

## (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

2015年3月5日(05.03.2015)

(10) 国際公開番号

WO 2015/029256 A1

(51) 国際特許分類:

H02K 1/16 (2006.01) H02K 21/14 (2006.01)

(21) 国際出願番号:

PCT/JP2013/073563

(22) 国際出願日:

2013年9月2日(02.09.2013)

(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: 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: 酒井 宏明(SAKAI, Hiroaki); 〒1006020 東京都千代田区霞が関三丁目2番5号 霞が関ビルディング 酒井国際特許事務所 Tokyo (JP).

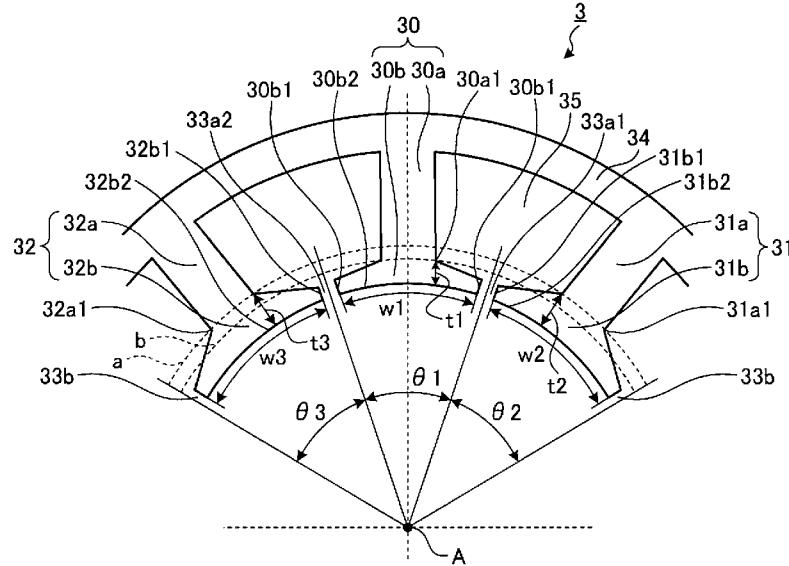
(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: SYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR

(54) 発明の名称: 同期電動機



(57) Abstract: A synchronous electric motor is equipped with a stator having nine teeth which are divided into three phases each having adjacent three teeth and around which coils (2) are concentrically wound. Among the three teeth constituting each phase, the circumferential direction width (w1) of the end (30b) of a central tooth (30) is formed narrower than the circumferential direction widths (w2, w3) of the ends (31b, 32b) of the teeth (31, 32) on both sides of the central tooth (30), and the tooth thickness (t1) of the end (30b) of the central tooth (30) is formed thinner than the tooth thicknesses (t2, t3) of the ends (31b, 32b) of the teeth (31, 32) on both sides.

(57) 要約: 隣り合う3個ずつの3相に区分され巻線2が集中的に巻回される9つのティースを有する固定子を備え、各相を構成する3個のティースの内、中央ティース30の先端部30bの周方向幅w1が、この両側ティース31, 32の先端部31b, 32bの周方向幅w2, w3よりも狭く形成され、中央ティース30の先端部30bのティース厚t1が、両側ティース31, 32の先端部31b, 32bのティース厚t2, t3より薄く形成されている。

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

## 明 細 書

### 発明の名称：同期電動機

### 技術分野

[0001] 本発明は、同期電動機に関するものである。

### 背景技術

[0002] 永久磁石を用いた同期電動機において、特に固定子の巻線をティースに集中的に巻回する3相の同期電動機では、回転子に用いる永久磁石の磁極数と固定子のスロット数（＝ティース数）との比率が2：3で構成されることが多い。

[0003] 磁極数と固定子のスロット数との比率が2：3で構成される同期電動機では、隣り合うティースの間に開口部を設けることが多い。これは、回転子に配置される永久磁石から発生する磁束が固定子の巻線に鎖交し易くすると共に、固定子の巻線に電流が流れることで生じる磁束が回転子へ向かわずに固定間で短絡することを防止するためである。

[0004] ただし、この開口部付近では、固定子と回転子との間のギャップの磁束密度分布が乱れるためコギングトルクが発生し、コギングトルクが振動や騒音の要因となる。

[0005] このようなコギングトルクを低減するため、例えば下記特許文献1に代表される従来の同期電動機では、8極または10極の磁極を有する回転子と、9つのスロットを有する固定子とが用いられ、各相の隣り合う3つのティースに1相分の巻線が集中的に巻かれている。

[0006] この種の同期電動機では固定子に9つの巻線が配置されているため、各ティースが機械角で40°毎に配置され、各ティースの巻線が機械角で40°毎に連続して配置されている。そして8極の回転子では1つの磁極の幅が機械角で45°、10極の回転子では1つの磁極の幅が機械角で36°となる。

[0007] 一方、回転子が1回転する間に発生する脈動は、固定子のスロット数と回

転子の極数との最小公倍数で決まるため、磁極数と固定子のスロット数との比率が2：3で構成される同期電動機が例えば8極12スロットの場合、脈動が24回である。これに対して8極9スロットの同期電動機では脈動が7回、10極9スロットの同期電動機では脈動が90回である。

[0008] 脈動数が多いほどコギングトルクのエネルギーが分散されるため、コギングトルクの振幅は小さくなる。すなわち、8極9スロットまたは10極9スロットの同期電動機は、磁極数と固定子のスロット数との比率が2：3で構成される同期電動機よりもコギングトルクを抑えることができる。

## 先行技術文献

### 特許文献

[0009] 特許文献1：特開昭62-110468号公報

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0010] しかしながら、上記特許文献1に代表される従来の同期電動機では、1相を構成する巻線が連続して集中的に配置されるため、固定子の巻線に電流を通電して発生させる回転磁界が回転子の回転軸に対して不均等に発生することになる。そのため、回転子の永久磁石との間で吸引、反発する力が回転軸に対してアンバランスな状態となり、ラジアル方向に大きな加振力が発生し、この加振力が振動、騒音を発生させる要因となる。

[0011] 本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、更なる低振動化および低騒音化を図ることができる同期電動機を得ることを目的とする。

### 課題を解決するための手段

[0012] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明は、隣り合う3個ずつの3相に区分される9つのティースを有する10極9スロットの同期電動機であって、各相を構成する3個のティースの内、中央に配置された第1ティースの内径側先端部の周方向幅が、この第1ティースの両側に配置された2つの第2ティースの内径側先端部の周方向幅よりも狭く形成され、前記

第1ティースの内径側先端部の径方向厚さが、前記各第2ティースの内径側先端部の径方向厚さより薄く形成された固定子を備えたこと、を特徴とする。

## 発明の効果

[0013] この発明によれば、更なる低振動化および低騒音化を図ることができる、という効果を奏する。

## 図面の簡単な説明

[0014] [図1]図1は、本発明の実施の形態に係る同期電動機の横断面図である。

[図2]図2は、図1に示される同期電動機の要部拡大図である。

[図3]図3は、10極9スロットの同期電動機における中央ティース先端部の幅と誘起電圧比率との関係を示す図である。

[図4]図4は、加振力を説明するための同期電動機の横断面図である。

[図5]図5は、8極9スロットの同期電動機の巻線に正弦波電流を流したときに発生する加振力を示す図である。

[図6]図6は、図4に示される同期電動機の回転子で発生する加振力の軌跡を示す図である。

[図7]図7は、図4に示される同期電動機の発生トルクと加振力との関係を示す図である。

[図8]図8は、図7に示される曲線Bを拡大した図である。

[図9]図9は、10極9スロットの同期電動機におけるティース先端部の径方向厚さとこの同期電動機における加振力比率との関係を示す図である。

[図10]図10は、8極9スロットの同期電動機におけるティース径方向厚さと加振力との関係を示す図である。

[図11]図11は、10極9スロットの同期電動機におけるティース先端部の厚みと加振力比率との関係を示す第1の図である。

[図12]図12は、10極9スロットの同期電動機におけるティース先端部の厚みと加振力比率との関係を示す第2の図である。

[図13]図13は、10極9スロットの同期電動機におけるティース先端部の

厚みと加振力比率との関係を示す第3の図である。

## 発明を実施するための形態

[0015] 以下に、本発明に係る同期電動機の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。

[0016] 実施の形態.

