

(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
2018年1月25日(25.01.2018)

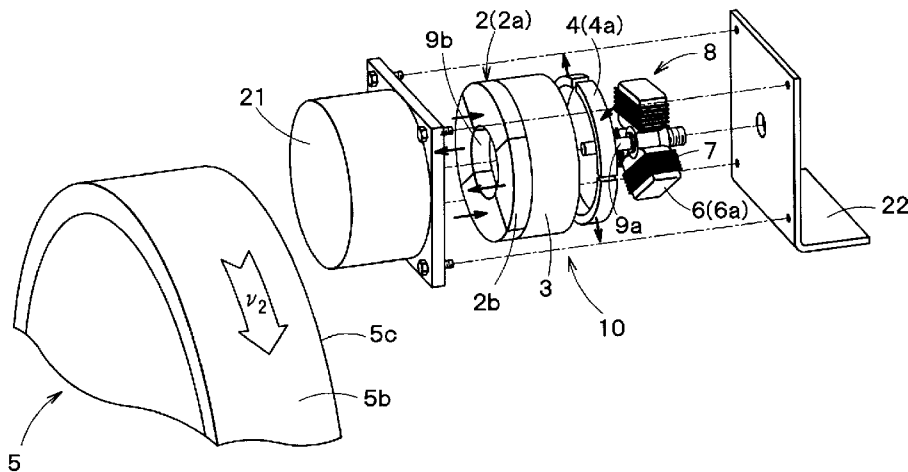


(10) 国際公開番号
WO 2018/016545 A1

- (51) 国際特許分類:
H02K 21/22 (2006.01) *H02K 49/02* (2006.01)
F16H 49/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/026167
- (22) 国際出願日: 2017年7月19日(19.07.2017)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2016-142820 2016年7月20日(20.07.2016) JP
- (71) 出願人: ナブテスコ株式会社 (NABTESCO CORPORATION) [JP/JP]; 〒1020093 東京都千代田区平河町二丁目7番9号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: フランクル ミヒャエル (FLANKL Michael); 8092 チューリッヒ、フュズィークシュトラッセ、3、エーテーエル、ハー2 2、エーテーハー、チューリッヒ、パワー、エレクトロニック、システムズ、ラボラトリー Zurich (CH). トウスズ アルダ (TUEYSUEZ Arda); 8092 チューリッヒ、フュズィークシュトラッセ、3、エーテーエル、ハー2 2、エーテーハー、チューリッヒ、パワー、エレクトロニック、システムズ、ラボラトリー Zurich (CH). コラー ヨハン、ペー (KOLAR Johann W.); 8092 チューリッヒ、フュズィークシュトラッセ、3、エーテーエル、ハー2 2、エーテーハー、チューリッヒ、パワー、エレクトロニック、システムズ、ラボラトリー Zurich (CH).

(54) Title: ROTARY MOTOR AND NON-CONTACT GENERATOR

(54) 発明の名称: 回転電機および非接触発電機



(57) Abstract: Provided are a rotary motor and non-contact generator with good magnetic efficiency, little magnetic flux leakage, and cogging torque compensation. A rotary motor 10 comprises: a first rotating body 2 that has first permanent magnets 2a that are disposed facing and separated from each other on a main surface of a moving body that rotates or moves, and that rotate around a prescribed rotational axis in accordance with the rotation or movement direction of the moving body; and a cogging torque canceling unit 8 that cancels out at least part of the cogging torque produced by the



WO 2018/016545 A1

塚田 裕介(TSUKADA Yusuke); 〒6512271 兵庫県神戸市西区高塚台7丁目3番地の3 ナブテスコ株式会社 神戸工場内 Hyogo (JP). 中村 和人(NAKAMURA Kazuhito); 〒6512271 兵庫県神戸市西区高塚台7丁目3番地の3 ナブテスコ株式会社 神戸工場内 Hyogo (JP).

(74) 代理人: 永井 浩之, 外(NAGAI Hiroshi et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内1丁目6番6号 日本生命丸の内ビル 協和特許法律事務所 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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

first permanent magnets due to the relative shapes of and positional relationship between the moving body and the first permanent magnets. The first rotating body 2 rotates around a first rotational axis due to the repulsive force and attractive force acting on the first permanent magnets on the basis of an eddy current produced in a direction that prevents changes in the magnetic flux generated by the first permanent magnets on the main surface of a moving body 5. One side surface of the first rotating body which is disposed facing the moving body has a slower surface speed than that of the main surface of the moving body disposed facing the side surface.

