

(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2014-68495
(P2014-68495A)

(43) 公開日 平成26年4月17日(2014.4.17)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H02K 1/16 (2006.01)	H02K 1/16 C	5H601
H02K 21/14 (2006.01)	H02K 21/14 M	5H621

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 39 頁)

(21) 出願番号 特願2012-213383 (P2012-213383)
(22) 出願日 平成24年9月27日 (2012.9.27)

(71) 出願人 509186579
日立オートモティブシステムズ株式会社
茨城県ひたちなか市高場2520番地
(74) 代理人 100100310
弁理士 井上 学
(74) 代理人 100098660
弁理士 戸田 裕二
(74) 代理人 100091720
弁理士 岩崎 重美
(72) 発明者 岩崎 則久
茨城県日立市大みか町七丁目1番1号
株式会社日立製作所
日立研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 回転電機およびそれを用いた電動パワーステアリング装置

(57) 【要約】

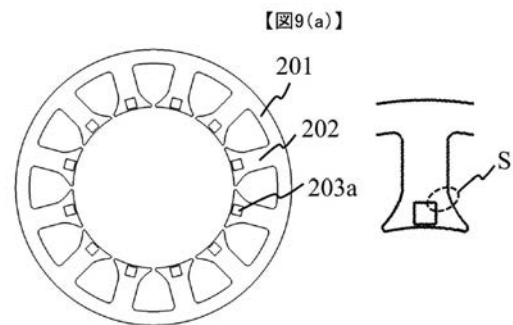
【課題】

本発明は、永久磁石式回転電機に関わり、低トルク脈動、低振動が要求されるモータにおいて、トルク脈動の低減と低振動化の両立を行う。

【解決手段】

固定子コアと、該固定子コアに組み込まれた多相の固定子コイルとを備えた固定子と、回転子コアと、該回転子コアの外周表面に固定された複数の永久磁石とを備えた回転子と、を有し、前記固定子コアは前記固定子コイルを収納するスロット部を形成する複数の固定子ティース部を有し、前記回転子コアが前記固定子に回転可能に対向配置される永久磁石式回転電機において、前記固定子ティース部の先端部に少なくとも一つの非磁性からなる内部領域を設けることを特徴とする永久磁石式回転電機。

【選択図】 図9(a)



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

固定子コアと、該固定子コアに組み込まれた多相の固定子コイルとを備えた固定子と、回転子コアと、該回転子コアの外周表面に固定された複数の永久磁石とを備えた回転子と、を有し、

前記固定子コアは前記固定子コイルを収納するスロット部を形成する複数の固定子ティース部を有し、

前記回転子コアが前記固定子に回転可能に対向配置される永久磁石式回転電機において、

前記固定子ティース部の先端部に少なくとも一つの非磁性からなる内部領域を設けることを特徴とする永久磁石式回転電機。 10

【請求項 2】

前記内部領域は、少なくとも一つの空孔形状であることを特徴とする請求項 1 に記載の永久磁石式回転電機。

【請求項 3】

前記内部領域は、少なくとも一つの溝形状であることを特徴とする請求項 1 に記載の永久磁石式回転電機。

【請求項 4】

前記内部領域は、少なくとも一つの閉じられた積層用のかしめ領域であることを特徴とする請求項 1 に記載の永久磁石式回転電機。 20

【請求項 5】

前記内部領域は前記固定子ティース部の回転子側に近い先端部に位置することを特徴とする請求項 1 に記載の永久磁石式回転電機。

【請求項 6】

前記内部領域の周方向の幅が、前記回転子側よりもその反対側の固定子コアバック部の方が狭いことを特徴とする請求項 4 に記載の永久磁石式回転電機。

【請求項 7】

前記固定子コアは円環状の前記コアバック部と該コアバックから内径方向に突出した前記固定子ティース部によって構成され、

前記内部領域の周方向中心がティース部の周方向中心に位置することを特徴とする請求項 1 に記載の永久磁石式回転電機。 30

【請求項 8】

永久磁石の極数と固定子コアのスロット数の比が $10 : 12$ 若しくは $14 : 12$ であることを特徴とする請求項 1 に記載の永久磁石式回転電機。

【請求項 9】

前記永久磁石式回転電機は自動車の補機ように用いられることを特徴とする請求項 1 に記載の永久磁石式回転電機。

【請求項 10】

前記永久磁石式回転電機は電動パワーステアリング用であることを特徴とする請求項 1 に記載の永久磁石式回転電機。 40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、回転電機およびそれを用いた電動パワーステアリング装置に関する。

【背景技術】

【0002】

電動化による油圧代替やハイブリッド自動車（HEV）、電気自動車（EV）の市場投入を受けて、電動パワーステアリング（EPS）の装着率が急激に高まってきている EPS 用のモータは、人間の手の力をアシストする。このため、手とタイヤの間にあるモータのトルク脈動・摩擦を、運転者はステアリングホイール（ハンドル）を介し、手に感じる 50

こととなる。従ってEPS用モータへのトルク脈動に関する要求は厳しい。また、運転者や同乗者に不快を感じさせないために、機械部品の摩擦や振動によって発生する車室内騒音についても厳しい要求がある。特に近年では、アイドリングストップなどの機能によって、エンジン音の静かな車が多くなっており、電装品の静音化は重要視されている。

【0003】

コギングトルクやトルク脈動を低減する技術として、例えば、特許文献1や特許文献2に記載のように、極数とスロット数の比が10:12もしくは14:12となるようにし、スロット開口幅や磁石形状をある閾値に収める方法が知られている。また、特許文献3に記載のようにティース先端に溝を設ける構造によって、コギングトルクを低減する方法も知られている。振動および騒音を低減する技術として、特許文献4に記載のように、回転子コアにスリットを設ける方法などが知られている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開昭62-11048

【特許文献2】特開2009-171790

【特許文献3】特開2011-67090

【特許文献4】W008/102439

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

20

【0005】

特許文献1および特許文献2のように、モータのコギングトルクやトルク脈動を低減するためには、極数とスロット数の組み合わせが非常に重要である。例えば、12スロットの集中巻モータを考えた場合、選択できる極数として、8極、10極、14極などがある。ここで、10極乃至14極を選択することにより、コギングトルクやトルク脈動に関して優れた特性を得ることができる。こうした極数とスロット数の組み合わせは径方向の電磁力成分が空間的に2次のモードとなり、固定子ハウジングが変形し易く、振動・騒音の原因になり易い。

【課題を解決するための手段】

【0006】

30

本発明は、固定子コアと、固定子コアに組み込まれた多相の固定子コイルとを備えた固定子と、回転子コアと、回転子コアの外周表面に固定された複数の永久磁石とを備えた回転子と、を有し、固定子コアは固定子コイルを収納するスロット部を形成する複数の固定子ティース部を有し、回転子コアが固定子に回転可能に対向配置される永久磁石式回転電機において、固定子ティース部の先端部に少なくとも一つの非磁性からなる内部領域を設けることを特徴とする永久磁石式回転電機である。

【0007】

また、極数とスロット数の関係を10:12の整数倍、もしくは14:12の整数倍としてもよい。

【発明の効果】

40

【0008】

本発明によれば、径方向電磁力成分のうち空間的に低次の成分を低減することができる。

【0009】

また、極数とスロット数の関係を10:12の整数倍、もしくは14:12の整数倍とすることで、コギングトルクやトルク脈動の低減をすることができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本発明の一実施例による電動パワーステアリング装置を示す図である。

【図2(a)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング装置を示す図である。

50

- 【図 2 (b)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング装置を示す図である。
- 【図 3 (a)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング装置を示す図である。
- 【図 3 (b)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング装置を示す図である。
- 【図 4】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータと制御装置を表す図である。
- 【図 5 (a)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータの構成を表す図である。
- 【図 5 (b)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータの回転子の構成を表す図である。
- 【図 5 - c】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータの固定子分割コアとボピンの組み立て方を表す図である。 10
- 【図 6 (a)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータの固定子の巻線配置を表す図である。
- 【図 6 (b)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータの固定コアの組み立てを表す図である。
- 【図 6 (c)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータにおける固定子の軸方向断面図を表す図である。
- 【図 7】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータと従来方式による 10 極 12 スロットモータでの径方向空間 2 次電磁力の計算結果を表す図である。
- 【図 8 (a)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータにおいて、ブリッジ幅 / ティース幅 = 0 . 03 での径方向空間 2 次の電磁力の計算結果を表す図である。 20
- 【図 8 (b)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータにおいて、ブリッジ幅 / ティース幅 = 0 . 03 でのトルク脈動の計算結果を表す図である。
- 【図 8 (c)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータにおいて、ブリッジ幅 / ティース幅 = 0 . 06 での径方向空間 2 次の電磁力の計算結果を表す図である。
- 【図 8 (d)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータにおいて、ブリッジ幅 / ティース幅 = 0 . 06 でのトルク脈動の計算結果を表す図である。
- 【図 8 (e)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータにおいて、ブリッジ幅 / ティース幅 = 0 . 13 での径方向空間 2 次の電磁力の計算結果を表す図である。
- 【図 8 (f)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータにおいて、ブリッジ幅 / ティース幅 = 0 . 13 でのトルク脈動の計算結果を表す図である。 30
- 【図 8 (g)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータにおいて、ブリッジ幅 / ティース幅 = 0 . 16 での径方向空間 2 次の電磁力の計算結果を表す図である。
- 【図 8 (h)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータにおいて、ブリッジ幅 / ティース幅 = 0 . 16 でのトルク脈動の計算結果を表す図である。
- 【図 8 (i)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータにおいて、ブリッジ幅 / ティース幅 = 0 . 24 での径方向空間 2 次の電磁力の計算結果を表す図である。
- 【図 8 (j)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータにおいて、ブリッジ幅 / ティース幅 = 0 . 24 でのトルク脈動の計算結果を表す図である。
- 【図 9 (a)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータの四角形状の空孔を有する固定子コア軸方向断面形状を表す図である。 40
- 【図 9 (b)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータの六角形状の空孔を有する固定子コア軸方向断面形状を表す図である。
- 【図 9 (c)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータの五角形状の空孔を有する固定子コア軸方向断面形状を表す図である。
- 【図 10 (a)】図 9 (a) ~ 図 9 (c) に示す空孔形状での径方向空間 2 次電磁力の計算結果を表す図である。
- 【図 10 (b)】図 9 (a) ~ 図 9 (c) に示す空孔形状でのトルク脈動の計算結果を表す図である。
- 【図 11 (a)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータの四角形状の 50

溝を有する固定子コア軸方向断面形状を表す図である。

【図 1 1 (b)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータの三角形形状の空孔を有する固定子コア軸方向断面形状を表す図である。

【図 1 1 (c)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータの三角形形状の溝を有する固定子コア軸方向断面形状を表す図である。

【図 1 2 (a)】図 1 1 (a) ~ 図 1 1 (c) に示す空孔形状での径方向空間 2 次電磁力の計算結果を表す図である。

【図 1 2 (b)】図 1 1 (a) ~ 図 1 1 (c) に示す空孔形状でのトルク脈動の計算結果を表す図である。

【図 1 3 (a)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータの固定子コアの詳細図である。 10

【図 1 3 (b)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータの固定子コアの詳細図である。

【図 1 3 (c)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータの固定子コアの詳細図である。

【図 1 3 (d)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータの固定子コアの詳細図である。

【図 1 4 (a)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータの回転子コアと回転子磁石の詳細図である。

【図 1 4 (b)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータの回転子コアと回転子磁石の詳細図である。 20

【図 1 4 (c)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータの回転子コアと回転子磁石の詳細図である。

【図 1 4 (d)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータの回転子コアと回転子磁石の詳細図である。

【図 1 4 (e)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータの回転子コアと回転子磁石の詳細図である。

【図 1 5 (a)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータの回転子コアと回転子磁石の詳細図である。

【図 1 5 (b)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータの回転子コアと回転子磁石の詳細図である。 30

【図 1 5 (c)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータの回転子コアと回転子磁石の詳細図である。

【図 1 5 (d)】本発明の一実施例による電動パワーステアリング用モータの回転子コアと回転子磁石の詳細図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 1 】

以下、本発明による回転電機について図面を用いて説明する。尚、本実施例では電動パワーステアリング用のモータとして記述するが、同様にブラシレスモータ全般に適用可能である。 40

【実施例 1】

【 0 0 1 2 】

本発明における第 1 の実施形態について説明する。まず、図 1 ~ 3 を用いて本発明の電動パワーステアリングに関する動作原理を説明する。本実施例は車載電源と、この車載電源からワイヤーハーネスを介して供給された直流電力を多相の交流電力に変換するとともに、ステアリングに加えられたトルクに応じて、その出力を制御する制御装置と、この制御装置から供給される交流電力によって駆動され、操舵用のアシストトルクを出力する電動パワーステアリング用モータとを有する電動パワーステアリングシステムであって、前記電動パワーステアリング用モータは、フレームと、このフレームに固定された固定子と、この固定子に空隙を介して対向配置された回転子とを有し、固定子は固定子コアと、こ 50

の固定子コアに組み込まれた多相の固定子コイルを備えており、固定子コアは環状のバックコア部と、このバックコア部から径方向に突出する複数のティースコア部とから構成されており、固定子コアの隣接するティースコア部間にはスロット部が形成されており、固定子コイルはスロット部に収納されており、回転子は回転子コアと、この回転子コアの外周表面に固定された、もしくは回転子コアに埋め込まれた複数のマグネットを備えている電動パワーステアリング用モータにある。

【 0 0 1 3 】

図 1 は、本実施例の電動パワーステアリング用モータを用いた電動パワーステアリングシステムの構成図である。本システムはステアリングホイール S T と、ステアリングホイール S T の回転駆動力を検出するトルクセンサ T S と、トルクセンサ T S の出力に基づいて、アシストトルクを制御する制御装置 E C U と、アシストトルクを制御する制御装置 E C U の信号に基づいて、アシストトルクを出力する電動パワーステアリング用モータ 1 0 0 0 と、制御装置 E C U およびモータ 1 0 0 0 のエネルギー供給源となる車載用バッテリー B A と、モータ 1 0 0 0 の回転駆動力を歯車によって減速し、所望のトルクを出力するためのギヤ機構 G E と、ギヤ機構 G E で発生したトルクを伝達するためのピニオンギヤ P N と、ピニオンギヤ P N とギヤ機構 G E をつなぐための一つまたは複数のロッド R O と、一つまたは複数のジョイント J T と、ピニオンギヤ P N に発生する回転駆動力を垂平方向の力に変化するラックギヤ R C G と、ラックギヤを覆うラックケース R C と、ラックケース内に塵などが入らないために設けられる第 1 のダストブーツ D B 1 と第 2 のダストブーツ D B 2 と、実際に舵取りが行われる第 1 のタイヤ W H 1 と、第 2 のタイヤ W H 2 と、ラック軸に発生する水平方向の力を第 1 のタイヤ W H 1 に伝えるための第 1 のタイロッド T R 1 と、同じくラック時軸に発生する水平方向の力を第 2 のタイヤ W H 2 に伝えるための第 2 のタイロッド T R 2 を備えている。