図1は、本発明の実施の形態に係る同期電動機10の横断面図である。図2は、図1に示される同期電動機10の要部拡大図である。

[0017] 図1に示される同期電動機10は主たる構成として固定子1と回転子4とを有して構成され、回転子4は固定子1の内径側の空隙8を介して配置され、回転子4の中心には回転軸7が設けられている。回転子4を構成するバッカヨーク5の外径面には、互いに異なる極性の永久磁石6が周方向に交互に配置されている。図示例の回転子4では永久磁石6の極数が10極であり、10極の回転子4では1つの磁極の幅が機械角で36°である。

[0018] 永久磁石6には、例えば比較的安価で磁力が低い材料（フェライト磁石など）が用いられ、出力の比較的小さい送風機用などに同期電動機10が用いられる場合、瓦状の焼結磁石が永久磁石6として用いられる。なお、永久磁石6には、樹脂と磁粉を混合した材料をリング状に成形したボンドマグネットを用いてもよい。フェライト磁石は希土類磁石に比べて安価であるため、フェライト磁石を永久磁石6として用いた場合、コスト低減を図りながら後述する加振力を低減することができる。

[0019] 固定子1は、環状に形成された固定子鉄心3と外部からの電力が供給される巻線2とを有して構成される。

[0020] 固定子鉄心3はヨーク34と複数のティース（30, 31, 32）とを有して構成され、固定子鉄心3の内周側には周方向に等角度間隔で9つのティース（30, 31, 32）が設けられている。図示例の固定子1では各ティース（30, 31, 32）が固定子鉄心3の軸心Aを中心として機械角で40°毎に配置されている。

[0021] ヨーク34と隣接する各ティース（30, 31, 32）と各ティースの先

端部（30b, 31b, 32b）とで囲まれる部分には、スロット35が形成されている。図示例の固定子鉄心3では、9つのスロット35が設けられている。

- [0022] 隣接する各ティースの先端部30b, 31b, 32bの周方向端部30b<sub>1</sub>, 31b<sub>1</sub>, 32b<sub>1</sub>が相互に対向する部分には、スロット35に巻線2を挿入するためのスロット開口部33a<sub>1</sub>, 33a<sub>2</sub>, 33bが形成されている。図示例の固定子鉄心3では、各スロット開口部33a<sub>1</sub>, 33a<sub>2</sub>, 33bが同一幅となるように構成されているが、各スロット開口部33a<sub>1</sub>, 33a<sub>2</sub>, 33bの幅は、誤差範囲を含む略同一幅であればよい。
- [0023] U相, V相, W相の各相を構成する3つのティース群の内、中央に設けられた中央ティース30に巻かれている巻線2の向きは、中央ティース30の両側に設けられた両側ティース31, 32に巻かれている巻線2の向きとは逆向きである。U相を構成する3つのティース（30, 31, 32）にはU相を構成する巻線2が集中的に配置されている。同様に、V相を構成する3つのティース（30, 31, 32）にはV相を構成する巻線2が集中的に配置され、W相を構成する3つのティース（30, 31, 32）にはW相を構成する巻線2が集中的に配置される。
- [0024] 本実施の形態に係る同期電動機10では、各相のティース群を構成する中央ティース30の先端部30bの周方向幅w<sub>1</sub>が、同相を構成する両側ティース31, 32の先端部31b, 32bの周方向幅w<sub>2</sub>, w<sub>3</sub>よりも狭くなるように構成されている。
- [0025] θ<sub>1</sub>は、例えば、中央ティース30の右側の周方向端部30b<sub>1</sub>と両側ティース31の左側の周方向端部31b<sub>1</sub>との間のスロット開口部33a<sub>1</sub>の中心付近から、中央ティース30の左側の周方向端部30b<sub>1</sub>と両側ティース32の右側の周方向端部32b<sub>1</sub>との間のスロット開口部33a<sub>2</sub>の中心付近までの幅で定義される。本実施の形態ではθ<sub>1</sub>が機械角で32°から40°の範囲に設定されている。
- [0026] θ<sub>2</sub>は、例えば、両側ティース31よりも右側に位置する両側ティース3

2（図1参照）の周方向端部32b1と図2の両側ティース31の周方向端部31b1と間のスロット開口部33bから、スロット開口部33a1の中心付近までの幅で定義される。

- [0027] θ3は、両側ティース32よりも左側に位置する両側ティース31（図1参照）の周方向端部31b1と図2の両側ティース32の周方向端部32b1と間のスロット開口部33bから、スロット開口部33a2の中心付近までの幅で定義される。
- [0028] また、本実施の形態では、各相のティース群を構成する中央ティース30の先端部30bの径方向厚さ（ティース厚t1）が、同相を構成する両側ティース31, 32の先端部31b, 32bの径方向厚さ（ティース厚t2, t3）より薄く形成されている。
- [0029] ティース厚t1は、例えば、中央ティース30の基部30aと先端部30bとの付根部30a1から、内径側面30b2までの厚みで定義される。ティース厚t2は、例えば、両側ティース31の基部31aと先端部31bとの付根部31a1から、内径側面31b2までの厚みで定義される。ティース厚t3は、例えば、両側ティース32の基部32aと先端部32bとの付根部32a1から、内径側面32b2までの厚みで定義される。
- [0030] 図中の点線aは、複数の両側ティース31, 32（図1参照）の付根部31a1, 32a1を通る軌跡を表し、点線bは、複数の中央ティース30（図1参照）の付根部30a1を通る軌跡を表している。ティース厚t1はティース厚t2, t3よりも薄く形成されているため、軌跡aは軌跡bよりも径外側に位置している。
- [0031] なお、本実施の形態では、一例として、各付根部30a1, 31a1, 32a1を基準としてティース厚t1, t2, t3が定義されているが、先端部30bの厚みが先端部31b, 32bの厚みよりも相対的に薄く構成されればよい。
- [0032] ここで、各相のティース群を構成する中央ティース30の周方向中心位置を、永久磁石6の磁極中心と仮定したとき、同相のティース群を構成する両

側ティース31, 32の周方向中心位置は、磁極中心から所定の機械角ずれた位置となる。10極9スロットの同期電動機では磁極の幅が機械角で36°であり、各ティース30, 31, 32の幅が機械角で40°であるため、両側ティース31, 32の周方向中心は磁極中心から機械角で4°ずれた位置となる。8極9スロットの同期電動機でも同様に、両側ティースの周方向中心が磁極中心からずれた位置となる。

[0033] そのため、10極9スロットの同期電動機では、各相のティース群を構成する両側ティース31, 32の巻線2に発生する誘起電圧の位相は、同相を構成する中央ティース30の巻線2に発生する誘起電圧の位相からずれる。従って、この位相差の影響により、各相のティース群を構成する3つの巻線2に発生する誘起電圧の総和は、中央ティース30に発生する誘起電圧を3倍した値よりも小さくなる。