(57) 要約: 磁気効率がよく、磁束の漏れも少なく、かつコギングトルクに対する対策を行った回転電機および非接触発電機を提供する。回転電機10は、回転または移動する移動体の一主面上に離隔して対向配置され、移動体の回転または移動方向に応じて所定の回転軸回りに回転する第1永久磁石2aを有する第1回転体2と、移動体と第1永久磁石との相対的な形状および位置関係により第1永久磁石に発生するコギングトルクの少なくとも一部を相殺するコギングトルク相殺部8と、を備え、第1回転体2は、移動体5の一主面上に第1永久磁石からの磁束の変化を妨げる方向に発生される渦電流に基づいて第1永久磁石に働く反発力および誘引力により、第1回転軸周りに回転し、第1回転体の移動体に対向配置される一側面の表面速度は、対向配置される移動体の一主面の表面速度より遅い。

明 細 書

発明の名称： 回転電機および非接触発電機

技術分野

[0001] 本発明は、非接触で回転する回転電機と、非接触で発電する非接触発電機とに関する。

背景技術

[0002] 米国特許公開公報2014/0132155号には、非接触で発電する自転車用ダイナモが開示されている。上述した公知文献の自転車用ダイナモは、自転車のホイールの回転軸と直交する方向に延びる回転軸周りに回転する円環状の永久磁石の外周面を、ホイールの外周面に連なる一側面から離隔して配置している。

[0003] 永久磁石は、複数の磁極を周方向に並べて配置したものであり、隣接する磁極では、磁化方向が逆になっている。例えば、永久磁石のN極がホイールの一側面に対向配置された状態でホイールが回転すると、永久磁石からの磁束の変化を妨げる方向に、ホイールの一側面に渦電流が発生する。この渦電流による磁束と永久磁石からの磁束との反発力および誘引力により、永久磁石は、ホイールの回転方向に回転する。

[0004] よって、永久磁石の周囲をコイルで巻回して、永久磁石からの磁束がコイルを鎖交するようにすれば、コイルから誘導電力を取り出すことができる。

発明の開示

[0005] 1. ホイールの一側面に対向配置される永久磁石の面積が限られているため、ホイールと永久磁石との磁気結合量を大きくできない。よって、ホイールに発生する渦電流が小さくなり、永久磁石の回転力も弱くなる。

[0006] 2. 上述した公知文献では、永久磁石に単一相のコイルを巻回しているが、単一相のコイルでは、コイルが巻回していない部分の永久磁石の磁束を有効利用できないため、鎖交磁束量を増やすことはできない。また、コイルが巻回している部分の永久磁石の極性の向きが、回転軸を中心に対称である場

合、常にコイルを鎖交する磁束の総量が打ち消し合ってしまうため、発電できないという問題がある。

[0007] 3. 永久磁石からの磁束は、空气中を伝搬するため、大きな磁気抵抗を受けることになり、磁気効率がよいとはいえない。

[0008] 4. ヨークを用いていないため、磁束の漏れが生じやすく、また周囲に導電材料または磁性材料があると、磁路が変化してしまい、発電量に影響を与えてしまうおそれがある。

[0009] 5. ホイールの一側面に対向配置される永久磁石の磁極位置によっては、ホイールを回転させたときに、なかなか永久磁石が回転しない場合がありうる。これは、永久磁石とホイール間に生じるコギングトルクによるものである。米国特許公開公報2014/0132155号は、コギングトルクに対する対策を何ら行っていない。

[0010] 本発明は、上述した課題に鑑みてなされたものであり、その目的は、磁気効率がよく、磁束の漏れも少なく、かつコギングトルクに対する対策を行った回転電機および非接触発電機を提供することである。

[0011] 上記の課題を解決するために、本発明の一態様では、回転または移動する導体である移動体の一主面上に離隔して対向配置され、前記移動体の回転または移動方向に応じて発生するローレンツ力によって所定の回転軸回りに回転する第1永久磁石を有する第1回転体と、