【 0 0 1 4 】

図 1 はステアリングコラム付近にアシストトルクを発生させるためのモータ 1 0 0 0 を備えているコラムアシスト式の電動パワーステアリング装置である。図 1 はステアリングホイール S T を回転させると、その回転駆動力をトルクセンサ T S が検出する。前記トルクセンサ T S の検出信号に基づいて、制御装置 E C U が所望のアシストトルクを発生させるための通電パターンを演算し、モータ 1 0 0 0 に指令を出す。モータ 1 0 0 0 は制御装置 E C U の指令に基づいて通電を行い、アシストトルクを発生させる。モータ 1 0 0 0 に接続されたギヤ機構 G E により減速され、ロッド R O とジョイント J T を介して、ピニオンギヤ P N に回転駆動力が伝達される。ピニオンギヤ P N はラックギヤ R C G と噛合っており、それによってピニオンギヤ P N の回転駆動力は車の進行方向に対して直角方向の推力に変換される。こうして発生した水平方向の推力はタイロッド T R 1 および T R 2 を介して、タイヤ W H 1 および W H 2 の舵取りを行う。本システムは車室内にモータが配置されるため、エンジンルームから遠く、環境温度が比較的低い条件で使用できる。そのため、高温で減磁が考えられるネオジウム焼結磁石を用いた永久磁石式モータの場合、減磁耐力に関して比較的緩い条件で設計が可能である。ただし、運転者に近いことから、モータの振動と騒音に関しては厳しい条件での設計が必要となる。図 1 では、制御装置 E C U とモータ 1 0 0 0 は別々に描いているが、モータ 1 0 0 0 の出力軸と反対方向に制御装置 E C U が接続された機電一体型としても適用できる。

【 0 0 1 5 】

図 2 はピニオン軸付近にアシストトルクを発生させるためのモータ 1 0 0 0 を備えているピニオンアシスト式の電動パワーステアリング装置である。図 2 (a) はピニオン軸にアシストトルクを発生させるためのモータ 1 0 0 0 が備えられており、基本的な動作原理は図 1 のコラムアシスト式電動パワーステアリング装置と変わらない。また、図 2 (b) はロッド R O を介してステアリングホイール S T に接続されている第 1 のピニオン軸 P N 1 とは別にラック軸の中心と反対方向に第 2 のピニオン軸 P N 2 が設けられ、アシストトルクを発生させるためのモータ 1 0 0 0 は第 2 のピニオン軸 P N 2 に備えられている。ピニオンギヤが二つ存在することからデュアルピニオンアシスト式電動パワーステアリングま

たはダブルピニオンアシスト式電動パワーステアリングと呼ばれる。これは人間がステアリングを切る力とアシストトルクの両方がラックギヤRCGに加わることや、ピニオン軸を別に設けることで、モータ1000を配置するためのスペースを確保できることから、モータ体格を大きくでき、高出力化が可能となる。また、本システムはモータ1000と運転者との距離が長いことから、振動・音に関して比較的緩い条件で設計が可能となる。一方で、エンジンルーム内に配置されるため、環境温度が比較的高く、高温で減磁が考えられるネオジム焼結磁石を用いた永久磁石式モータの場合、減磁耐力について比較的厳しい条件での設計が必要となる。

【0016】

図3はラックギヤRCGに対して同軸にアシストトルクを発生させるためのモータ1000が備えられているラックアシスト式電動パワーステアリング装置である。図3(a)はラックケースRC内にアシストトルクを発生させるためのモータ1000が内蔵されている。このモータ1000は中空シャフト構造になっており、中にネジを切ったボールスクリュースクリューBSが配置されている。このボールスクリュースクリューBSとラックギヤRCGが噛み合うことで、モータ1000の回転駆動力をラックギヤRCGの水平方向の推力に変換する仕組みである。また、図3(b)はラックギヤRCGと平行にアシストトルクを発生させるためのモータ1000が備えられている。この場合、モータ1000の回転子シャフトとラックギヤがベルトBTでつながれており、スクリュースクリュー状の溝を切ったベルトBTとラックギヤRCGが噛み合うことでモータ1000の回転駆動力をラックギヤRCGの水平方向の推力に変換する仕組みである。本システムは図2で説明したピニオンアシスト式の電動パワーステアリングと同様にモータ1000と運転者との距離が長いことから、振動・音に関して比較的緩い条件で設計が可能となる。一方で、エンジンルーム内に配置されることから、環境温度が比較的高く、高温で減磁が考えられるネオジム磁石焼結を用いた永久磁石式モータの場合、減磁耐力について比較的厳しい条件での設計が必要となる。さらに、スペースを合理的に有効活用できる構成であるため、モータ体格の増大など、さらなる高出力化に有利な構成である。

【0017】

次に、モータ1000、制御装置ECU、バッテリーBAのエネルギー収支について説明する。モータ1000の動力源であるバッテリーBAとして、例えば12V、100Aのものを用いる場合、その出力は約1200Wとなる。バッテリーBAと制御装置ECUとはワイヤーハーネスで接続されており、太いワイヤーハーネスを用いることで低抵抗化しても(引きまわりの容易性を考慮すると、導体断面積8mm²程度のワイヤーハーネスが限界)、上述のように大電流が流れる場合、ワイヤーハーネスの消費電力は、200W程度となる。また、制御装置ECU自体の内部抵抗値を小さくしたとしても、その消費電力は、約200~300Wとなる。したがって、バッテリーBAの出力可能な電力(約1200W)の内、約半分がワイヤーハーネスや制御装置ECUで消費され、モータ1000で消費可能な電力は半減する。モータ1000の逆起電力は回転速度とコイル巻数に比例するため、高い回転速度領域ではモータで発生する逆起電力が入力電圧に対して大きくなってしまふ。そうなると、システムとして成立しなくなるため、コイルの巻数を少なくすることで、高速領域まで対応できるように設計する必要がある。

【0018】

EPS用のモータは、小排気量(小車両総重量)の車両に用いられており、大排気量(大車両総重量)の車両では、現状では油圧式のパワーステアリング装置が実用化されている。このような大排気量(大車両総重量)の車両(例えば、排気量1.8L以上、車両総重量1.5t以上)に、永久磁石式ブラシレスモータを用いることは実用上不可能であった。その理由は、大排気量(大車両総重量)の車両においては、据え切り状態では車両重量が大きすぎるため、ステアリングと地面の間の摩擦が大き過ぎ、据え切りが不可能になるからである。

【0019】

永久磁石式集中巻のブラシレスモータにおいて、低速時のトルクを大きくできない理由

10

20

30

40

50

は、モータの銅損が大きく、前述のエネルギー収支の関係から、十分なモータ電流が流れ込まないことによる。そこでEPSでは、銅損の小さなモータとする必要がある。さらに、モータとECUが一体で設計される機電一体型のモータにおいてはECU側にモータの熱が伝わらないように銅損を十分低減することはメリットがある。

【0020】

EPSモータは、図1～3に示すようにステアリングコラムの近傍に置かれる場合、ラックアンドピニオンの近傍に置かれる場合などがあるが、何れも小型化が要求される。また、小型化された構造でステータ巻線を固定することが必要であり、巻線作業が容易なことも重要である。さらにEPSモータはコギングトルクなどのトルク変動をたいへん小さく押えることが望ましいEPSモータは大きなトルクが要求される。例えば車の走行停止状態、あるいは走行停止に近い運転状態でステアリングホイール（ハンドル）が早く回転されると操舵車輪と地面との間の摩擦抵抗のため、上記モータには大きなトルクが要求される。このときには大電流が固定子コイルに供給される。この電流は条件により異なるが50アンペア以上の場合がある。70アンペアあるいは150アンペアの場合も考えられる。自動車に搭載されるEPSは色々な振動が加わる。また、車輪からの衝撃が加わる。また、気温変化の大きい状態で利用される。摂氏マイナス40度の状態も考えられ、また、温度上昇により100度以上も考えられる。さらに、モータ内に水が入らないようにしなければならない。このような条件で固定子がヨークに固定されるためには、筒状フレームの少なくともステータ鉄心の外周部には螺子穴以外の穴が設けられていない、円筒金属にステータ部（Sub Assy）を圧入することが望ましい。また、圧入後さらにフレームの外周から螺子止めしてもよい。圧入に加え回止を施すことが望ましい。

10

20

【0021】

EPS用のモータは車両に搭載された電源により駆動される。上記電源は出力電圧が低い場合が多い。電源端子間にインバータを構成するスイッチング素子や上記モータ、その他電流供給回路の接続手段が等価的に直列回路を構成し、上記回路においてそれぞれの回路構成素子の端子電圧の合計が上記電源の端子間電圧になるので、モータに電流を供給するためのモータの端子電圧は低くなる。このような状況でモータに流れ込む電流を確保するにはモータの銅損を低く押えることが極めて重要である。この点から車両に搭載される電源は50ボルト以下の低電圧系が多く、固定子コイル400を集中巻とすることが望ましい。特に12ボルト系電源を使用する場合は極めて重要である。

30

【0022】

上述の通り、12ボルト系の電源を使用する場合、モータの極数が多いと回転速度の高い領域では、モータ性能が十分に得られないことが多い。そのため、モータの極数は6～14極程度が望ましい。ここでは、6～14極の範囲において、同じスロット数で極数の選択肢が多い12スロットの集中巻モータを例に挙げる。

【0023】

永久磁石回転電機において、永久磁石の極数をP、固定子の突極数をSとし、さらにPとSの最小公倍数N、最大公約数Mとしたとき、最小公倍数Nは、モータ無通電状態における1回転あたりの周方向の脈動数、すなわち1回転あたりのコギングトルク次数となる。コギングトルクは回転子の移動に伴う磁気エネルギーの変化であり、上記最小公倍数Nが大きければ大きいほどコギングトルクの変動分は小さくなる。また、最大公約数Mは、回転電機の振動モードを規定する値となる。図5に示す永久磁石回転電機の固定子200が電磁気的な応力を受けて円環モードの振動をする場合のモード数（周方向の振動サイクル）を規定し、これを大きくすることによって、振動は少なくなり、低振動のモータとすることができる。

40

【0024】

例えば8極12スロットと10極12スロットモータを考えると、8極12スロットモータの場合は、極数とスロット数の最小公倍数Nは24となり、コギングトルクやトルク脈動が大きく、操舵フィーリングが重視されるEPSモータとしての性能を満足するためには、回転子磁石にスキューを施すなどの工夫が必要となる。それに対して、10極12

50

スロットモータの場合は、最小公倍数Nは60となり、コギングトルクやトルク脈動を大幅に低減することができる。次に、最大公約数で見ると8極12スロットの場合は4に対し、10極12スロットは2となり、10極12スロットの円環モード数が低く、振動し易い組み合わせであることがわかる。特に円環モードが2次の場合大きな楕円を描くモードとなり、固定子およびハウジングは変形し易いと考えられる。このように低次の円環モードは振動の原因となり易い。従って、こうした低次の円環モードの電磁力を低減することで振動・騒音になり難いモータを提供することができる。

【0025】

以下、本発明の第1の実施形態に関するモータの詳細構成について図4~5を用いて説明するEPSモータ1000の具体的構成について説明する。本発明におけるEPS用モータはステアリングホイールを介して、人がタイヤの舵取りを行う際に、アシストトルクを制御する制御装置ECUの信号に基づいて、通電を行い、アシストトルクを出力する。ここで、制御装置ECUとモータ1000の配置関係について述べる。制御装置ECUは、図1~3に示すようにモータ1000と別の位置に配置され、ワイヤーハーネス等を介してモータに接続される場合と、ワイヤーハーネスでの電圧降下や損失をなくすために、モータ1000の反出力側に制御装置ECUを直結した機電一体式が考えられる。例えば機電一体式の場合、図4に示すように、制御装置ECUはモータ1000の反出力軸側に直結される構成となる。モータ1000に巻かれた巻線の引き出し線がバスバーを介して金属部分に接触・固定され、バスバーを介してY結線や結線などの方式による結線がなされるように構成している。バスバーを介してまとめられた結線は制御装置ECU側に突出した入力線802によって制御装置ECUに接続される。

10

20

【0026】

次に、モータ1000の全体構成に関して、図5(a)を用いて説明する。モータ1000は鉄製またはアルミ製のハウジングケース100に固定された磁性体からなる固定子コア200と、固定子コア200に巻回された導電性の固定子コイル400と、固定子コア200と固定子コイル400を絶縁するための非導電性部材からなるボビン300と、固定子200の内径側に回転可能に支持された回転子500と、固定子コイル400の引き出し線をまとめて、モータの入力線やY結線の場合は中性点などをつくるためのバスバー600と、モータ1000の入力側に設けられたブラケット700と、入力線802やリレースイッチ801などをまとめた基盤800によって構成されている。

30

【0027】

上記の構成を組み立てる構成は次の通りである。固定子コア200に固定子コイルを組み込む第1の工程と、この後、固定子コイル400が組み込まれた固定子コア200の周方向の複数箇所をハウジングケース100に圧入し、固定子コイル400を組み込んだ固定子コア200がハウジングケース100に固定された構造体を得る第2の工程と、この後、固定子コア200と、固定子コア200の軸方向端部から軸方向に突出する固定子コイル400のコイルエンド部をブラケット700または治具とハウジングケース100によって囲むように、ブラケット700または治具を構造体に対して取り付ける第3の工程を経て製造される。または、第3の工程後に、ブラケット700または治具とハウジングケース100によって囲まれている中に流体状のモールド材を注入し、コイルエンド部、固定子コア200の隙間、固定子コイル400の隙間、固定子コア200と固定子コイル400との間の隙間及び固定子コア200とハウジングケース100との間の隙間にモールド材を充填する第4の工程と、この後、モールド材を固化させる第5の工程と、この後、治具を取り外す第6の工程とを経て、モールド材によってモールド成形された構造体を得る製造方法としても良い。

40

【0028】

次に、図5(b)を用いて、回転子500の構成について述べる。回転子500は周方向に少なくとも一つ以上の永久磁石である回転子磁石501と、永久磁石を固定するための回転子コア502と、回転子磁石501が回転の遠心力に耐えられるように設けられた磁石カバー503と、回転子コアの内径側に固定されたシャフト504とシャフト504

50

を回転させるためのベアリング機構 505 および 506 と、モータ出力側にあるギヤや負荷などと連結するための負荷側嵌め込み構造部材 507 によって構成されている。

【0029】

次に図 5 (c) を用いて固定子コア 200 とボビン 300 の構成について述べる。固定子コア 200 は円環状の固定子コアバック部 201 とコアバックから内径方向に突出した固定子ティース部 202 によって構成され、この分轄コアを周方向に配置することで図 5 (a) のような固定子コアを構成する。固定子コア 200 と固定子コイル 400 とを絶縁するためのボビン 300 は図 5 (c) に示すように、ボビン 301 と 302 が軸方向両側に分割され、固定子ティース部 202 を軸方向から挟みこむようにして組み立てる EPS モータでは、12V 等の低電圧バッテリーを用いて大電流で駆動されることが多く、線径の大きな巻線を用いる必要がある。また、必要なアシスト力を補うために巻線の占積率も高くする必要がある。以上の理由から分割コアを使用することが有用であるため、本実施例では分割コアを例に挙げて説明を述べている。しかし、本発明の効果については一体コアでも同様の効果は得られる。その場合、スロット開口幅に対して巻線の線径は小さくなる。

10

【0030】

図 6 (a) ~ 図 6 (c) は本実施例を説明するための図である。ここでは、10極12スロットを例に挙げて説明するが、同極数とスロット数の組み合わせでも同様の効果は得られる。図 6 (a) は 10 極 12 スロットもしくは 14 極 12 スロット用の集中巻モータの固定子断面構造を示している。図 6 (a) 上では、固定子コイルはそれぞれ独立した 12 個のティースに反時計回り方向に U1+, U1-, V1-, V1+, W1+, W1-, U2-, U2+, V2+, V2-, W2-, W2+ の順で固定子コイルが集中巻で巻回されている。ここで、固定子コイル U1+ と、固定子コイル U1- とは、コイルを流れる電流の向きが逆方向になるように巻回されている。固定子コイル U2+ と、固定子コイル U2- とともに、コイルを流れる電流の向きが逆方向となるように巻回されている。また、固定子コイル U1+ と、固定子コイル U2+ とは、コイルを流れる電流の向きが同一方向となるように巻回されている。固定子コイル U1- と、固定子コイル U2- とともに、コイルを流れる電流の向きが同一方向となるように巻回されている。固定子コイル V1+, V1-, V2+, V2- の電流の流れ方向の関係、及び固定子コイル W1+, W1-, W2+, W2- の電流の流れ方向の関係も、U 相の場合と同様である。