[0034] すなわち、10極9スロットの同期電動機では、中央ティース30の巻線2に発生する誘起電圧に対して、両側ティース31, 32の巻線2に発生する誘起電圧の位相がずれることにより、両側ティース31, 32の出力トルクへの寄与度は、中央ティース30の出力トルクへの寄与度よりも低くなる。8極9スロット同期電動機でも同様である。

[0035] 図3は、10極9スロットの同期電動機における中央ティース先端部の幅と誘起電圧比率との関係を示す図である。図3のデータは、各ティースが機械角で40°毎に配置されている場合の誘起電圧の値を1.0として、この誘起電圧の値と中央ティース30の先端部30bの幅θ1を40°から32°まで変化させたときの誘起電圧の値との比率（誘起電圧比率）に関する磁界解析の結果である。

[0036] 横軸は中央ティース30の先端部30bの幅θ1を表し、縦軸は誘起電圧比率を表す。図3に示されるように、10極9スロットの同期電動機における誘起電圧比率は、幅θ1が32°以上、かつ、40°以下のときに1以上の値となり、幅θ1が回転子4の磁極幅（機械角36°）と同じ値のときに最大となる。

- [0037] 一方、10極9スロットまたは8極9スロットの同期電動機では、1相を構成する巻線が集中的に配置されているため、巻線に電流が流れたときに発生する回転磁界が回転軸に対して不均等に発生する。このことにより回転軸に対してラジアル方向に大きな加振力(磁気吸引力)が発生する。
- [0038] 図4は、加振力を説明するための同期電動機10の横断面図である。図4の同期電動機10では8極または10極の回転子4が用いられている。図4に示されるように回転子4が反時計回りに回転するときに、磁極の位置にあわせて固定子1の各相の巻線2へ電流が流れることにより、トルクが発生する。
- [0039] 図5は、8極9スロットの同期電動機の巻線に正弦波電流を流したときに発生する加振力を示す図である。図5には、同期電動機10の横方向をX軸とし縦方向をY軸としたときに、回転子4の回転時に生じる加振力の磁界解析が示される。
- [0040] 図5に示されるように、加振力は、回転子4の回転にあわせてX軸方向またはY軸方向に対して略正弦波状に変化する。そして、8極9スロットの同期電動機では、回転子4が1回転するときに、正弦波状に変動する加振力が8回発生する。なお、10極9スロットの同期電動機では、回転子4が1回転するときに、正弦波状に変動する加振力が10回発生する。
- [0041] 図6は、図4に示される同期電動機の回転子で発生する加振力の軌跡を示す図である。加振力の大きさと向きを把握するため、図6では、図4のX軸方向に生じる加振力の大きさをX軸方向にとり、図4のY軸方向に生じる加振力の大きさをY軸方向に表している。図示例のように加振力は、略円状の軌跡を描き、回転子4の回転にあわせて略一定の大きさで方向を変えながら発生する。
- [0042] なお、加振力の絶対値は、同期電動機10の発生トルクに従って増加する傾向を示すが、同期電動機の大きさなどによって異なるため、図6では、8極9スロットまたは10極9スロットの同期電動機で発生する加振力の傾向のみが示され、具体的な数値は省略されている。

[0043] 図7は、図4に示される同期電動機の発生トルクと加振力との関係を示す図である。図7には、8極9スロットの同期電動機10におけるトルクと加振力との関係を示す曲線Aと、10極9スロットの同期電動機におけるトルクと加振力との関係を示す曲線Bとが示されている。なお、これらの同期電動機では、磁力が同等の永久磁石6が回転子4に用いられているものとする。

[0044] 図7に示されるように、10極9スロットの同期電動機における加振力と8極9スロットの同期電動機における加振力とは、何れも発生トルクに比例して増加する。ただし、10極9スロットの同期電動機における加振力は、8極9スロットの同期電動機における加振力に対して十分に小さく、8極9スロットの加振力の1/4以下を示す。

[0045] 図8は、図7に示される曲線Bを拡大した図である。図8では、図7の曲線Bの変化を分かり易くするため、縦軸の目盛りの値が図7の縦軸の目盛りの値と異なるように設定されている。図8に示すように10極9スロットの同期電動機における加振力は、発生トルクに対して2次関数に近い特性を示す。このように10極9スロットの同期電動機では、加振力が発生トルクの上昇に対して急激に大きくなる傾向がある。これは固定子鉄心3の磁束密度が影響しているものと推定される。

[0046] 図9は、10極9スロットの同期電動機におけるティース先端部の径方向厚さとこの同期電動機における加振力比率との関係を示す図である。横軸は10極9スロットの同期電動機におけるティース厚(t1, t2, t3)を表し、縦軸は10極9スロットの同期電動機における加振力比率を表す。図9のデータは、ティース厚(t1, t2, t3)を変化させたときの加振力の最小値を1.0として、この最小値と、ティース厚(t1, t2, t3)を変化させたときの加振力の値との比率(加振力比率)に関する磁界解析の結果である。

[0047] 図9のデータを得るときの発生トルクは、10極9スロットの同期電動機における定格出力相当としている。図9に示されるように、10極9スロッ

トの同期電動機では、ティース厚 ( $t_1, t_2, t_3$ ) が比較的大きい領域では加振力比率がほぼ一定の値を示す。これに対してティース厚が比較的薄い領域では、ティース厚が薄くなるほど加振力比率が増加する。この傾向は、ティース厚が薄くなるほど磁路が狭くなり、ティース先端部における磁束密度が上がり、その結果として加振力が大きくなるものと推定される。これは、電動機のトルクを上げるほど電流が増加し、ティース先端部における磁束密度が上がり、その結果として加振力が大きくなる場合と同じ要因、すなわちティース先端部における磁束密度が高くなることに起因していると推定される。

[0048] 図10は、8極9スロットの同期電動機におけるティース径方向厚さと加振力との関係を示す図である。横軸は8極9スロットの同期電動機におけるティース厚を表し、縦軸は8極9スロットの同期電動機における加振力比率を表す。図10のデータは、ティース厚を変化させたときの加振力の最小値を1.0として、この最小値と、ティース厚を変化させたときの加振力の値との比率（加振力比率）に関する磁界解析の結果である。

[0049] 図10のデータを得るときの発生トルクは、8極9スロットの同期電動機における定格出力相当としている。図10に示されるように8極9スロットの同期電動機では、ティース厚の変化に対して加振力比率がほとんど変化しない。

[0050] 図9と図10の結果から明らかなように、ティース厚を厚くすることで回転子の加振力を抑制する効果は10極9スロットの同期電動機で得られる。なお、磁極数とスロット数との比率が2:3で構成される同期電動機では、1つの相を構成する3つの巻線2が回転軸7に対して対称に配置されている場合、磁気吸引力が回転軸7に対して打ち消し合うため、上記の様な回転子4の加振力は発生しない。従ってこのように構成される同期電動機では、図2に示されるようにティース厚  $t_1$  をティース厚  $t_2, t_3$  より薄く形成した場合でも加振力の変化が無く、同様の効果は得られない。

[0051] ところが、加振力を抑制するために、空隙8の値を一定としてティース厚

を厚くした場合、巻線2を収納するスロット35の断面積が小さくなってしまう。この場合の対策としては、巻線2に用いる銅線の線径を細くすることが考えられるが、巻線の線径を細くした場合、巻線2の抵抗が増加することにより銅線で発生する損失(銅損)が増加し、同期電動機の効率が低下することとなる。