前記移動体と前記第1永久磁石との相対的な形状および位置関係により前記第1永久磁石に発生するコギングトルクを低減または相殺するコギングトルク相殺部と、を備える回転電機が提供される。

[0012] 本発明の他の一態様では、回転または移動する移動体の一主面上に離隔して対向配置され、前記移動体の回転または移動方向に応じて所定の回転軸回りに回転する第1永久磁石を有する第1回転体と、

前記移動体と前記第1永久磁石との相対的な形状および位置関係により前記第1永久磁石に発生するコギングトルクを低減または相殺するコギングトルク相殺部と、を備え、

前記第1回転体は、前記移動体の前記一主面上に前記第1永久磁石からの磁束の変化を妨げる方向に発生される渦電流に基づいて前記第1永久磁石に働く反発力および誘引力により、前記第1回転軸周りに回転し、

前記第1回転体の前記移動体に対向配置される前記一側面の表面速度は、対向配置される前記移動体の前記一主面の表面速度より遅い回転電機が提供される。

[0013] 前記コギングトルク相殺部は、前記移動体と前記第1永久磁石との相対的な形状および位置関係により前記第1永久磁石に発生するコギングトルクの逆位相のコギングトルクを発生させてもよい。

[0014] 前記コギングトルク相殺部は、前記第1永久磁石とは異なる第2永久磁石、または磁性体を用いて、前記コギングトルクを低減または相殺してもよい。

[0015] 前記コギングトルク相殺部は、
前記第1永久磁石とは異なる第2永久磁石を有し、前記第1回転体に同期して回転する第2回転体と、
前記第2永久磁石と磁気結合する第1磁性体と、を有してもよい。

[0016] 前記コギングトルク相殺部は、前記第2回転体と前記第1磁性体とのギャップを調整することにより、前記コギングトルクを低減してもよい。

[0017] 前記第2回転体は、前記第1永久磁石とともに、前記回転軸回りに回転する円環部材であってもよく、
前記第1磁性体は、前記円環部材の内周側に配置され、前記円環部材の内周面とのギャップを調整することにより、前記コギングトルクを低減してもよい。

[0018] 前記第2永久磁石からの磁束が鎖交する位置に配置され、鎖交した磁束の変化量に応じた誘導電流を発生するコイルを備えてもよい。

[0019] 前記コギングトルク相殺部は、前記第1永久磁石と磁気結合する第2磁性体を有してもよく、
前記コギングトルク相殺部は、前記第1永久磁石と前記第2磁性体とが重

なり合う領域を調整することにより、前記コギングトルクを低減してもよい。

[0020] 前記第2磁性体は、ヨークであってもよい。

[0021] 前記コギングトルク相殺部は、

前記移動体の一主面上に離隔して対向配置され、前記移動体の回転または移動方向に応じて所定の回転軸回りに回転する第2永久磁石を有する第2回転体と、

前記第1回転体と前記第2回転体とを同期させて回転させる同期回転機構と、を有してもよく、

前記移動体と重なり合う前記第2永久磁石の磁極を、前記移動体と重なり合う前記第1永久磁石の磁極と相違させることで、前記コギングトルクを低減してもよい。

[0022] 本発明の他の一態様では、回転または移動する導体である移動体の一主面上に離隔して対向配置され、前記移動体の回転または移動方向に応じて発生するローレンツ力によって所定の回転軸回りに回転する第1永久磁石を有する第1回転体と、

前記第1回転体の回転による運動エネルギーを電気エネルギーに変換する発電部と、を備え、

前記発電部は、前記移動体と前記第1永久磁石との相対的な形状および位置関係により前記第1永久磁石に発生するコギングトルクを低減または相殺するコギングトルク相殺部を有する非接触発電機が提供される。

[0023] 本発明の他の一態様では、回転または移動する移動体の一主面上に離隔して対向配置され、前記移動体の回転または移動方向に応じて所定の回転軸回りに回転する第1永久磁石を有する第1回転体と、