20

30

【0031】

12 個の固定子コア 200 及び固定子コイル 400 は、同様に製作される。例えば、U 相は 4 つのティースで構成されるため、並列回路数を 2 並列とした場合、2 つの直列にティースに巻回される固定子コイルは連続的に巻回され、もう一方の 2 つの直列に巻回される固定子コイルも連続的に巻回され、バスバー等を介して結線処理される。また、並列回路数を 1 とした場合には 4 つのティースに巻回される固定子コイルすべてが連続的に巻回される。図 6 (b) は一体コアまたは分割コアを周方向に並べて構成した固定子コア 200 を示している。ちなみに、固定子コア 200 は電磁鋼板などの磁性材料で構成される薄い板状のものを軸方向に積層して作られている。これは固定子に発生する渦電流損を低減させる効果がある。図 6 (c) は固定子コア 1 ティース分の軸方向断面図を示している。固定子コアは円環状のコアバック部 201 とコアバックから内径方向に突出した固定子ティース部 202 によって構成され、固定子ティース部 202 の内径方向先端部は周方向に広がる形で構成される。このような形状とすることで、固定子ティース部 202 が周方向に広がり始める箇所と固定子ティース部 202 の先端間の断面積を広くとることにより、磁気飽和を緩和し、トルク脈動を抑制する効果がある。本実施例では、固定子ティース部 202 の周方向中央部かつ内径方向先端部に少なくとも一つの空孔 203 を設けている。この空孔 203 によって径方向の電磁力を低減し、振動源を低減する効果がある。この固定子 203 は、固定子コア 200 製造と同様に、打ち抜き若しくはワイヤーカットによって加工する。また、上述した空孔 203 は固定子ティース部 202 内径方向にブリッジ 204 を有しており、コアを通じて繋がっている。

40

50

【 0 0 3 2 】

図 7 に 1 0 極 1 2 スロットモータのある時刻における径方向電磁力の空間次数ごとの波高値を示す。図 7 より、固定子先端の空孔によって空間 2 次の電磁力を大幅に低減できていることがわかる。また、本実施例では空孔 2 0 3 は空気部として説明しているが、非磁性部材もしくは固定子コアに対して透磁率が低い部材であれば良い。以上より、かしめ等の加工工夫による代用も可能である。

【 実施例 2 】

【 0 0 3 3 】

図 8 (a) ~ 図 8 - k を用いて本発明の第 2 の実施例について述べる。図 8 (a) ~ 図 8 - k では、1 0 極 1 2 スロットモータにおいて、第 1 の実施形態で述べた固定子コアのブリッジ 2 0 4 が固定子ティース部 2 0 2 の幅に対して占める割合（以下、ブリッジ幅 / ティース幅）ごとに、空孔の長さ（径方向）および幅（周方向）に対して、空間 2 次の径方向電磁力およびトルク脈動の関係を示している。図 8 (a) ~ 図 8 (b) はブリッジ幅 / ティース幅 0 . 0 3 の時の計算結果を示している。図 8 (c) ~ 図 8 (d) はブリッジ幅 / ティース幅 0 . 0 6 の時の計算結果を示している。図 8 (e) ~ 図 8 (f) はブリッジ幅 / ティース幅 0 . 1 3 の時の計算結果を示している。図 8 (g) ~ 図 8 (h) はブリッジ幅 / ティース幅 0 . 1 6 の時の計算結果を示している。図 8 (i) ~ 図 8 (j) はブリッジ幅 / ティース幅 0 . 2 4 の時の計算結果を示している。以上の図より、効果の度合いはそれぞれ異なるが、全ての領域において、空間 2 次の径方向電磁力の低減効果があることがわかる。一方で、トルク脈動を見ると、固定子ティース部 2 0 2 の幅に対して、空孔の長さおよび幅が大きくなるほど、悪化していることが確認できる。そこで、トルク脈動の悪化抑制を考慮し、トルク脈動 4 % 以下を目安に考えると、ブリッジ幅 / ティース幅が 0 . 0 3 ~ 0 . 0 6 の範囲では、空孔長さ / ティース幅 0 . 5、空孔幅 / ティース幅 0 . 4 8 の範囲が望ましい。次に、ブリッジ幅 / ティース幅が 0 . 1 3 ~ 0 . 2 0 の範囲では、空孔長さ / ティース幅 0 . 4、空孔幅 / ティース幅 0 . 4 8 の範囲が望ましい。ブリッジ幅 / ティース幅が 0 . 2 0 より大きな範囲では、空孔長さ / ティース幅 0 . 5、空孔幅 / ティース幅 0 . 4 8 の範囲が望ましい。

【 実施例 3 】

【 0 0 3 4 】

図 9 (a) ~ 図 9 (c) を用いて、本発明の第 3 の実施例について述べる。図 9 (a) は四角形状の空孔形状を有する固定子コアを示している。図 9 (a) のような形状の場合、固定子ティース先端部の四角形状空孔 2 0 3 a の長さおよび幅に比例して、固定子ティース部 2 0 2 の内径方向先端部が周方向に広がり始める箇所において、磁束が通る面積が小さくなっていく。そのため磁気飽和状態が厳しくなり、トルク脈動が悪化する要因になると考えられるため、空孔の長さおよび幅には制約が必要となる。これに対しては第 2 の実施例でも示しているように、空孔の幅と長さには制約を設けることで、トルク脈動の悪化を抑えつつ、径方向の電磁力を低減することができる。そこで、本実施形態では、ティースの磁気飽和緩和に着目して空孔形状に関する実施形態を述べる。磁気飽和およびトルク脈動に影響を及ぼす箇所は、先述したとおり、コアが広がり始める箇所であり、空孔 2 0 3 の長さおよび幅が大きくなると、図 9 (a) に示す断面積 S が小さくなる。これによって磁気飽和が厳しくなり、トルク脈動が悪化する。従って空孔 2 0 3 の外径方向の幅を狭めることによって磁気飽和を緩和し、トルク脈動の悪化を抑制することができる。例えば、図 9 (b) に示すように固定子ティース先端部の六角形状空孔 2 0 3 b の外径方向先端部を台形状にカットし、空孔を六角形の形状とする。若しくは図 9 (c) に示すように固定子ティース先端部の空孔 2 0 3 の外径方向先端部を三角形状にカットし、空孔を五角形状の五角形状空孔 2 0 3 c とすれば、断面積 S 部の磁気飽和を緩和することができる。

【 0 0 3 5 】

図 1 0 (a) に、1 0 極 1 2 スロットモータにおける図 9 (a) ~ 図 9 (c) に示す空孔形状での空間 2 次の径方向電磁力の計算結果を示す。図 9 (b) ~ 図 9 (c) のように空孔 2 0 3 の外径方向先端部を狭める形状によって、狭めてないときと比較すると径方向

電磁力の低減率は低いが、加工無の状態と比較すると大幅に低減できていることがわかる。また、図10(b)に同条件でのトルク脈動の計算結果を示す。空孔203の外径方向先端部を狭めていない形状では、加工無と時と比較してトルク脈動が悪化しているのに対し、図9(b)~図9(c)のような形状とすることで、トルク脈動の悪化を抑制できていることがわかる。

【実施例4】

【0036】

図11(a)および図11(c)を用いて本発明の第4の実施例について述べる。図11(a)は図9(a)に示す固定子コア形状の四角形状空孔203aのブリッジ部を切り取った四角形状溝203dを有する固定子コア形状を示している。これまでの実施例で示したように、空孔の位置精度等を考慮すると、ブリッジを介さずに溝形状とした方が作り易さの面ではメリットがある。ただし、特許文献3で知られるように、固定子ティースの先端に溝を設ける構造はコギングトルクを低減する手法などは既に公知の技術である。上記公知技術では、溝の幅および深さはスロット開口幅と同等にすることが一般的であるが、本実施形態においては、溝の幅および深さはスロット開口幅よりも大きいことが特徴である。固定子ティースの幅の3割以上とすることが望ましい。図11(b)は固定子ティース先端部に三角形形状の三角形形状空孔203eを有する固定子コア形状を示している。第3の実施形態で述べたように図9(a)に示す断面積Sを広くとるための空孔形状となっており、径方向電磁力の低減とトルク脈動の低減を両立できる形状となっている。図11(c)は図11(b)に示す三角形形状空孔203eのブリッジ部を切り取った四角形状溝203fを有する固定子コア形状を示している。図11(a)同様に空孔の位置精度等を考慮し、溝形状とした。この場合も同様に溝の幅はスロット開口幅よりも大きく、ティース幅の3割以上であることが望ましい。

10

20

【0037】

図12(a)に10極12スロットモータにおける図11(a)~図11(c)に示す空孔形状での空間2次の径方向電磁力の計算結果を示す。比較対照として、図9(a)にしめす四角状の空孔を有する固定子形状での計算結果についても記載する。図12(a)より四角の溝形状では、空孔と同等の効果が得られている。三角形形状の空孔および溝については四角形状と比較すると径方向電磁力の低減率は低い、3割以上は低減できている。また、図12(b)よりトルク脈動に関しては、三角形形状の空孔及び溝の方が優れており、トルク脈動に関しても低減効果がある。

30

【0038】

以下、本実施例のモータの固定子および回転子構造について詳細を述べる。

【0039】

図13は固定子の構造を示している。固定子コアはコアで発生する損失をできるだけ抑えるためにさまざまな工夫を施す必要がある。例えば、図13(a)に示すように12個の分割コアで固定子コア構成する場合、一つの分割コアを無垢の鉄で形成した場合は渦電流損失の影響が大きい、圧粉鉄心などの固めることで構成すれば、コアに発生する渦電流を抑制することができる。また、図13(b)のように薄い板状の軟磁性材料を軸方向に積層した積層鋼板とすることで、渦電流を抑制することもできる。この場合、1枚の板が薄いほど渦電流の抑制効果は大きい。また図13(a)および図13(b)の両方に対して、分割コアの径方向に溝を設けることによって、通しボルトなどの固定治具を通すことができる。図13(c)に圧粉鉄心適用の場合、図13(d)に積層鋼板適用の場合を示す。溝を設ける箇所については、磁束の通り道を考慮してティースの径方向外側に対して固定子コア径方向外側溝205を設ける構造が望ましい。また、磁気飽和を緩和するために、スロットの径方向外側角部のR形状などを工夫するとなおよい。さらに、固定子コアのティース内径側については、負荷時の磁気飽和を緩和するため、内径側に向かうにしたがって、ラッパ状に滑らかに広がるような構成としている。

40

【0040】

図14(a)は回転子構造を示している。回転子コア502は磁性体で構成され無垢鉄

50

に、セグメント型の回転子磁石 501 が表面に張り付けられた構造となっている。複数の永久磁石の間には回り止めの機構が設けられており、回転子コアが突起した形状となっている。この突起の大きさが径方向に高すぎると特性悪影響を及ぼすため、突起の高さは磁石端部の高さの半分程度が良い。また、回転子コアの渦電流損などの影響が大きい場合は、回転子コアに圧粉鉄心を適用したり、図 14 (b) に示すように薄板状の電磁鋼板などを積層することで構成すると良い。また、回転子磁石 501 は、それぞれ断面形状がかまぼこ型の形状となっている。かまぼこ形状とは、周方向において、左右の半径方向の厚さが、中央の半径方向の厚さに比べて薄い構造のことである。このようなかまぼこ型の形状とすることにより、磁束分布を正弦波状とでき EPS モータを回転させることによって発生する誘起電圧波形を正弦波状とすることができ、脈動分を低減することができる。脈動分を小さくできることにより、ステアリングの操舵感を向上できる。なお、リング状の磁性体に着磁してマグネットを構成するとき、着磁力を制御することにより、磁束分布を正弦波状類似のものとしてもよいものである。また、図 14 (c) に示すように回転子磁石 501 a と回転子磁石 501 b を軸方向に段積みにし、ある所定の角度だけ少なくとも一つの段を周方向にずらすことによって、回転子起磁力の脈動を軸方向でキャンセルし、コギングトルクやトルク脈動を低減することができる。また、図 14 (d) に占めすように回転子コアに穴を設けることで、回転子の位置決めに利用したり、慣性モーメントを抑えたりすることができる。この場合、穴の位置が磁石に近すぎると、磁束の通り道の邪魔となるので、ある程度距離を空けた方が望ましい。または、回転子磁石 501 の着磁方向は図 14 (e) に示すように、隣り合う磁石の磁化方向が互い違いになるように着磁される。

10

20

【 0 0 4 1 】

図 15 も同様に回転子の構造を示している。図 15 (a) は回転子コア 502 は磁性体で構成され無垢鉄に、リング型の回転子磁石 501 が表面に張り付けられた構造となっている。また、回転子コアの渦電流損などの影響が大きい場合は、回転子コアに圧粉鉄心を適用したり、図 15 (b) に示すように薄板状の電磁鋼板などを積層することで構成すると良い。また、リング磁石を適用した場合は、磁石に連続的なスキューをほどこすことも可能である。図 15 (c) に示すようにある所定の角度で軸方向にスキューを入れることで、コギングトルクやトルク脈動を減らすことができる。また、永久磁石の着磁方向は図 15 (d) に示すように、それぞれの極が矢印の方向と平行に着磁されているか、もしくは回転子磁石の円に沿って放射状に着磁される。

30

【 符号の説明 】

【 0 0 4 2 】

S T ... ステアリングホイール
 T S ... トルクセンサ
 G E ... ギヤ機構
 E C U ... 制御装置
 B A ... バッテリー
 J T ... ジョイント
 R O ... ロッド
 R C G ... ラックギヤ
 R C ... ラックギヤケース
 P N ... ピニオンギヤ
 D B 1 ... 第 1 のダストブーツ
 D B 2 ... 第 2 のダストブーツ
 T R 1 ... 第 1 のタイロッド
 T R 2 ... 第 2 のタイロッド
 W H 1 ... 第 1 のタイヤ
 W H 2 ... 第 2 のタイヤ