- [0052] このような効率低下の対策としては、各相のティース群の内、中央ティース30の先端部30bの周方向幅w1を、両側ティース31, 32の先端部31b, 32bの周方向幅w2, w3より狭くすることが考えられる。この構成により誘起電圧を向上させて、電流を減らすことで銅損の増加を防ぎ、効率の低下を抑制することができる。
- [0053] このとき、中央ティースの先端部30bの周方向幅w1が狭くなることにより、先端部30bと回転子4との間に生じる磁気吸引力（すなわち回転軸に対してラジアル方向に生じる加振力）が小さくなる可能性がある。
- [0054] このような磁気吸引力低下を利用して、本実施の形態では、中央ティース30のティース厚t1が両側ティース31, 32のティース厚t2, t3よりも薄く形成されている。この構成により、スロット35の断面積を相対的に大きくすることができるため、中央ティース30の巻線数を増加させても磁気吸引力の増加を抑制することができる。
- [0055] 次に、ティース厚を変化させたときの加振力の大きさに関して説明する。
- [0056] 図11は、10極9スロットの同期電動機におけるティース先端部の厚みと加振力比率との関係を示す第1の図である。図11のデータは、先端部30bの幅θ1が40°に設定された10極9スロットの同期電動機10において、各相を構成する3つのティースのティース厚t1, t2, t3が最も薄く設定されている場合の加振力の値を1.0として、この値と、これらの各ティース厚を変化させたときの加振力の値との比率（加振力比率）に関する磁界解析の結果である。
- [0057] 図11では、最も薄いティース厚が「薄」と表記され、最も厚いティース厚が「厚」と表記され、「薄」と「厚」の中間的な厚みが「普」と表記され

ている。

- [0058] 左側3つのデータは、ティース厚 $t_2$ およびティース厚 $t_3$ が薄く、かつ、ティース厚 $t_1$ が3種類の厚さに設定された10極9スロットの同期電動機10における加振力比率を表す。右側3つのデータは、ティース厚 $t_2$ およびティース厚 $t_3$ が厚く、かつ、ティース厚 $t_1$ が3種類の厚さに設定された10極9スロットの同期電動機10における加振力比率を表す。中央のデータは、ティース厚 $t_1$ 、ティース厚 $t_2$ 、およびティース厚 $t_3$ が中間的な厚さ設定された10極9スロットの同期電動機10における加振力比率を表す。
- [0059] 図11のデータより、ティース厚 $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ が全て「薄」の加振力比率（最も左側のデータ）に比べて、ティース厚 $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ が全て「薄」以外の加振力比率は低い値を示す。
- [0060] ただし、ティース厚 $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ が全て「普」の加振力比率（中央のデータ）と、ティース厚 $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ が全て「厚」の加振力比率（最も右側のデータ）との間では、大きな差がみられない。
- [0061] 一方、ティース厚 $t_2$ およびティース厚 $t_3$ が「厚」であり、ティース厚 $t_1$ が「普」または「薄」の加振力比率（右から2つ目と3つ目のデータ）は、低下傾向を示す。ただし、左から2つ目と3つ目の加振力比率は、中央の加振力比率と略同じ値である。そのため、スロット断面積を確保するという観点からは、ティース厚 $t_1$ のみを薄くしても顕著な効果を得ることができない。
- [0062] 図12は、10極9スロットの同期電動機におけるティース先端部の厚みと加振力比率との関係を示す第2の図である。図11との相違点は、先端部30bの幅 $\theta_1$ が $36^\circ$ に設定された10極9スロットの同期電動機10が用いられている点である。
- [0063] 図12のデータによれば、右から3つめの加振力比率と右から4つめの加振力比率との間に顕著な差が生じていることが分かる。すなわち先端部30bの幅 $\theta_1$ が $36^\circ$ に設定されている場合、ティース厚 $t_1$ を薄くした場合

でも、ティース厚  $t_2$  およびティース厚  $t_3$  を厚くすることにより、加振力を低下させることができる。この傾向は、先端部  $30b$  の幅  $\theta_1$ 、すなわち先端部  $30b$  の周方向幅  $w_1$  が狭くなるほど顕著になる。

- [0064] 図13は、10極9スロットの同期電動機におけるティース先端部の厚みと加振力比率との関係を示す第3の図である。図11との相違点は、先端部  $30b$  の幅  $\theta_1$  が  $32^\circ$  に設定された10極9スロットの同期電動機10が用いられている点である。
- [0065] 端部  $30b$  の幅  $\theta_1$  が  $32^\circ$  に設定されている同期電動機10では、ティース厚  $t_2$  およびティース厚  $t_3$  が加振力に対して支配的になり、その結果、右から3つの加振力比率が図12に示される加振力比率に比べて低減されていることがわかる。
- [0066] 以上に説明したように本実施の形態に係る同期電動機10は、隣り合う3個ずつの3相に区分される9つのティースを有する10極9スロットの同期電動機10であって、各相を構成する3個のティースの内、中央に配置された第1ティース（ $30$ ）の内径側先端部（ $30b$ ）の周方向幅  $w_1$  が、この第1ティースの両側に配置された2つの第2ティース（ $31, 32$ ）の内径側先端部（ $31b, 32b$ ）の周方向幅  $w_2, w_3$  よりも狭く形成され、第1ティースの内径側先端部の径方向厚さ（ $t_1$ ）が、各第2ティースの内径側先端部の径方向厚さ（ $t_2, t_3$ ）より薄く形成された固定子1を備える。この構成により、10極9スロットで原理的に発生するラジアル方向の加振力が低減される。また、中央ティース  $30$  の周方向幅  $w_1$  を両側ティース  $31, 32$  の周方向幅  $w_2, w_3$  よりも狭くすることにより、より大きな誘起電圧を発生することができ、同期電動機10の効率の向上を図ることができる。さらに、中央ティース  $30$  のティース厚  $t_1$  が両側ティース  $31, 32$  のティース厚  $t_2, t_3$  より薄く形成されているため、スロット  $35$  の断面積の減少が抑制され、同期電動機10の効率低下を抑制することができる。その結果、更なる低振動化および低騒音化を図りながら、効率の向上を図ることができる。

[0067] また、本実施の形態に係る同期電動機10では、第1ティース(30)と一方の第2ティース(31)との間のスロット開口部(33a1)から、第1ティース(30)と他方の第2ティース(32)との間のスロット開口部(33a2)までの幅w1が、機械角で32°より大きく、かつ、機械角で40°より小さくなるように形成されている。この構成により、幅w1が40°となるように形成された従来の10極9スロットの同期電動機に比べて、巻線係数が高くなり、高出力化および高効率化を図ることができる。巻線係数は、回転子4の永久磁石6から発生する磁束が巻線2にどの程度有効に鎖交するかを示す指標である。

[0068] また、本実施の形態に係る同期電動機10では、第1ティース(30)と一方の第2ティース(31)との間のスロット開口部(33a1)から、第1ティース(30)と他方の第2ティース(32)との間のスロット開口部(33a2)までの幅w1が、機械角で36°になるように形成されている。この構成により、中央ティース30の先端部30bの周方向幅w1を、両側ティース31, 32の先端部31b, 32bの周方向幅w2, w3より小さくするように構成した同期電動機10の中で、巻線係数が最も高くなり、高出力化および高効率化を図ることができる。

[0069] なお、本発明の実施の形態は、本発明の内容の一例を示すものであり、更なる別の公知技術と組み合わせることも可能であるし、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、一部を省略する等、変更して構成することも可能であることは無論である。