前記第1回転体の回転による運動エネルギーを電気エネルギーに変換する発電部と、を備え、

前記発電部は、前記移動体と前記第1永久磁石との相対的な形状および位置関係により前記第1永久磁石に発生するコギングトルクを低減または相殺

するコギングトルク相殺部を有し、

前記第1回転体は、前記移動体の前記一主面上に前記第1永久磁石からの磁束の変化を妨げる方向に発生される渦電流に基づいて前記第1永久磁石に働く反発力および誘引力により、前記第1回転軸周りに回転し、

前記第1回転体の前記移動体に対向配置される前記一側面の表面速度は、対向配置される前記移動体の前記一主面の表面速度より遅い、非接触発電機が提供される。

[0024] 前記コギングトルク相殺部は、前記第1永久磁石とは別個に前記発電部が有する第2永久磁石を用いて、前記コギングトルクを低減または相殺してもよい。

[0025] 前記コギングトルク相殺部は、

前記第1永久磁石とは異なる第2永久磁石を有し、前記第1回転体に同期して回転する第2回転体と、

前記第2永久磁石と磁気結合する第1磁性体と、を有し、

前記発電部は、前記第2永久磁石からの磁束が鎖交する位置に配置され、鎖交した磁束の変化量に応じた誘導電流を発生するコイルを有してもよい。

[0026] 前記コギングトルク相殺部は、前記第1永久磁石と磁気結合する第2磁性体を有し、

前記コギングトルク相殺部は、前記第1永久磁石と前記第2磁性体とが重なり合う領域を調整することにより、前記コギングトルクを低減してもよい。

[0027] 前記コギングトルク相殺部は、

前記移動体の一主面上に離隔して対向配置され、前記移動体の回転または移動方向に応じて所定の回転軸回りに回転する第2永久磁石を有する第2回転体と、

前記第1回転体と前記第2回転体とを同期させて回転させる同期回転機構と、を有し、前記移動体と重なり合う前記第2永久磁石の磁極を、前記移動体と重なり合う前記第1永久磁石の磁極と相違させることで、前記コギン

グトルクを低減してもよい。

[0028] 前記発電部は、前記第1永久磁石からの磁束が鎖交する位置に配置され、鎖交した磁束の変化量に応じた誘導電流を発生するコイルを有してもよい。

[0029] 本発明によれば、磁気効率がよく、磁束の漏れも少なく、かつコギングトルクに対する対策を行った回転電機および非接触発電機を提供できる。

図面の簡単な説明

[0030] [図1]第1の実施形態による回転電機を内蔵した非接触発電機1の分解斜視図。

[図2]図1の非接触発電機の断面図。

[図3]第1永久磁石からなる第1回転体の外観図。

[図4]移動体の一側面に発生する渦電流により第1回転体が回転する原理を説明する図。

[図5]本実施形態による非接触発電機のブロック図。

[図6]第1回転体の1周分のコギングトルクを表すグラフ。

[図7]第2回転体とステータを含んで構成された発電機の二次元FEMシミュレーションの結果を示す図。

[図8A]ステータと第2回転体とのギャップを最適化する前の構造を示す平面図。

[図8B]ギャップを最適化した後の構造を示す平面図。

[図9]図8Bの構造をシミュレーションにより生成するにあたって設定した各種のパラメータを示す図。

[図10]ステータのティース先端と第2回転体とのギャップを最適化するアルゴリズムを示すフローチャート。

[図11]ステータの周方向に配置された3つのティースの幅および間隔を横軸とし、ティース先端と第2回転体とのギャップを縦軸にした図。

[図12]初期状態と最適化後の幾何学的パラメータの対比結果を示す図。

[図13]最適化処理を行っている最中にコギングトルクが変化の様子を示す図。

[図14]第1回転体のコギングトルクと最終的に得られた第2回転体のコギングトルクとを比較した図。

[図15A]第1回転体に対して移動体とは点対称にヨークを配置する例を示す図。

[図15B]第1回転体に対して移動体とは点対称にヨークを配置する例を示す図。

[図16A]第1回転体の移動体と重なり合っている領域以外のほぼすべての領域でヨークと重なり合うようにした例を示す図。

[図16B]複数のヨークを用いてコギングトルクを相殺するように、各ヨークの配置場所を最適化する例を示す図。

[図17]第3の実施形態の概念を説明する図。

[図18A]コギングトルク相殺部を取り付けることが可能な回転電機の第1例を示す図。

[図18B]コギングトルク相殺部を取り付けることが可能な回転電機の第2例を示す図。

発明を実施するための形態

[0031] 以下、本発明の実施の形態について、詳細に説明する。

[0032] (第1の実施形態)