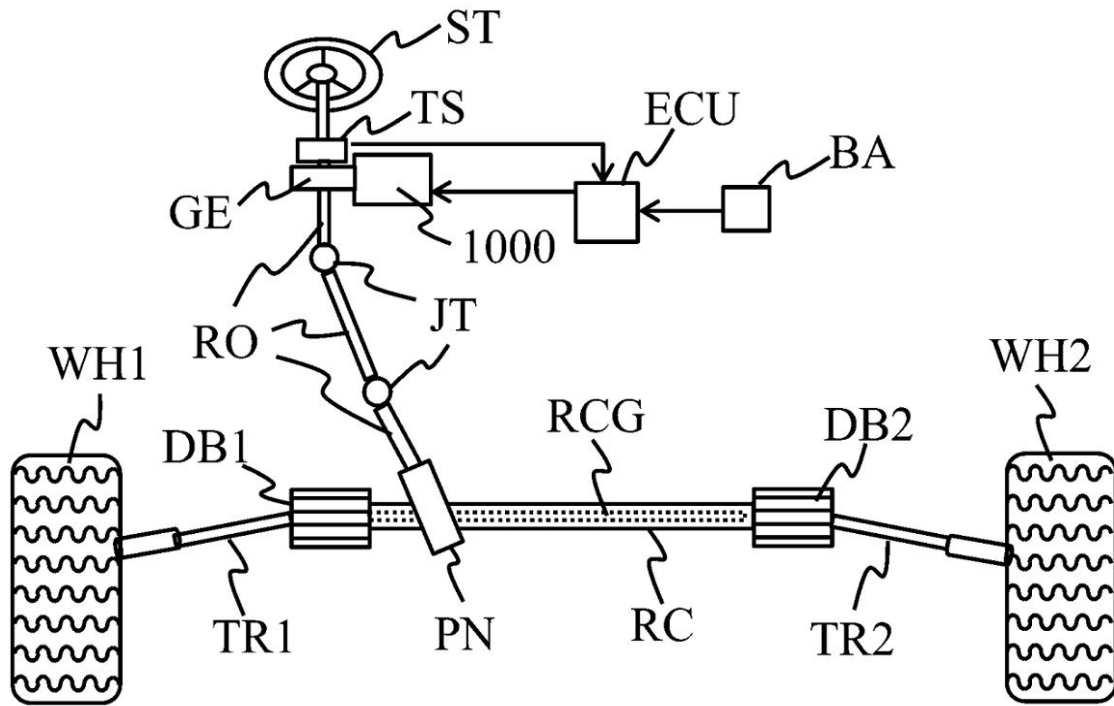
40

50

B S ... ボールスクリュー	
B T ... ベルト	
1 0 0 0 ... モータ	
1 0 0 ... ハウジングケース	
2 0 0 ... 固定子コア	
3 0 0 ... ボビン	
4 0 0 ... 固定子コイル	
5 0 0 ... 回転子	
6 0 0 ... パスパー	
7 0 0 ... ブラケット	10
8 0 0 ... 基盤	
8 0 1 ... リレースイッチ	
8 0 2 ... 入力線	
U 1 + ... U相コイルが巻回される固定子コアのティース	
U 1 - ... U相コイルが巻回される固定子コアのティース	
V 1 - ... V相コイルが巻回される固定子コアのティース	
V 1 + ... V相コイルが巻回される固定子コアのティース	
W 1 + ... W相コイルが巻回される固定子コアのティース	
W 1 - ... W相コイルが巻回される固定子コアのティース	
U 2 - ... U相コイルが巻回される固定子コアのティース	20
U 2 + ... U相コイルが巻回される固定子コアのティース	
V 2 + ... V相コイルが巻回される固定子コアのティース	
V 2 - ... V相コイルが巻回される固定子コアのティース	
W 2 - ... W相コイルが巻回される固定子コアのティース	
W 2 + ... W相コイルが巻回される固定子コアのティース	
2 0 1 ... 固定子コアバック部	
2 0 2 ... 固定子ティース部	
2 0 3 ... 空孔	
2 0 3 a ... 四角形状空孔	
2 0 3 b ... 六角形状空孔	30
2 0 3 c ... 五角形状空孔	
2 0 3 d ... 四角形状溝	
2 0 3 e ... 固定子ティース先端部の三角形状空孔	
2 0 3 f ... 固定子ティース先端部の四角形状溝	
2 0 4 ... ブリッジ	
2 0 5 ... 固定子コア径方向外側溝	
3 0 1 ... ボビン上部	
3 0 2 ... ボビン下部	
5 0 1 ... 回転子磁石	
5 0 1 a ... 回転子磁石	40
5 0 1 b ... 回転子磁石	
5 0 2 ... 回転子コア	
5 0 3 ... 磁石カバー	
5 0 4 ... シャフト	
5 0 5 ... ベアリング機構	
5 0 6 ... ベアリング機構	
5 0 7 ... 負荷側嵌めこみ構造部材	