## 産業上の利用可能性

[0070] 以上のように、本発明は、同期電動機に適用可能であり、特に、更なる低振動化および低騒音化を図ることができる発明として有用である。

## 符号の説明

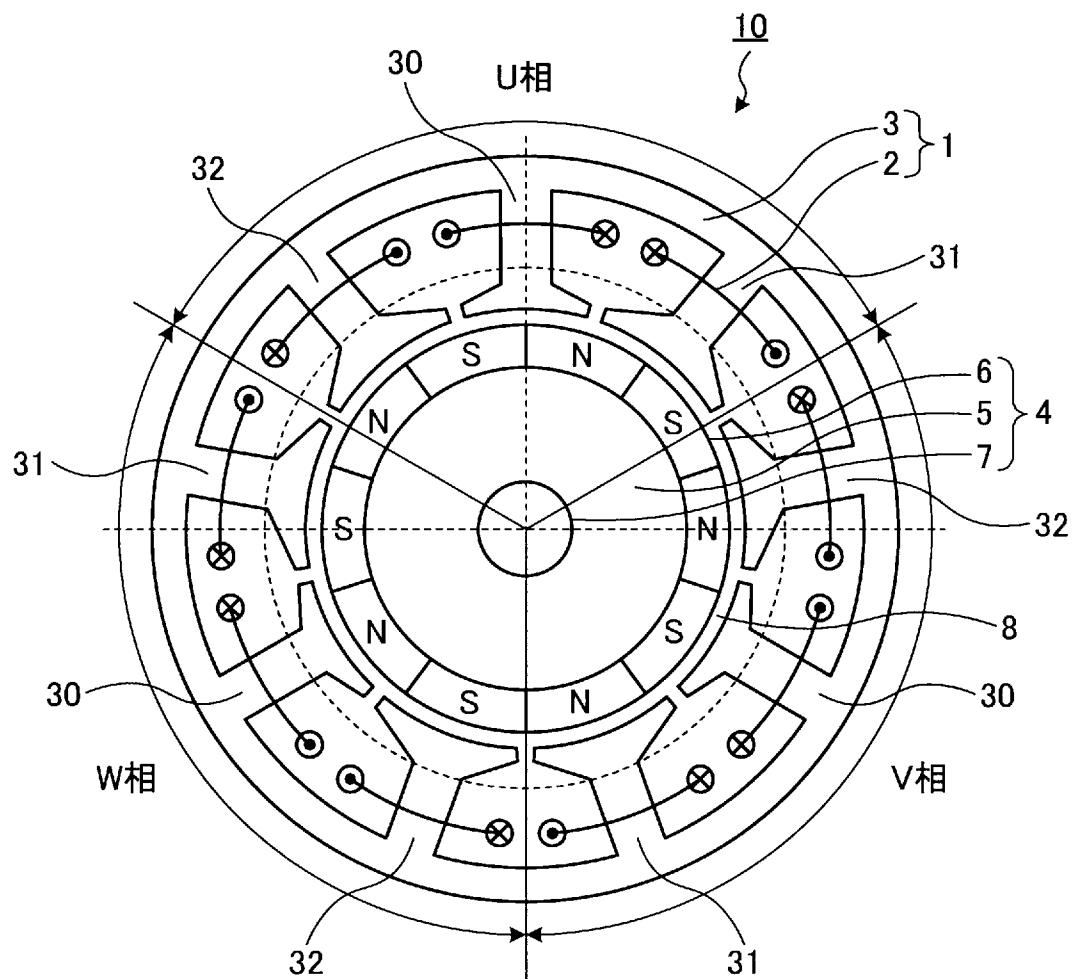
[0071] 1 固定子、2 巻線、3 固定子鉄心、4 回転子、5 バックヨーク  
、6 永久磁石、7 回転軸、8 空隙、10 同期電動機、30 中央テ  
ィース、30a 基部、30a1 付根部、30b 先端部、30b1 周

方向端部、30b2 内径側面、31 両側ティース、31a 基部、31a1 付根部、31b 先端部、31b1 周方向端部、31b2 内径側面、32 両側ティース、32a 基部、32a1 付根部、32b 先端部、32b1 周方向端部、32b2 内径側面、33a1, 33a2, 33b スロット開口部、34 ヨーク、35 スロット。

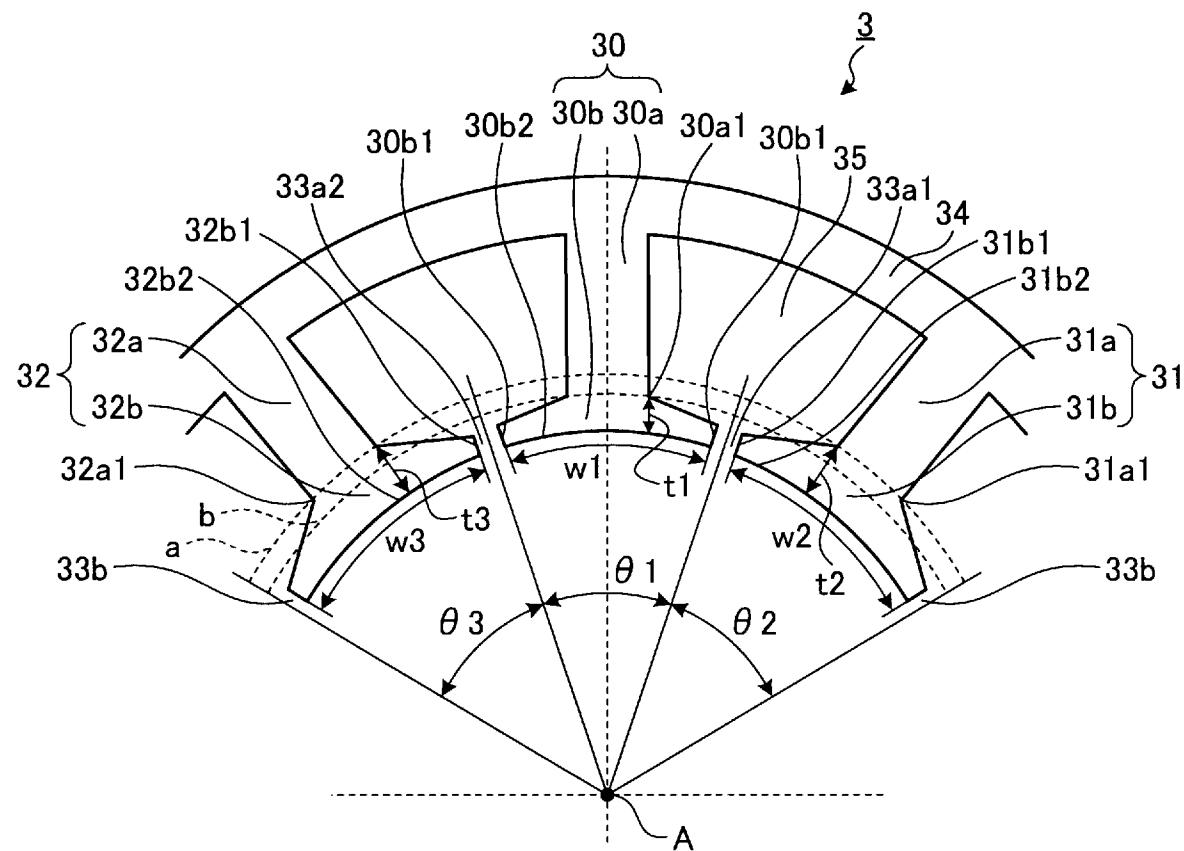
## 請求の範囲

- [請求項1] 隣り合う 3 個ずつの 3 相に区分される 9 つのティースを有する 10 極 9 スロットの同期電動機であって、  
各相を構成する 3 個のティースの内、中央に配置された第 1 ティースの内径側先端部の周方向幅が、この第 1 ティースの両側に配置された 2 つの第 2 ティースの内径側先端部の周方向幅よりも狭く形成され、前記第 1 ティースの内径側先端部の径方向厚さが、前記各第 2 ティースの内径側先端部の径方向厚さより薄く形成された固定子を備えたこと、  
を特徴とする同期電動機。
- [請求項2] 前記第 1 ティースと一方の第 2 ティースとの間のスロット開口部から、前記第 1 ティースと他方の第 2 ティースとの間のスロット開口部までの幅は、機械角で 32° より大きく、かつ、機械角で 40° より小さ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 に記載の同期電動機。
- [請求項3] 前記第 1 ティースと一方の第 2 ティースとの間のスロット開口部から、前記第 1 ティースと他方の第 2 ティースとの間のスロット開口部までの幅は、機械角で 36° になるように形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の同期電動機。