図1は第1の実施形態による回転電機10を内蔵した非接触発電機1の分解斜視図、図2は図1の非接触発電機1の断面図である。

[0033] 図1および図2に示すように、本実施形態による非接触発電機1は、第1永久磁石2aからなる第1回転体2と、ロータ3と、第2回転体4と、ステータ6と、コイル7と、を備えている。第1回転体2、ロータ3および第2回転体4が回転電機10を構成し、第2回転体4とステータ6とがコギングトルク相殺部8を構成している。

[0034] 第1回転体2は、所定の回転軸9a回りに回転自在とされている。回転軸9aの周囲にはベアリング9bが配置されており、回転軸9aは移動体5の回転方向に合わせて、時計回りまたは反時計回りに回転する。

- [0035] 第1回転体2の第1永久磁石2aは、周状に配置された複数の磁極2bを有する。図1では、第1永久磁石2aが4つの磁極2bを有する例を示すが、磁極2bの数は2つ以上であればよく、4つに限定されるわけではない。
- [0036] 第1回転体2は、回転または移動する移動体5の一主面上に離隔して対向配置されている。図1および図2の例では、移動体5がその中心軸回りに回転する例を示しているが、移動体5は並進運動をするものであってもよい。
- [0037] 図3は第1永久磁石2aからなる第1回転体2の外観図である。第1回転体2の回転軸9aと、移動体5の回転軸とは平行に配置されており、第1回転体2の外周面2cに連なる第1側面2dの少なくとも一部は、移動体5の外周面5bに連なる一側面5cに対向配置されている。より具体的には、第1回転体2が有する複数の磁極2bのうち、2つ以上の磁極2bが移動体5の一側面5cに対向配置されている。これにより、後述するように、第1回転体2と移動体5との磁気結合量を増やすことができ、移動体5の一側面5c上に生じる渦電流を増大させることができる。
- [0038] 移動体5は、例えば車両の車輪やホイールなどである。移動体5は、第1回転体2に対向配置された一側面5cに渦電流を発生させる。渦電流を発生できるように、移動体5の少なくとも一側面5cは、金属などの導電材料で形成されている必要がある。
- [0039] 本実施形態では、第1回転体2を構成する第1永久磁石2aの各磁極2bからの磁束により、移動体5の一側面5cに渦電流を発生させる。よって、第1回転体2の第1側面2dと移動体5の一側面5cとの間の間隔は、第1回転体2の各磁極2bからの磁束が移動体5に到達可能な範囲内に制限される。
- [0040] 第1永久磁石2aの各磁極2bは、対向する移動体5の一側面5cに向かう方向またはその反対方向に磁化されている。また、第1永久磁石2aの隣接する磁極2b同士の磁化方向は逆である。図3では、第1永久磁石2aの各磁極2bの磁化方向を矢印で示している。図3に示すように、第1回転体2の第1側面2dには、周状にN極とS極が交互に並んでいる。また、第1

回転体 2 の移動体 5 に対向する第 1 側面 2 d とは反対側の側面 2 e は、一側面とは逆極性になる。

[0041] 図 2 に示すように、第 1 回転体 2、ロータ 3、第 2 回転体 4 およびステータ 6 は、カバー 2 1 によって覆われている。また、ステータ 6 は、実装プレート 2 2 上に固定されている。なお、カバー 2 1 や実装プレート 2 2 は必須の構成部品ではなく、その形状やサイズも任意である。

[0042] 図 4 は移動体 5 の一側面 5 c に発生する渦電流 5 d, 5 e により第 1 回転体 2 が回転する原理を説明する図である。第 1 回転体 2 の第 1 側面 2 d 上に周状に並ぶ複数の磁極 2 b のうち、移動体 5 の一側面 5 c に対向配置された磁極 2 b からの磁束は、移動体 5 の一側面 5 c 方向に伝搬する。第 1 回転体 2 の第 1 側面 2 d と移動体 5 の一側面 5 c との間は、エアギャップであり、第 1 回転体 2 からの磁極 2 b はこのエアギャップを伝搬する。