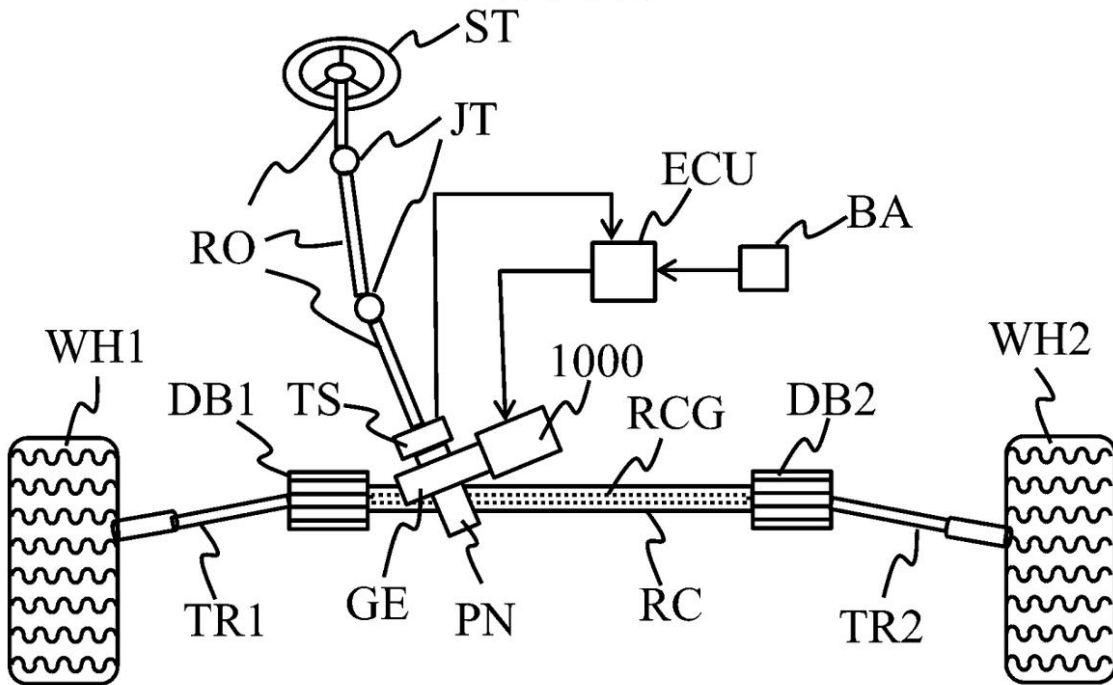
【図1】

【図1】

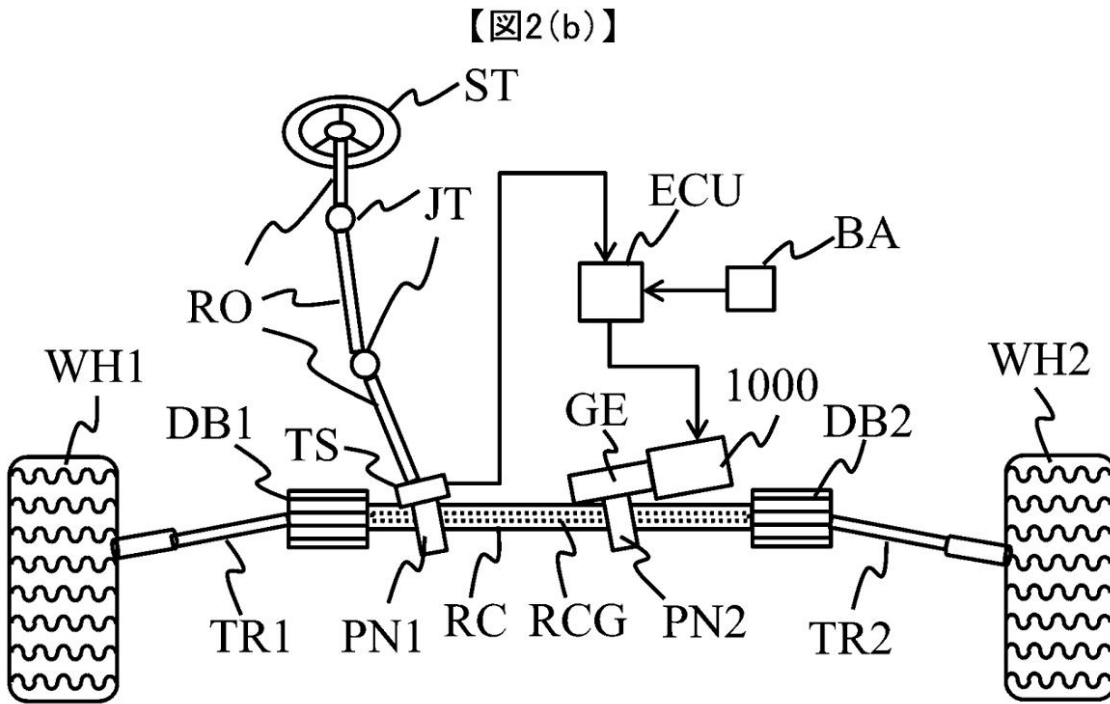


【図2(a)】

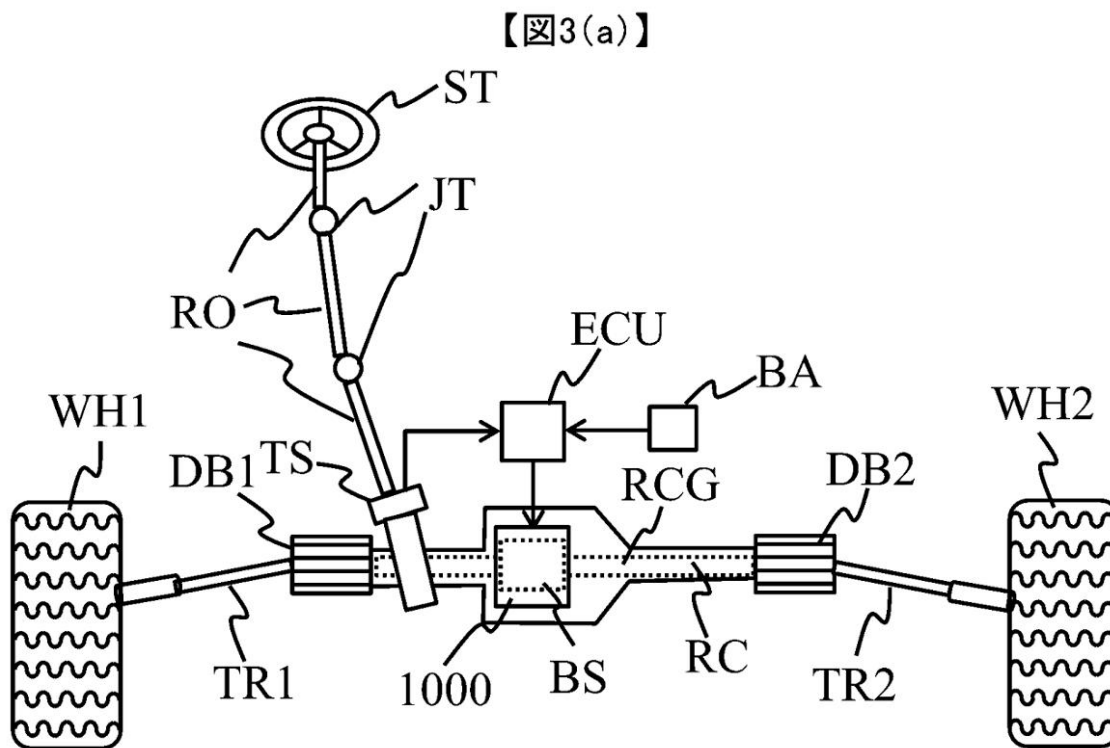
【図2(a)】



【図2(b)】

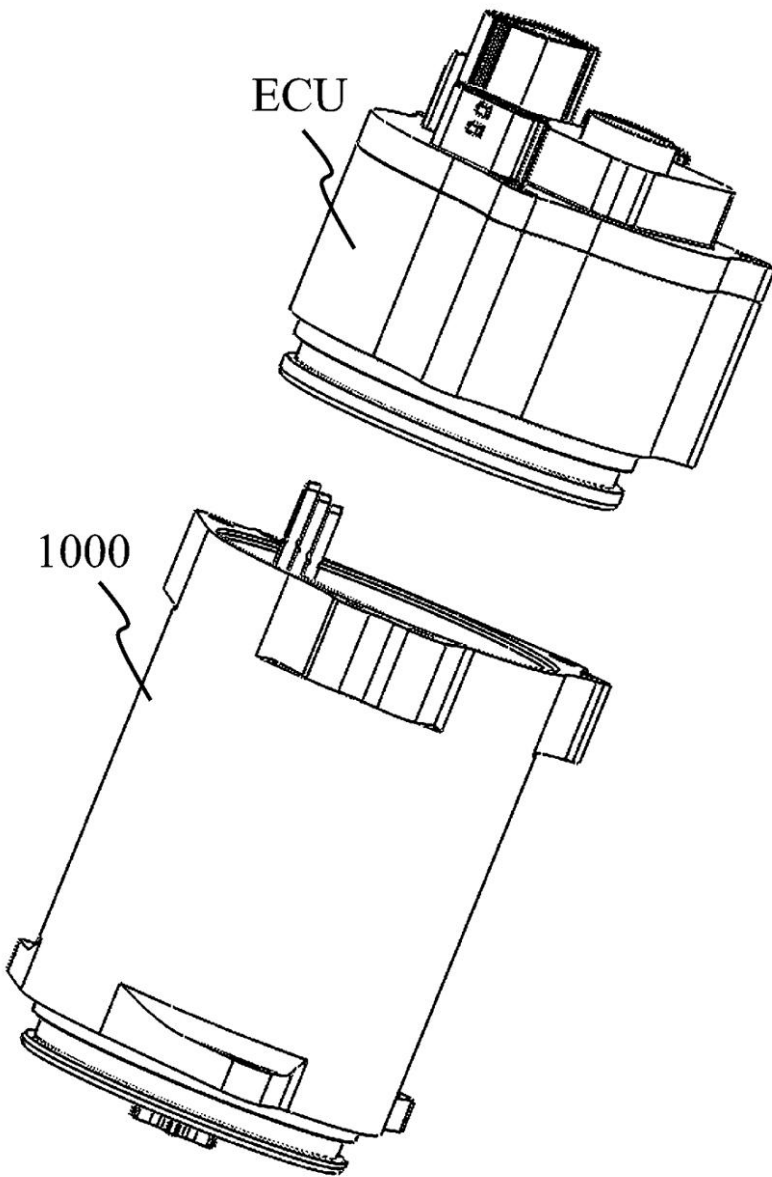


【図3(a)】



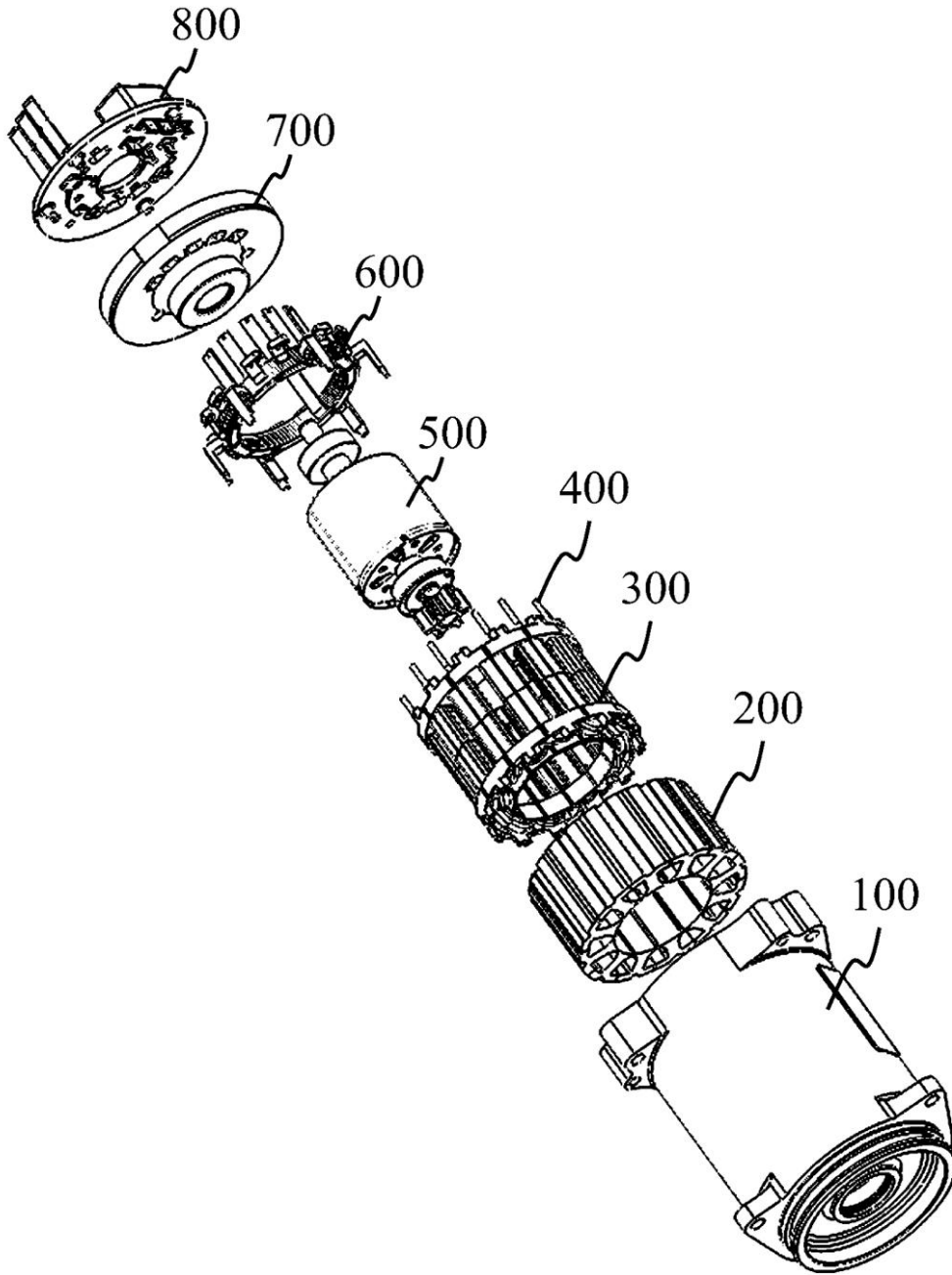
【 図 4 】

【 図 4 】



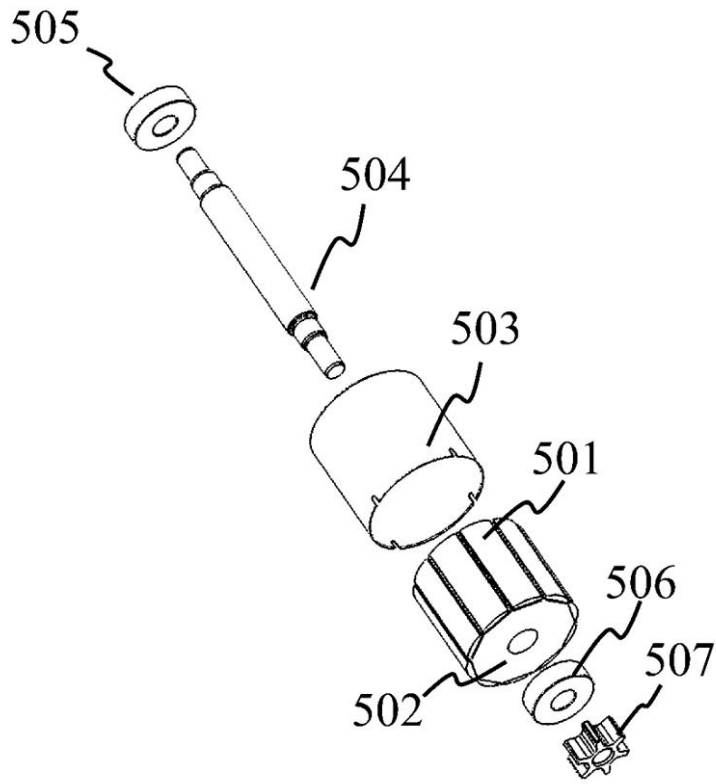
【図5(a)】

【図5(a)】



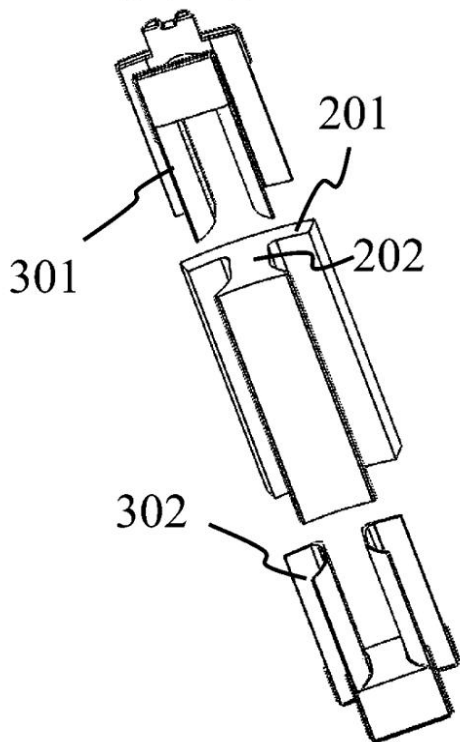
【図5(b)】

【図5(b)】



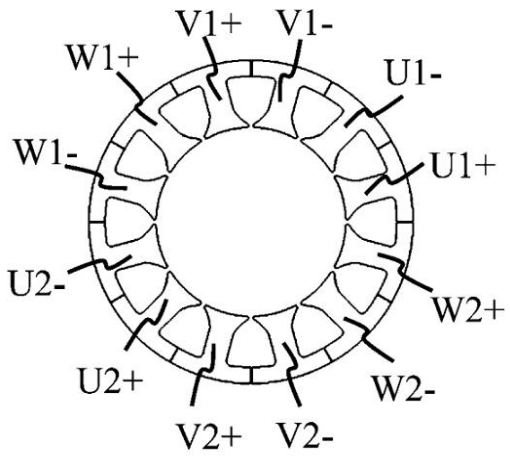
【図5-c】

【図5-c】



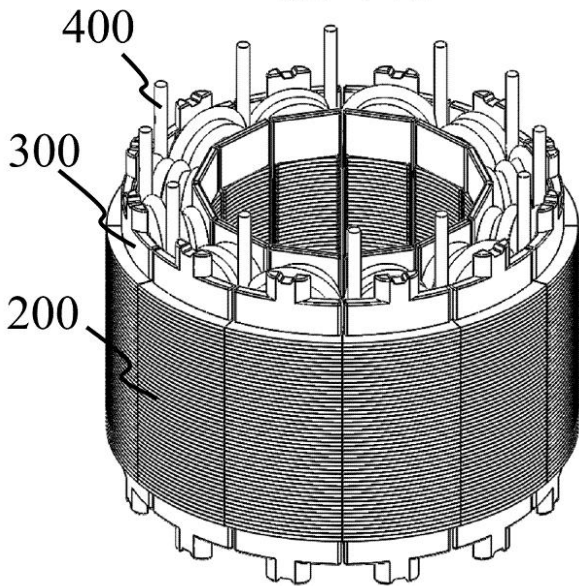
【図6(a)】

【図6(a)】



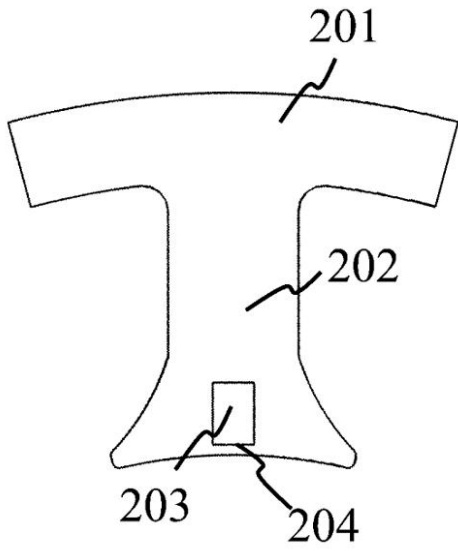
【図6(b)】

【図6(b)】



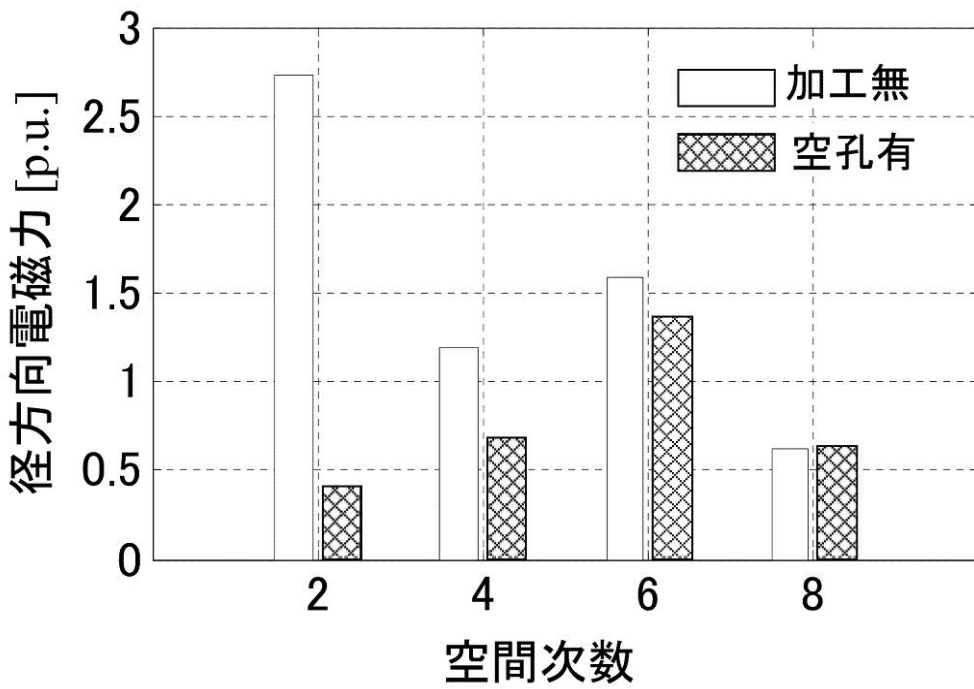
【図6(c)】

【図6(c)】

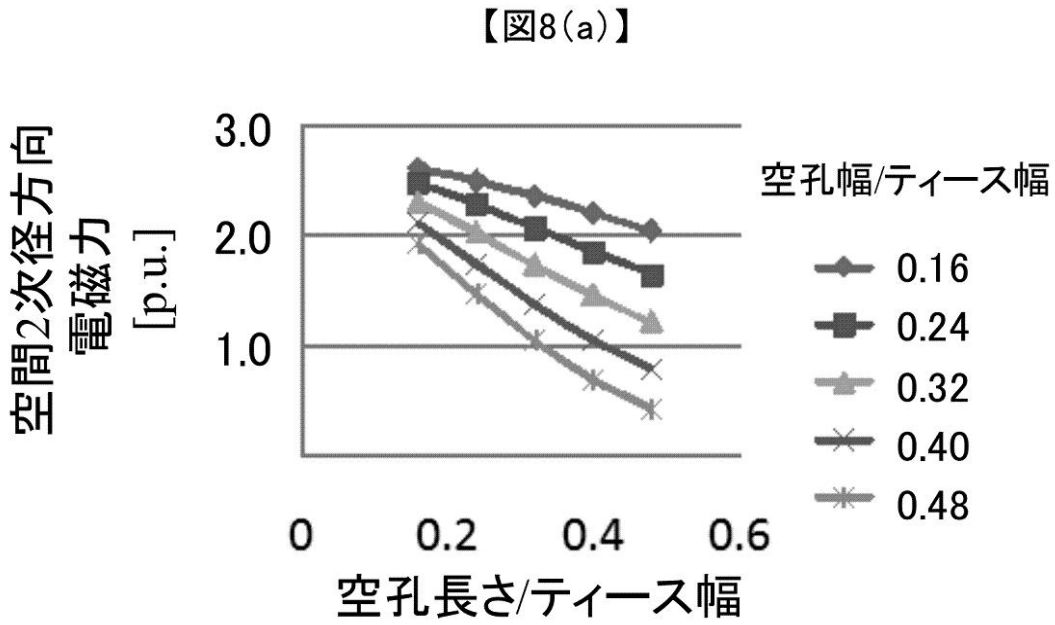


【図7】