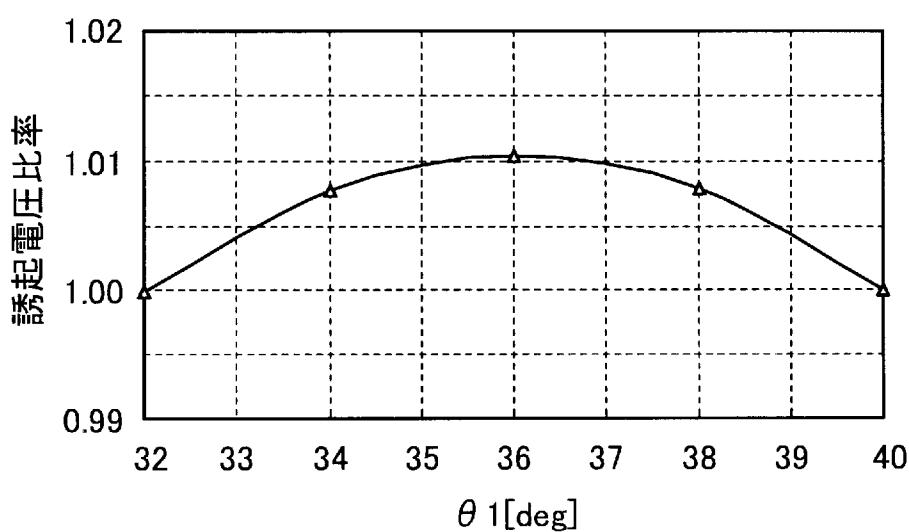
[図1]



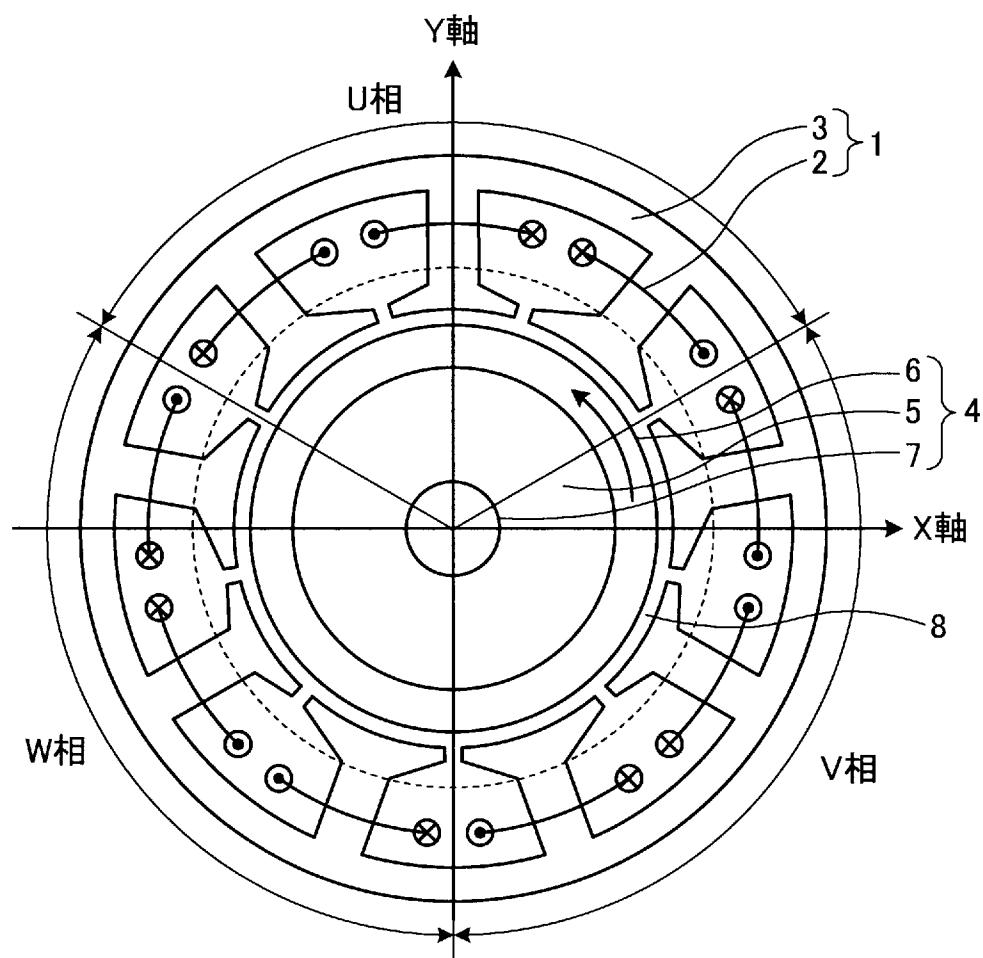
[図2]



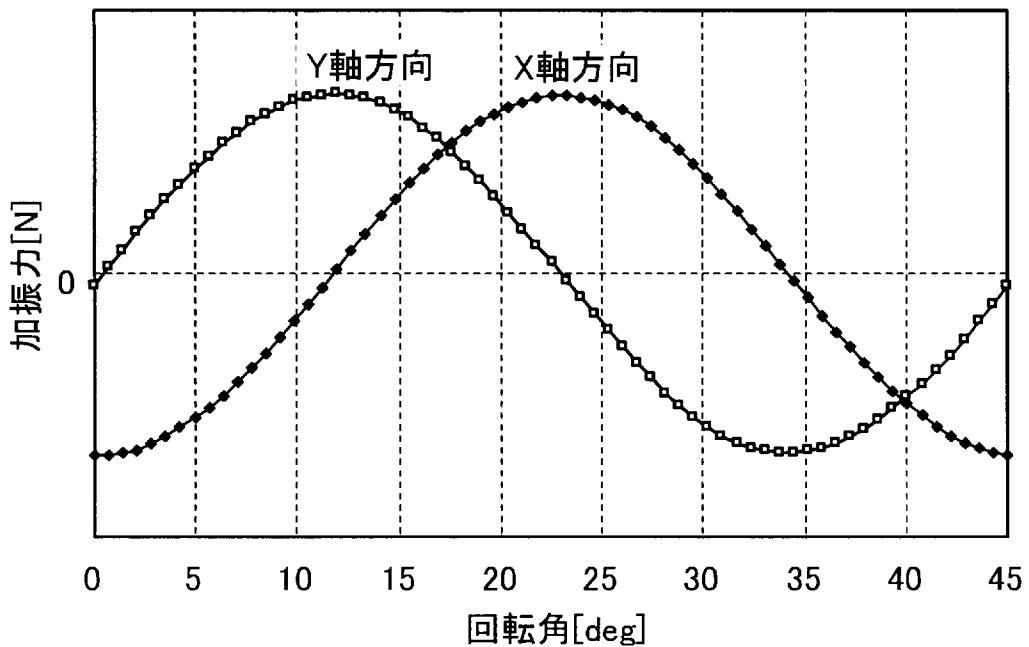
[図3]



