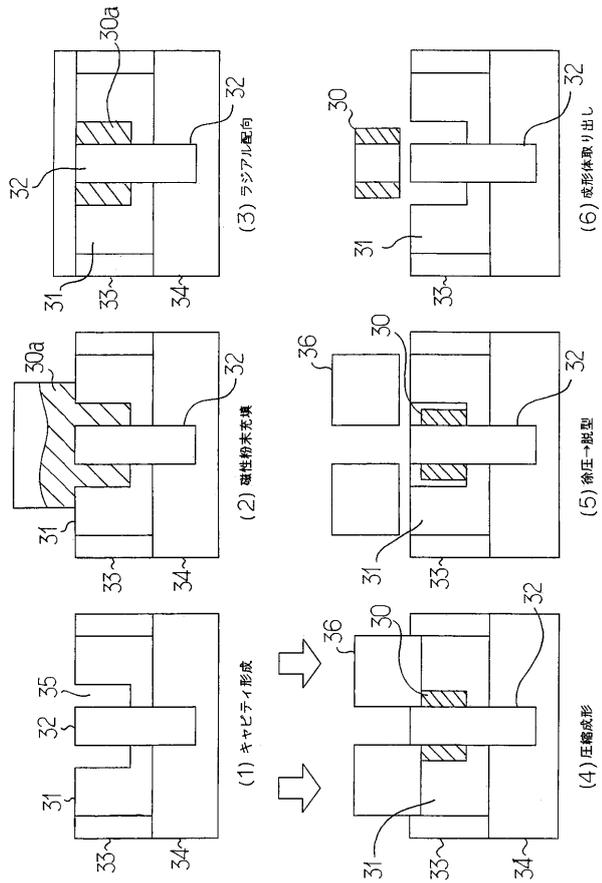
【図 27】



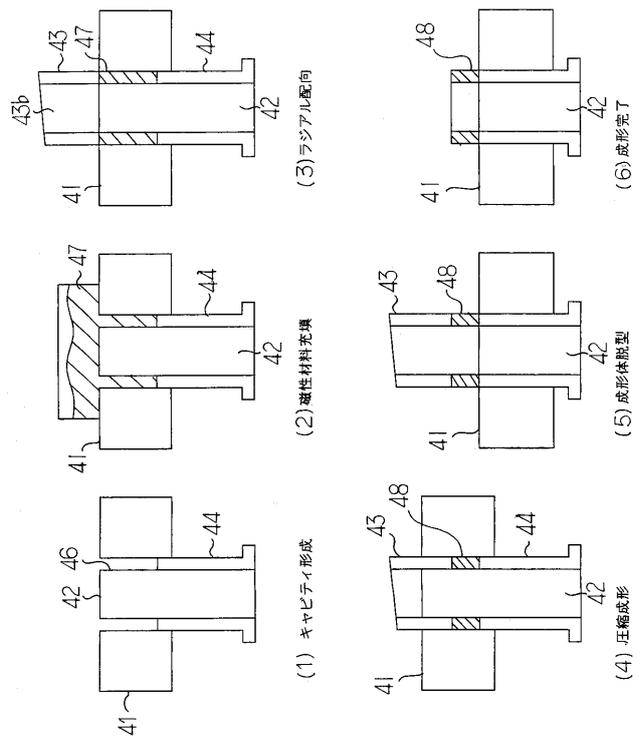
【図 28】



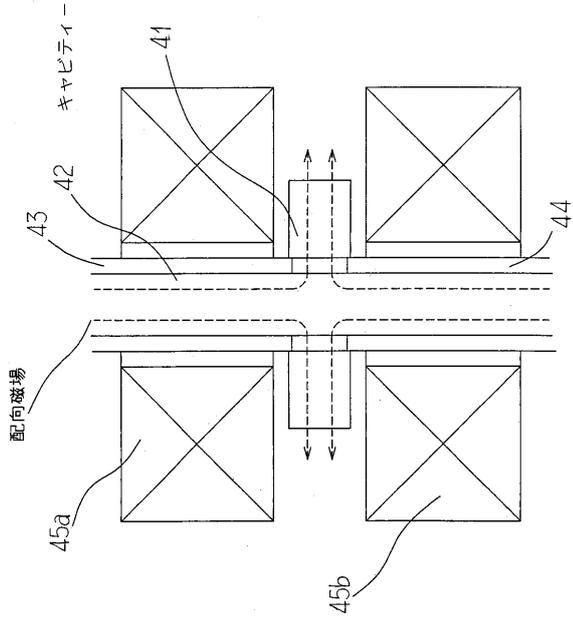
【図 29】



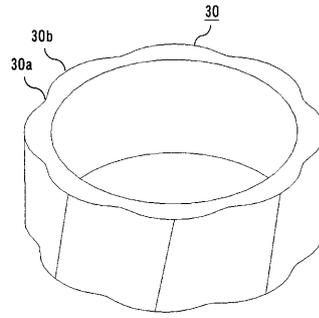
【図 30】



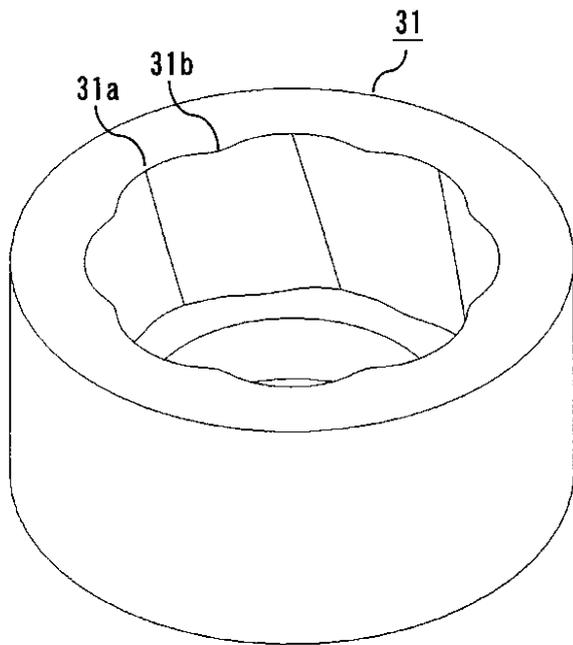
【図 3 1】



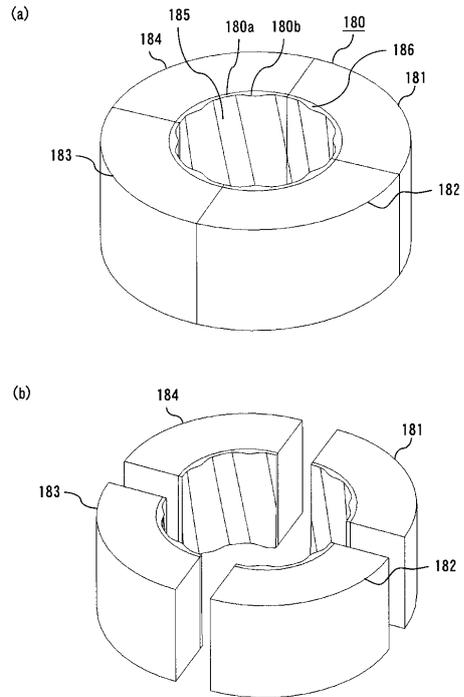
【図 3 2】



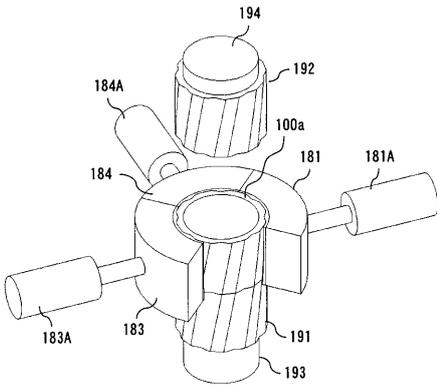
【図 3 3】



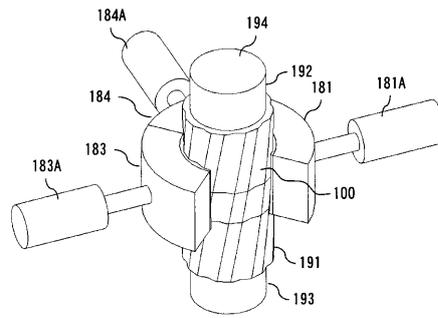
【図 3 4】



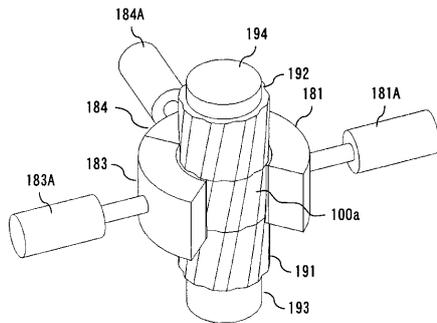
【 図 3 5 】