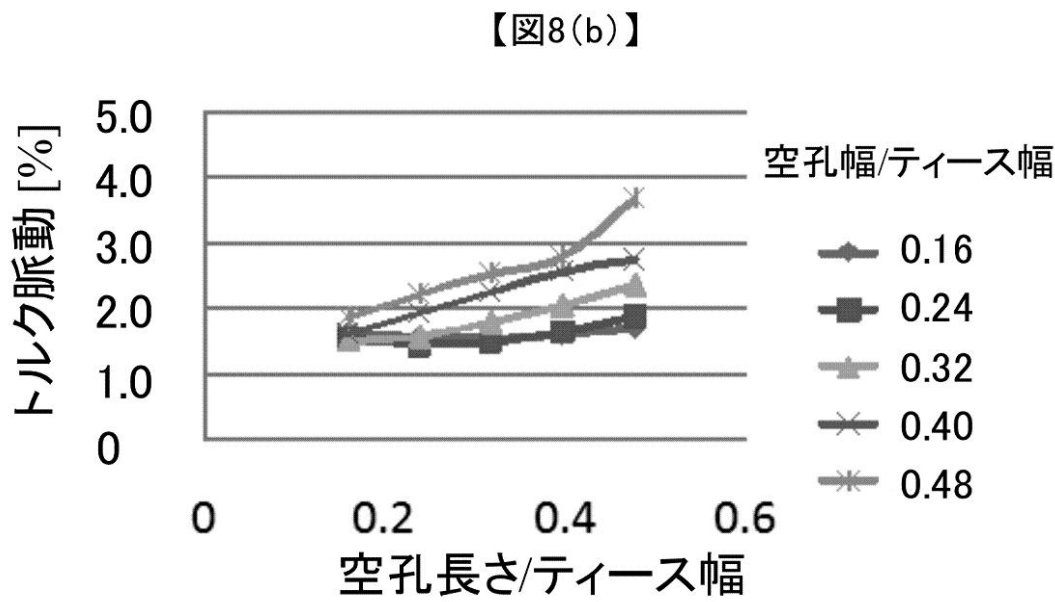
【図7】



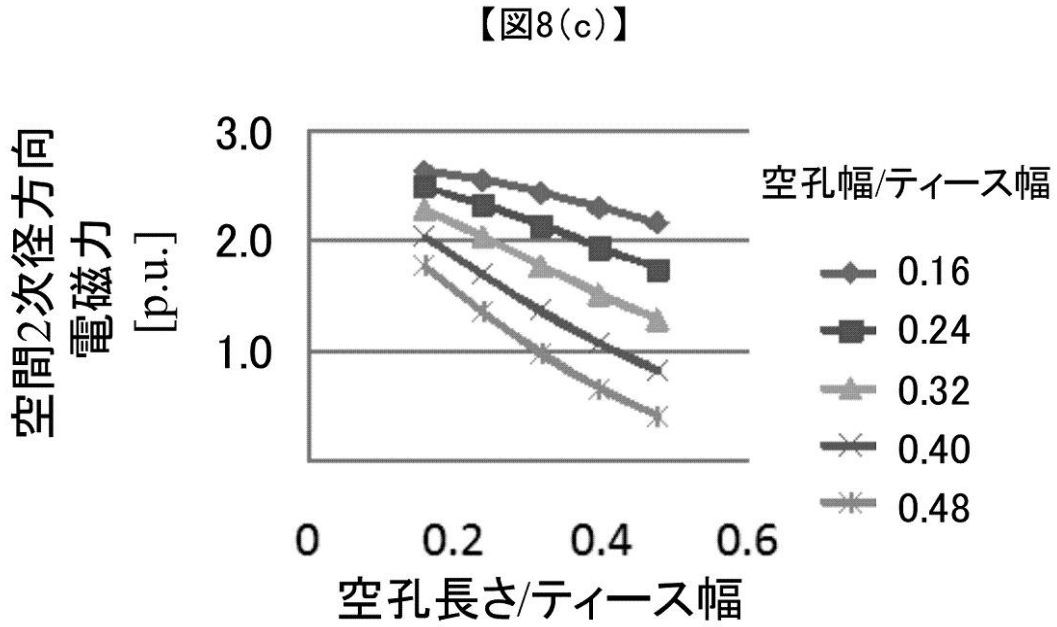
【図8(a)】



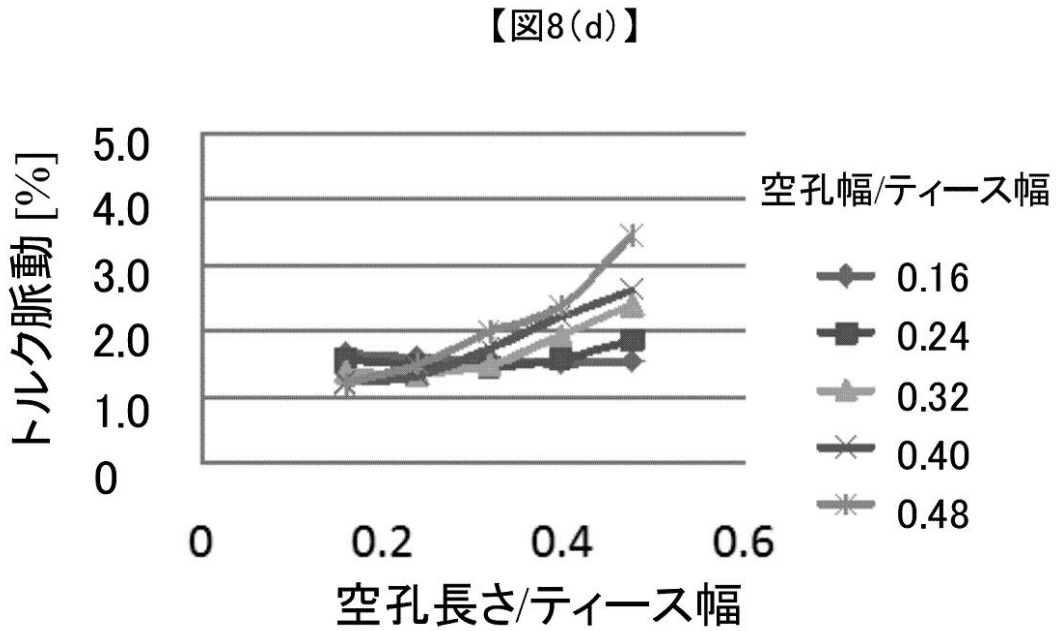
【図8(b)】



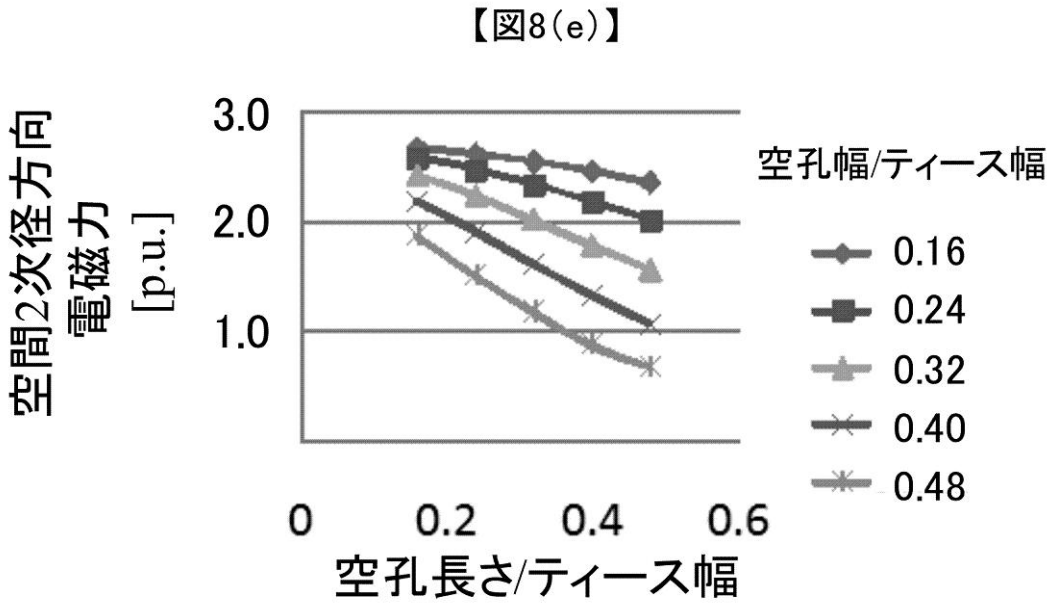
【図8(c)】



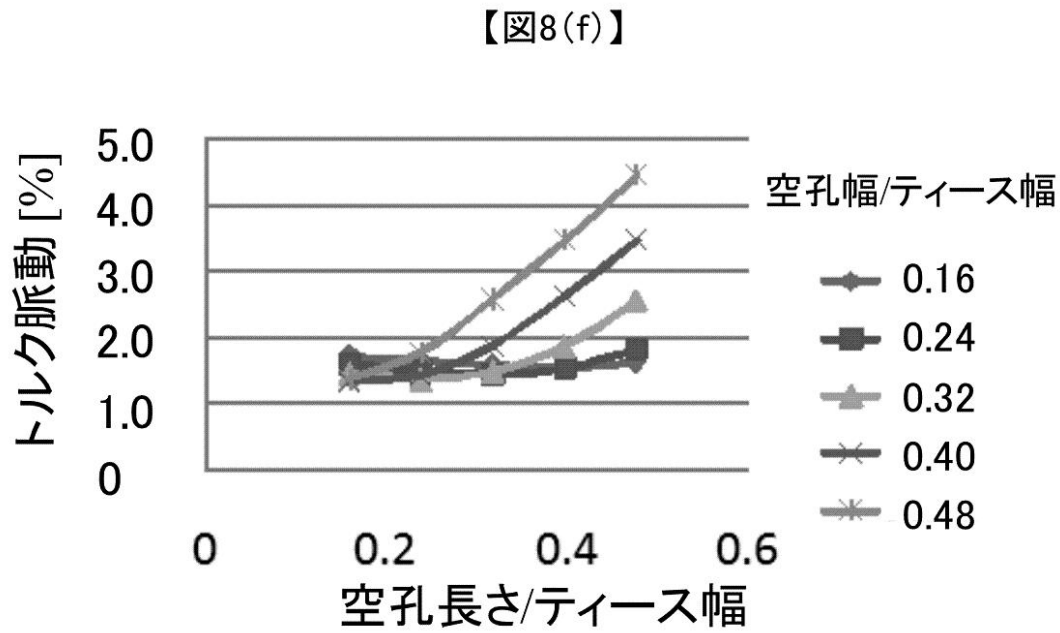
【図8(d)】



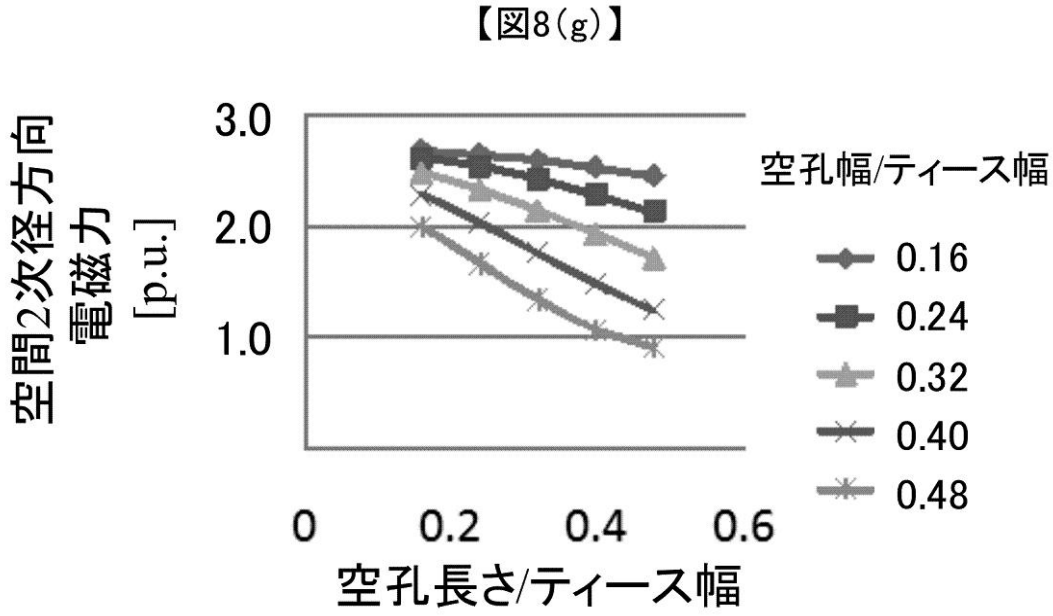
【図8(e)】



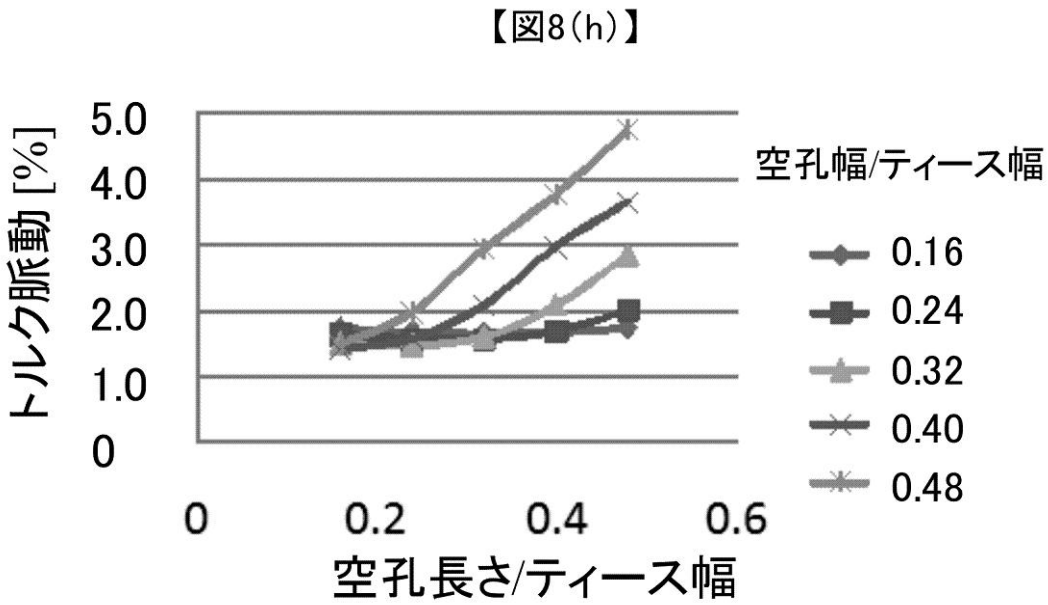
【図8(f)】



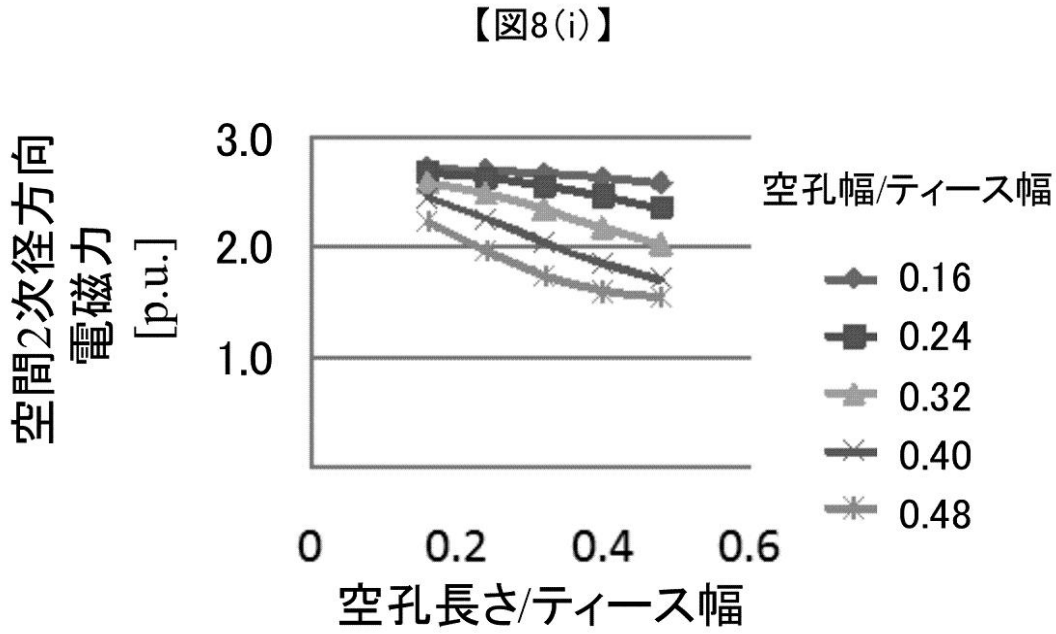
【図8(g)】



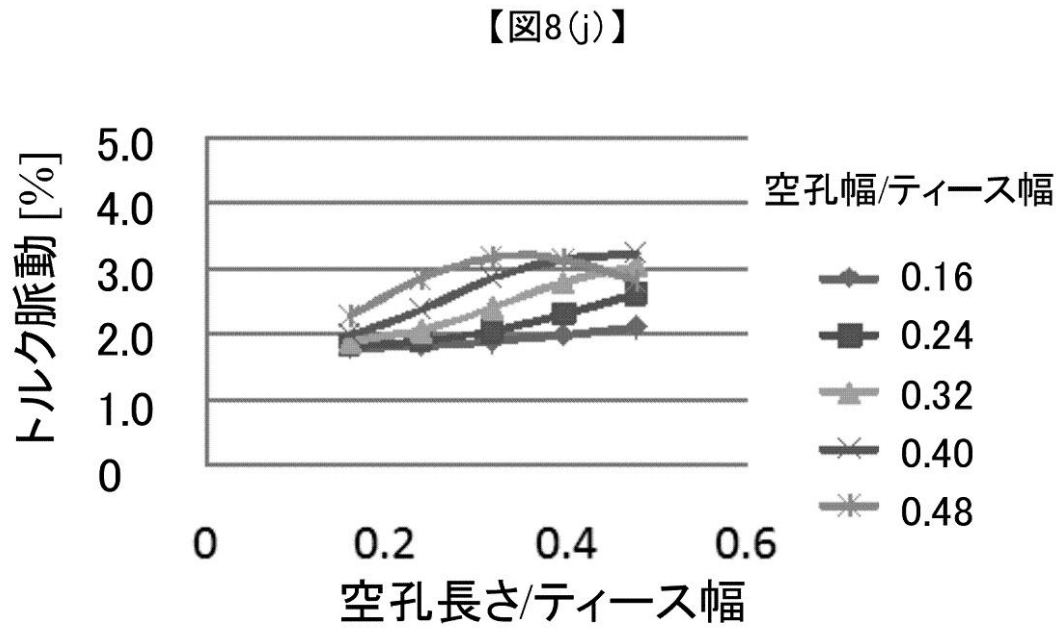
【図8(h)】



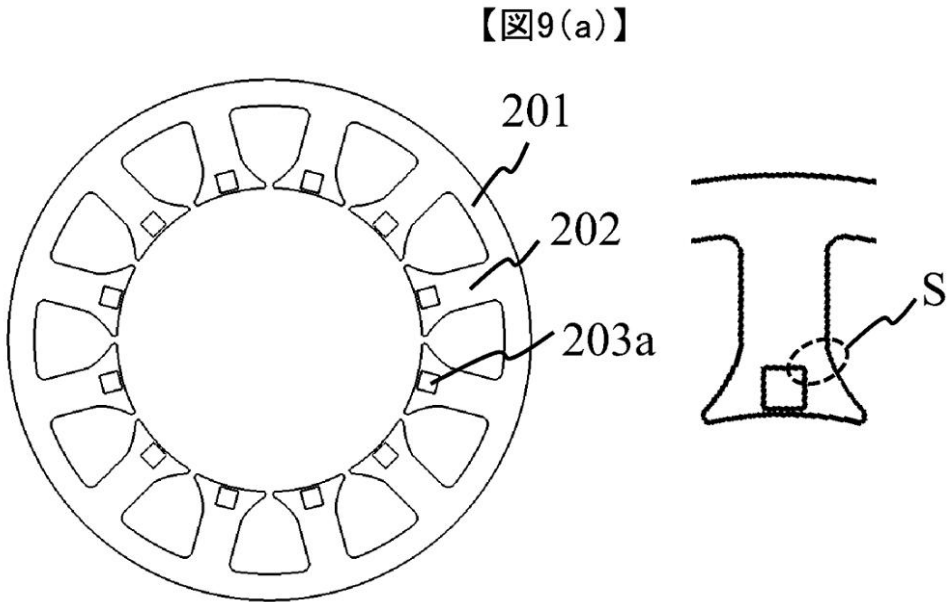
【図8(i)】



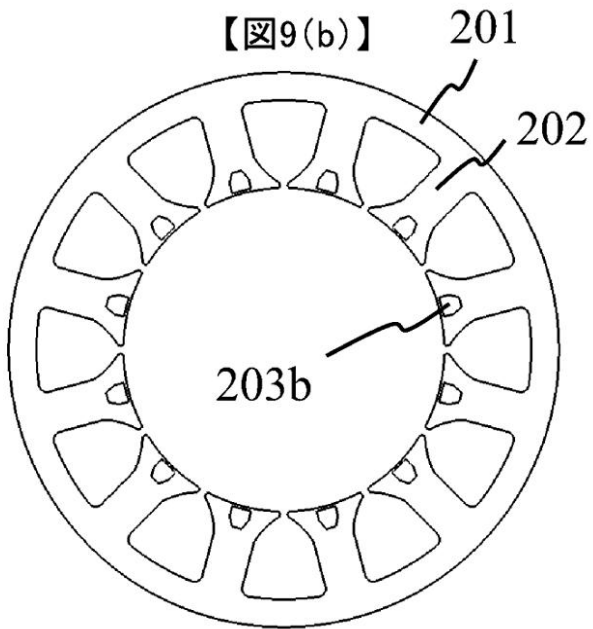
【図8(j)】



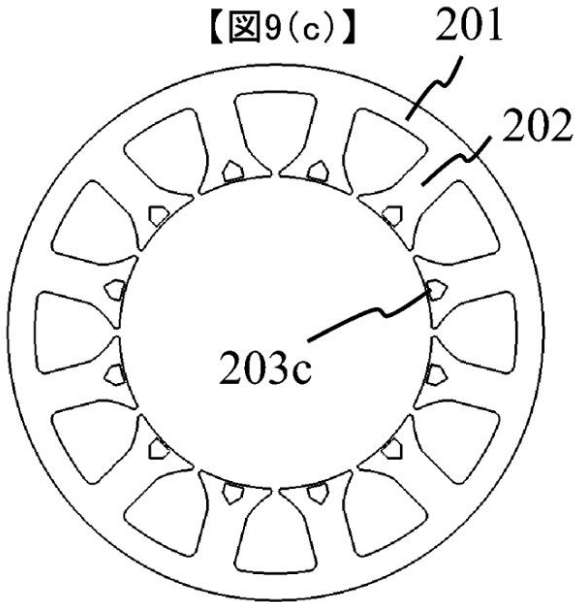
【図9(a)】



【図9(b)】

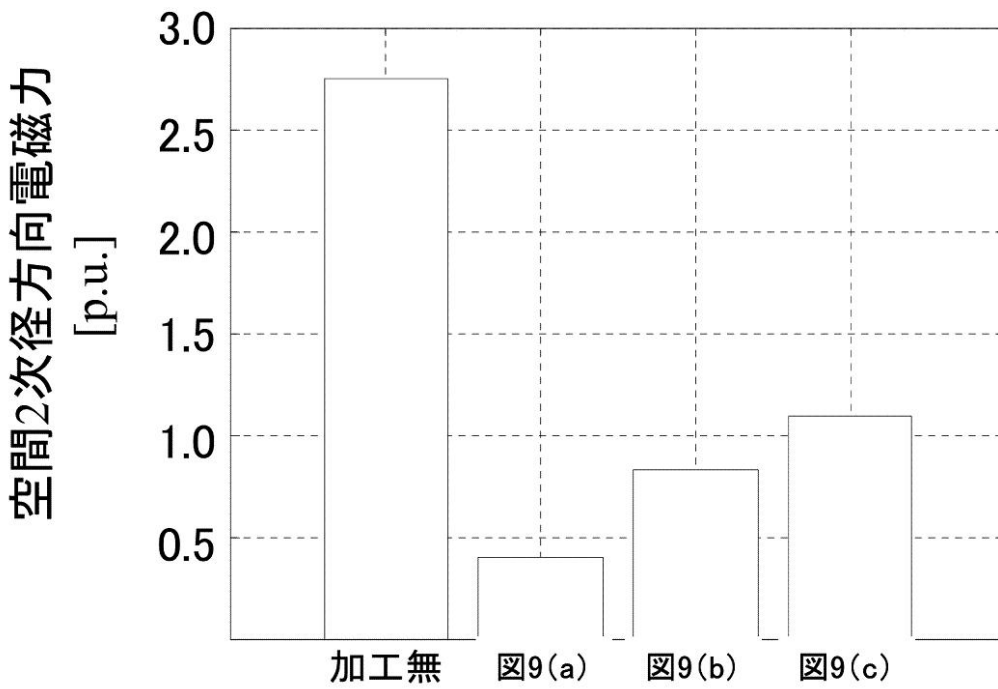


【図9(c)】

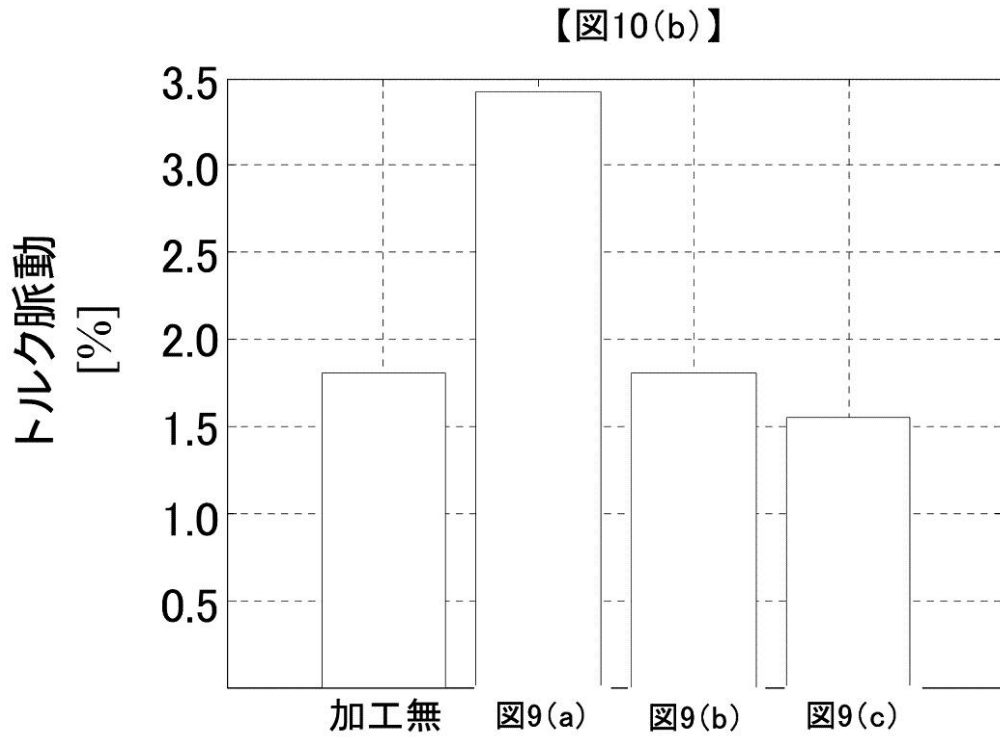