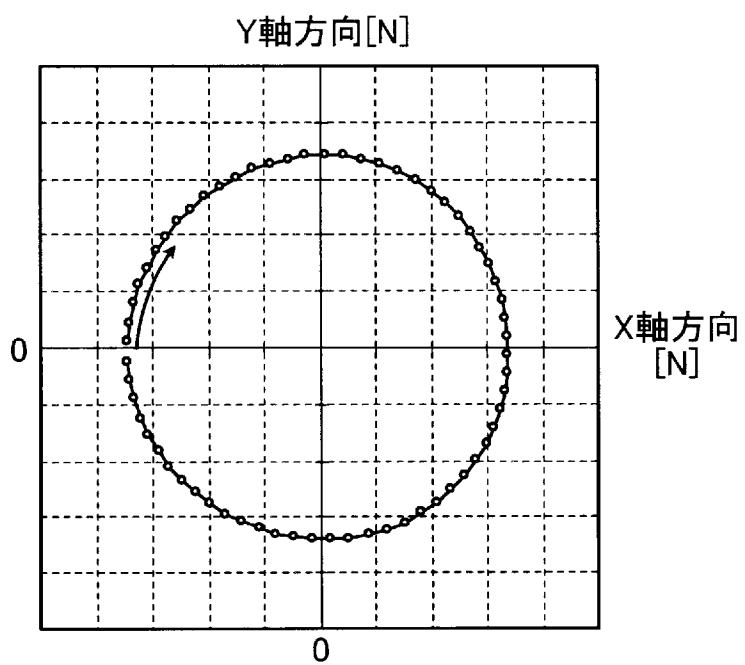
[図4]



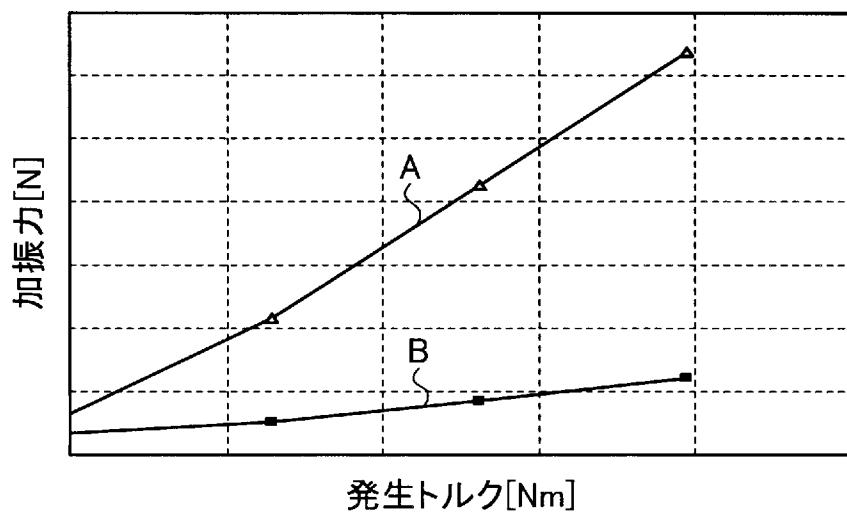
[図5]



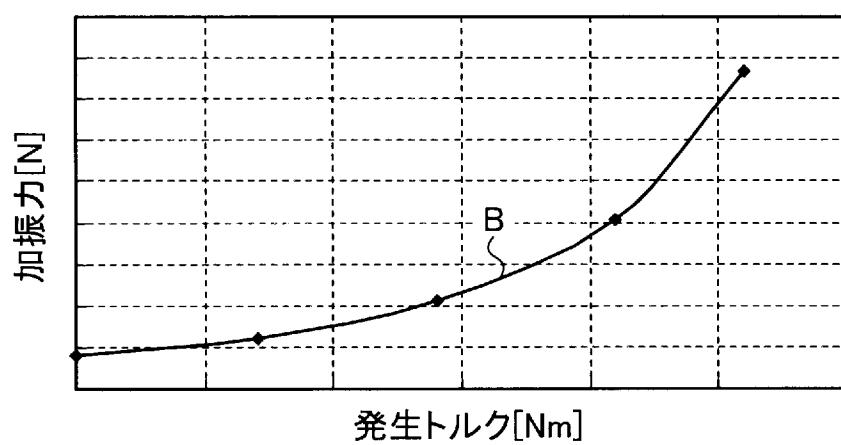
[図6]



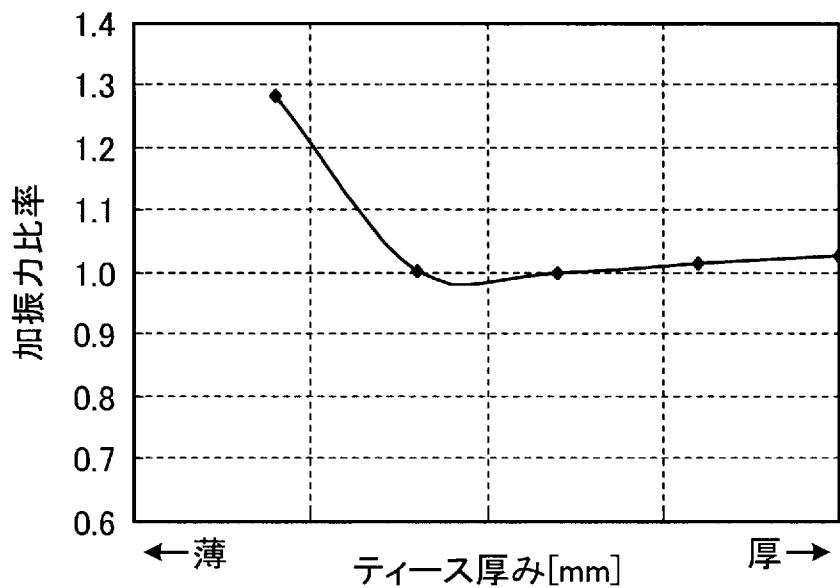
[図7]



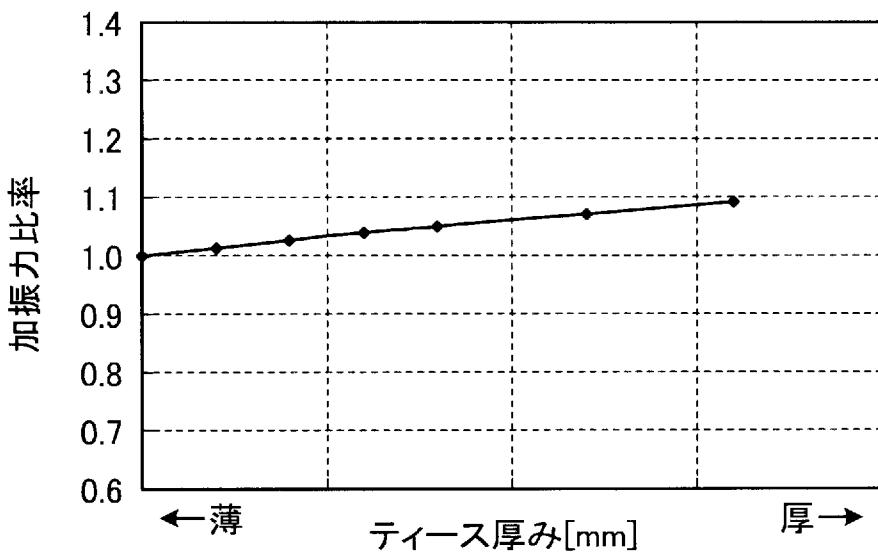
[図8]