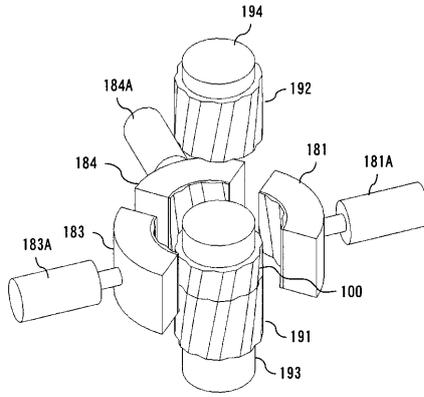
【 図 3 7 】



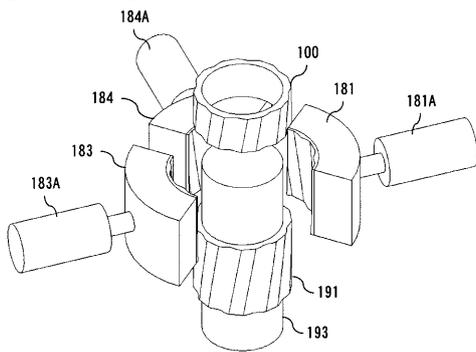
【 図 3 6 】



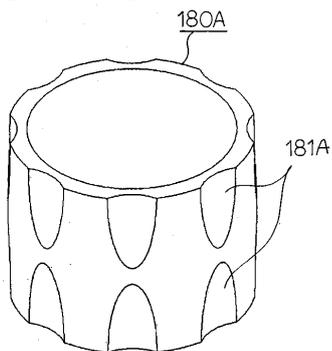
【 図 3 8 】



【 図 3 9 】



【 図 4 0 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 鷓飼 義一

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

(72)発明者 中原 裕治

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

Fターム(参考) 5E062 CC02 CE04 CG02

5H621 AA02 GA04 GA16 HH01

5H622 AA02 CA01 CA05 CB04 DD02 QA02 QA04 QB03