【図10(a)】

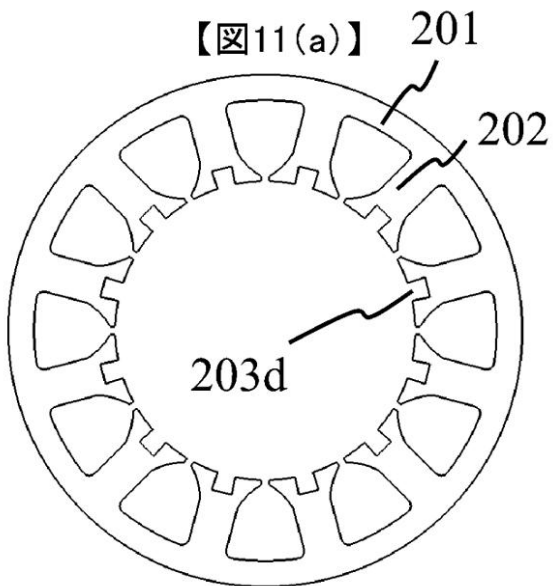
【図10(a)】



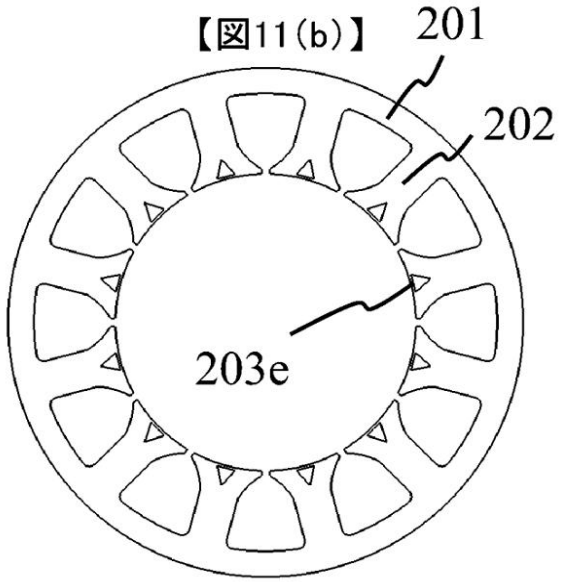
【図10(b)】



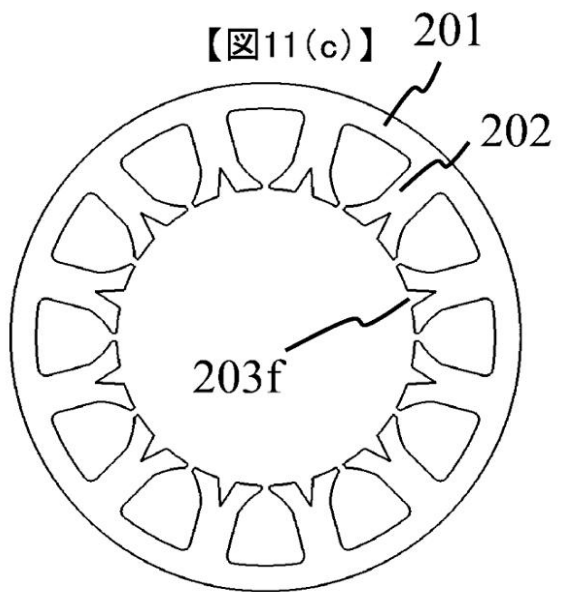
【図11(a)】



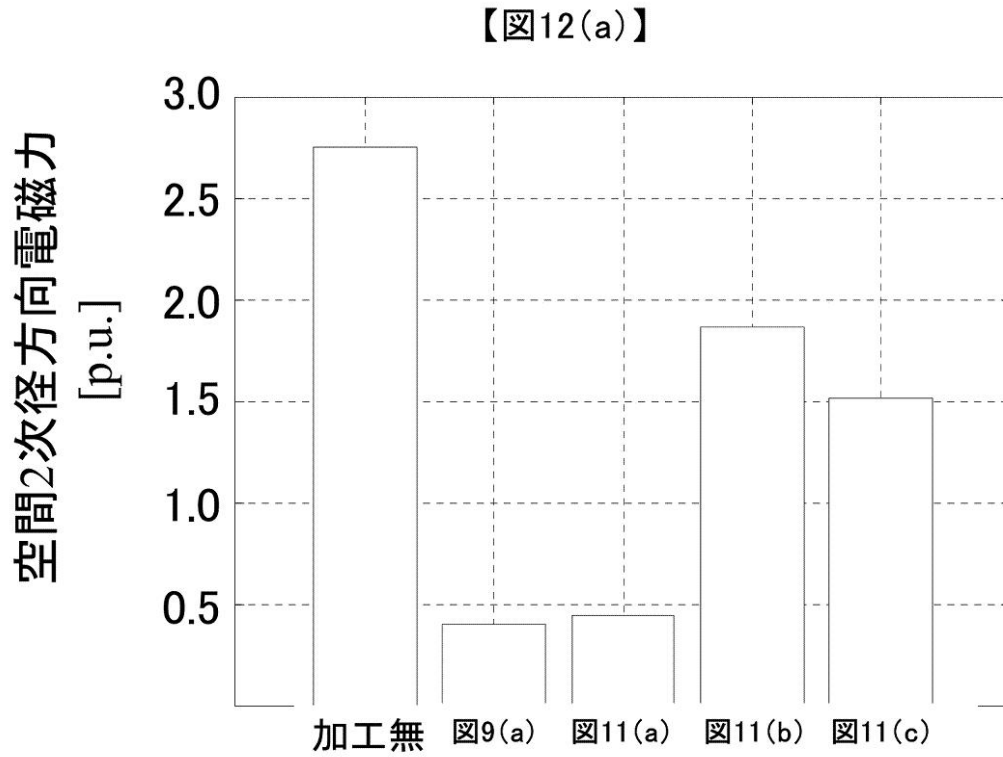
【図11(b)】



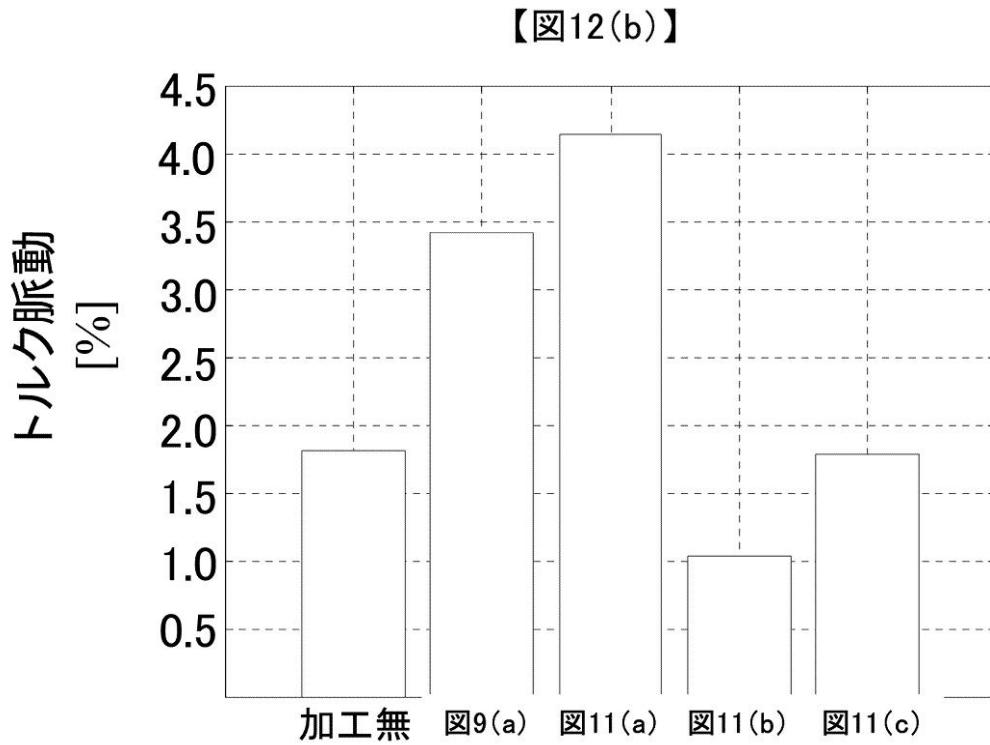
【図11(c)】



【図12(a)】

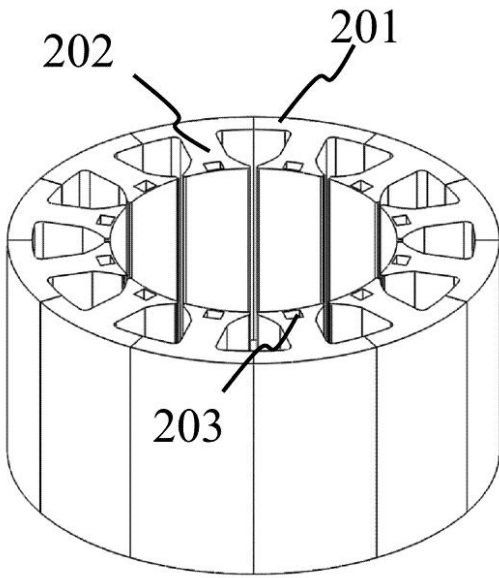


【図12(b)】



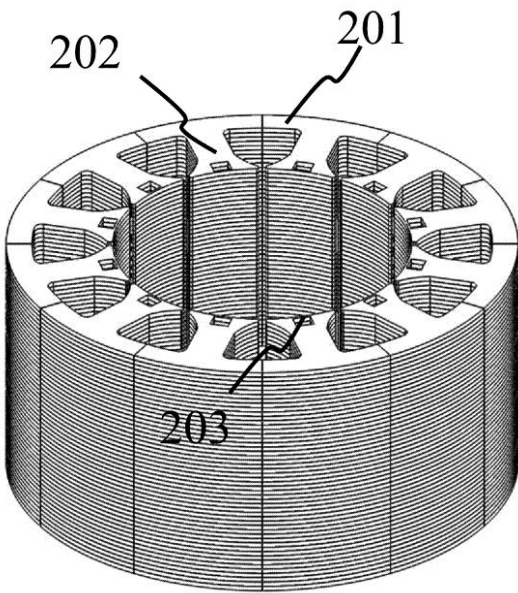
【図13(a)】

【図13(a)】

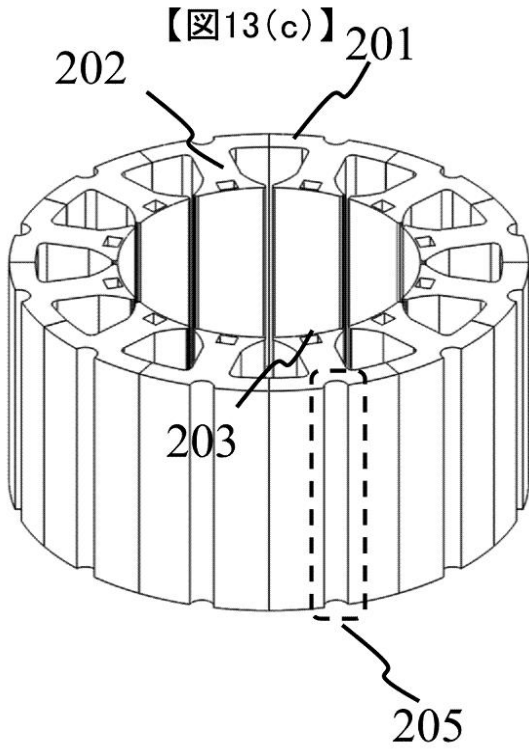


【図13(b)】

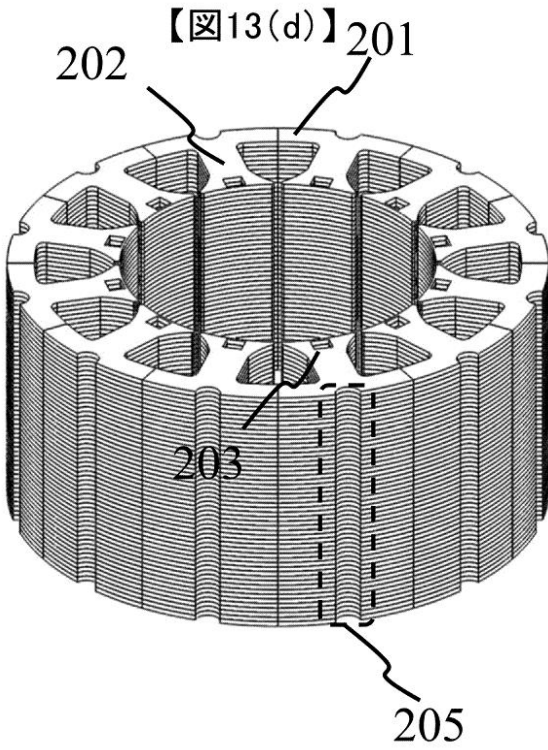
【図13(b)】



【図13(c)】

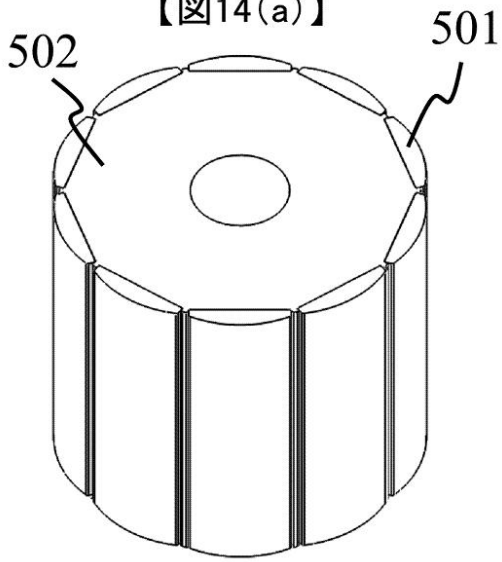


【図13(d)】



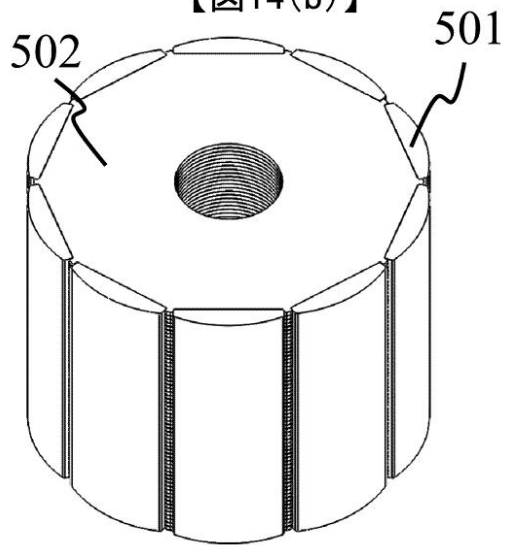
【図14(a)】

【図14(a)】

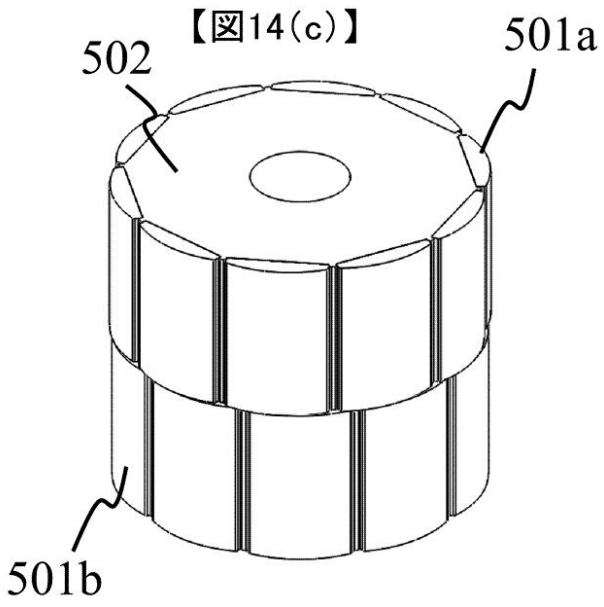


【図14(b)】

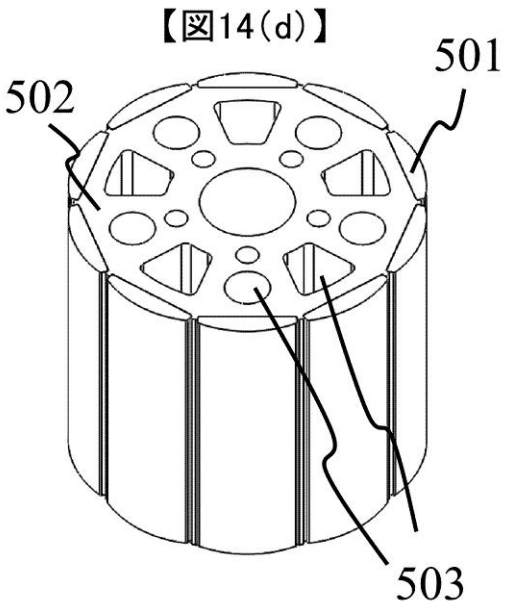