[0043] 移動体 5 が回転すると、移動体 5 の一側面 5 c には、第 1 回転体 2 からの磁束の変化を妨げる方向に渦電流が生じ、この渦電流による磁束と第 1 回転体 2 からの磁束との相互作用（反発力および誘引力）により、第 1 回転体 2 は回転する。ただし、第 1 回転体 2 の第 1 側面 2 d の表面速度は、対向する移動体 5 の一側面 5 c の表面速度よりも遅くなる。

[0044] 例えば、第 1 回転体 2 の N 極が移動体 5 の一側面 5 c に対向配置されている場合、N 極の回転方向前方のエッジ e 1 からの磁束が到達する移動体 5 の一側面 5 c 部分に発生する渦電流 5 d の向きと、N 極の回転方向後方のエッジ e 2 からの磁束が到達する移動体 5 の一側面 5 c 部分に発生する渦電流 5 e の向きとは相違している。N 極の回転方向後方のエッジ e 2 からの磁束により発生する渦電流 5 e は、N 極からの磁束とは反対方向の磁束を発生させる向きに流れる。一方、N 極の回転方向前方のエッジ e 1 からの磁束が到達する移動体 5 の一側面 5 c 部分に発生する渦電流 5 d は、N 極からの磁束と同方向の磁束を発生させる向きに流れる。いずれの渦電流 5 d, 5 e も、移動体 5 の回転に伴う第 1 回転体 2 からの磁束の変化を妨げる方向に流れる。

[0045] 上述したように、第 1 回転体 2 の N 極の回転方向前方のエッジ e 1 側では

、渦電流 5 d による磁束と第 1 回転体 2 の N 極からの磁束との方向が同じになることから、互いに引き寄せ合う誘引力が働く。一方、第 1 回転体 2 の N 極の回転方向後方のエッジ e 2 側では、渦電流 5 e による磁束と第 1 回転体 2 の N 極からの磁束とは反対方向になることから、互いに反発し合う反発力が働く。第 1 回転体 2 の第 1 側面 2 d の表面速度が、対向する移動体 5 の一側面 5 c の表面速度より遅い場合には、上述した、第 1 回転体 2 と渦電流 5 d、5 e の関係が常に成り立つ。これにより、第 1 回転体 2 は、対向する移動体 5 の一側面 5 c の移動表面を追いかけるようにして、対向する移動体 5 の一側面 5 c の表面速度よりも遅い表面速度で回転することになる。

[0046] なお、上述した第 1 回転体 2 の回転の原理は、ローレンツ力による反発力および誘引力にて説明することもできる。上述したように、第 1 回転体 2 の N 極の回転方向前方のエッジ e 1 からの磁束による発生する渦電流 5 d と、第 1 回転体 2 の回転方向後方のエッジ e 2 からの磁束による発生する渦電流 5 e とは、電流の向きが逆になっていて、N 極の直下には常に一定方向の電流が流れる。これら渦電流 5 d、5 e による電流は、移動体 5 が図 4 の矢印の向きに回転する場合には、移動体 5 の回転方向とは反対方向のローレンツ力を受ける。よって、これら渦電流 5 d、5 e による磁束を受ける第 1 回転体 2 は、移動体 5 の回転方向への、ローレンツ力の反発力および誘引力を受けて回転する。

[0047] このように、第 1 回転体 2 と移動体 5 は、両者の対向面同士では同一方向に移動する。よって、図 4 のように、第 1 回転体 2 が移動体 5 の回転軸からずれて対向配置されている場合には、第 1 回転体 2 の回転方向は移動体 5 の回転方向とは逆になる。

[0048] 図 1 および図 2 に示すように、第 1 回転体 2 の第 1 側面 2 d と反対側の第 2 側面にはロータ 3 の第 1 側面が接合され、この第 1 側面と反対側の第 2 側面には第 2 回転体 4 の第 1 側面が接合されている。

[0049] 第 1 回転体 2、ロータ 3 および第 2 回転体 4 は、いずれも共通の回転軸 9 a 回りに回転自在とされている。この回転軸 9 a 回りに、第 1 回転体 2、ロ