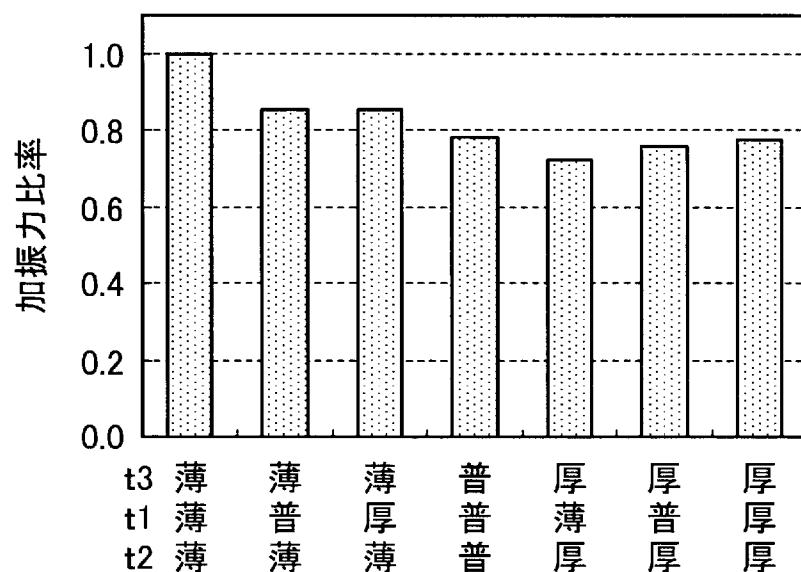
[図9]



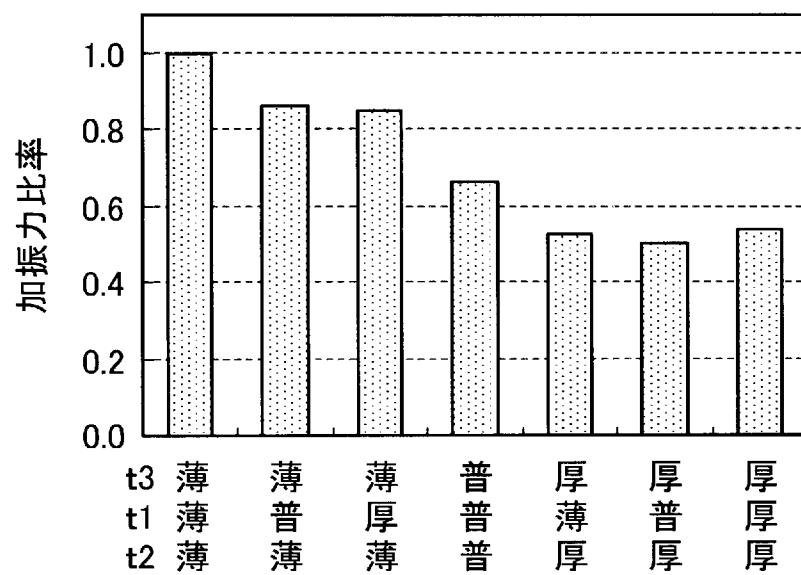
[図10]



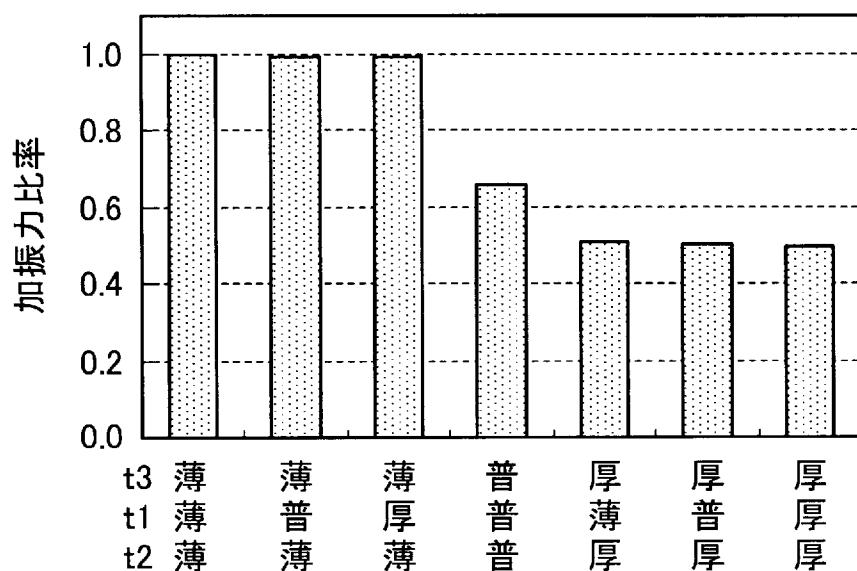
[図11]



[図12]



[図13]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/073563

### A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02K1/16(2006.01)i, H02K21/14(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

### B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02K1/16, H02K21/14

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

### C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 63-144749 A (Nippon Ferrofluidics Corp.), 16 June 1988 (16.06.1988), page 2, upper left column, line 6 to page 4, right column, line 6; fig. 1 (Family: none)	1-3
Y	JP 2004-215479 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 29 July 2004 (29.07.2004), paragraph [0044]; fig. 1 & US 2004/0245881 A1 & EP 1492216 A1 & WO 2003/084034 A1 & CN 1579043 A & AU 2003236179 A	1-3

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	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"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
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search  
20 November, 2013 (20.11.13)

Date of mailing of the international search report  
03 December, 2013 (03.12.13)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2013/073563

**C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2004-304928 A (Mitsuba Corp.), 28 October 2004 (28.10.2004), claims 1 to 3; fig. 1 (Family: none)	1-3
A	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 95591/1977(Laid-open No. 22107/1979) (Fuji Denki Seizo Kabushiki Kaisha), 14 February 1979 (14.02.1979), specification, page 3, line 12 to page 4, line 9; fig. 3 to 4 (Family: none)	1-3

## A. 発明の属する分野の分類(国際特許分類(IPC))

Int.Cl. H02K1/16(2006.01)i, H02K21/14(2006.01)i

## B. 調査を行った分野

## 調査を行った最小限資料(国際特許分類(IPC))

Int.Cl. H02K1/16, H02K21/14

## 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2013年
日本国実用新案登録公報	1996-2013年
日本国登録実用新案公報	1994-2013年

## 国際調査で使用した電子データベース(データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 63-144749 A (日本エローフルイディクス株式会社) 1988.06.16, 2頁左上6行-4頁右6行, 図1 (ファミリーなし)	1-3
Y	JP 2004-215479 A (松下電器産業株式会社) 2004.07.29, 段落 【0044】 , 図1 & US 2004/0245881 A1 & EP 1492216 A1 & WO 2003/084034 A1 & CN 1579043 A & AU 2003236179 A	1-3
Y	JP 2004-304928 A (株式会社ミツバ) 2004.10.28, 【請求項1】-【請 求項3】 , 図1 (ファミリーなし)	1-3

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

- 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「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」国際出願目前で、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矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「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  20.11.2013	国際調査報告の発送日  03.12.2013
国際調査機関の名称及びあて先  日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官(権限のある職員)  安池 一貴 電話番号 03-3581-1101 内線 3358 3V 9150

C (続き) . 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
A	日本国実用新案登録出願 52-95591 号(日本国実用新案登録出願公開 54-22107 号)の願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマイクロフィルム (富士電機製造株式会社) 1979. 02. 14, 明細書 3 頁 12 行 - 4 頁 9 行, 図 3 - 4 (ファミリーなし)	1-3