【図14(b)】



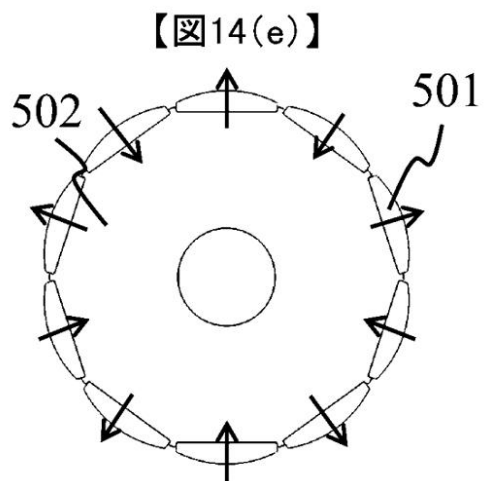
【図14(c)】



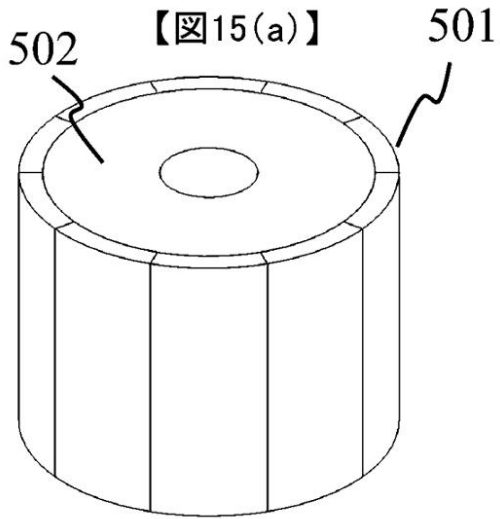
【図14(d)】



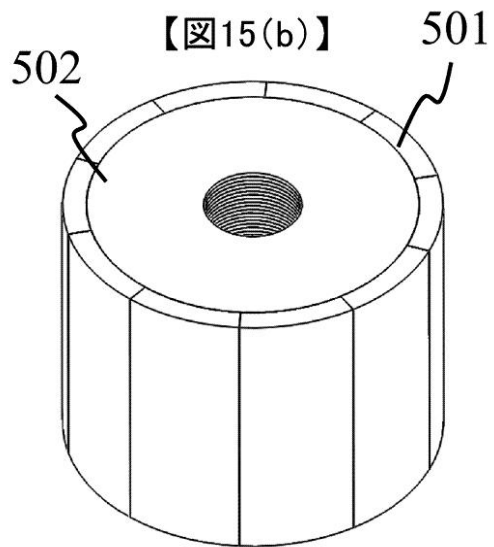
【図14(e)】



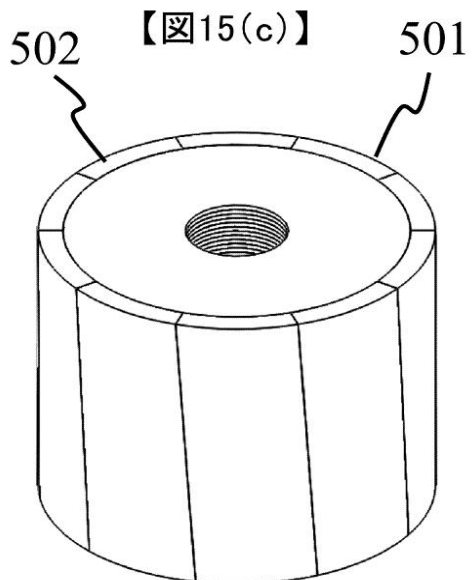
【図15(a)】



【図15(b)】

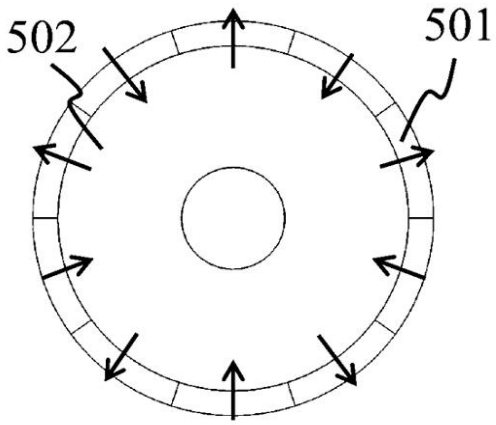


【図15(c)】



【図15(d)】

【図15(d)】



フロントページの続き

- (72)発明者 北村 正司
茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所日立研究所内
- (72)発明者 金澤 宏至
茨城県ひたちなか市高場2-5-20番地 日立オートモティブシステムズ株式会社内
- (72)発明者 川崎 省三
茨城県ひたちなか市高場2-5-20番地 日立オートモティブシステムズ株式会社内
- Fターム(参考) 5H601 AA02 AA22 BB17 CC01 CC15 CC20 DD01 DD11 EE05 EE11
EE12 EE30 EE39 FF17 GA02 GA25 GA32 GB05 GB12 GB22
GB23 GB33 GC12 KK12
5H621 AA02 AA04 BB10 GA01 GA04 GA14 GA16 HH01 JK03