ータ3および第2回転体4は一体に回転する。第1回転体2、ロータ3および第2回転体4の径サイズは同じでも、それぞれ異なってもよい。図2の例では、第1回転体2とロータ3の径サイズを略同一とし、第2回転体4の径サイズをロータ3よりも小さくしている。これにより、ロータ3の内周面の内側に第2回転体4を収納できるようにしている。

[0050] 第2回転体4は、図1および図2に示すように、周方向に複数の磁極2bが配置された円環状の第2永久磁石4aを有する。第2永久磁石4aの磁極数は特に問わない。

[0051] 円環状の第2永久磁石4aの内周面の内側には、ステータ6が配置されている。ステータ6は、固定されており、第2永久磁石4aの中心から放射状に伸びる複数のティース6aを有する。ステータ6は、磁性体で形成されており、各ティース6aにはコイル7が巻回されている。これらコイル7は、第2永久磁石4aからの磁束が鎖交する位置に配置されており、鎖交した磁束の変化量に応じた誘導電流を発生させる。放射状に伸びるティース6aの先端位置と第2永久磁石4aの内周面との間には不均一なギャップが設けられている。

[0052] 図5は本実施形態による非接触発電機1のブロック図である。図5に示すように、本実施形態による非接触発電機1は、運動エネルギー・ハーベスタ（KEH:Kinetic Energy Harvester）11と、発電機12と、駆動制御部13と、コギングトルク相殺部8とを備えている。

[0053] 運動エネルギー・ハーベスタ11は、移動体5と第1回転体2とを含んで構成されている。運動エネルギー・ハーベスタ11は、移動体5の移動または回転により、移動体5の一側面に渦電流を生じさせ、この渦電流による磁束と第1回転体2の第1永久磁石2aとの誘引力および反発力により、第1回転体2を回転させる。このように、運動エネルギー・ハーベスタ11は、移動体5の移動または回転による運動エネルギーを、第1回転体2の回転エネルギーに変換する機能を持っている。

[0054] 発電機12は、第2回転体4とステータ6のコイル7とを含んで構成され

ている。移動体5の移動または回転により第1回転体2が回転すると、第1回転体2と一体に第2回転体4も回転する。これにより、ステータ6のティース6aに巻回されたコイル7には、周期的に方向が変化する交番磁束が鎖交し、コイル7に誘導電流が発生する。このように、発電機12は、第1回転体2の回転エネルギーを、第2回転体4を介して、コイル7に流れる誘導電流に変換する機能を持っている。

[0055] 駆動制御部13は、コイル7に発生した誘導電流を例えば交流電圧や直流電圧に変換して、種々の負荷14を駆動する制御を行う。負荷14は、モータやアクチュエータ、各種センサなどであり、その具体的な種類は問わない。あるいは、駆動制御部13は、発電機12で発生した誘導電流に応じた電力を不図示の蓄電器に蓄電してもよい。

[0056] コギングトルク相殺部8は、第2永久磁石4aとステータ6とを含んで構成されている。コギングトルク相殺部8は、移動体5と第1永久磁石2aとの相対的な形状および位置関係により第1永久磁石2aに発生するコギングトルクの少なくとも一部を相殺する。より具体的には、コギングトルク相殺部8は、例えば、ステータ6の放射状に延びるティース6aの先端位置と第2永久磁石4aの内周面との間のギャップを調整することで、第1永久磁石2aに発生するコギングトルクの少なくとも一部を相殺する。なお、コギングトルク相殺部8が第1永久磁石2aに発生するコギングトルクを相殺する具体的な手段は、後述するように、上述したギャップの調整には限定されない。また、本明細書において、「相殺」とは、移動体5により第1永久磁石2aに生じたコギングトルクを別の部材に生じるコギングトルクによって相殺する場合と、第1永久磁石2aに生じるコギングトルク自体を低減する場合とを含む趣旨である。

[0057] ここで、コギングトルクとは、移動体5と第1回転体2の第1永久磁石2aとの相対的な形状および位置関係によって発生するものであり、移動体5の一側面に発生する渦電流とは無関係である。移動体5の移動速度によらず、コギングトルクは一定になる。コギングトルクは、磁性体である移動体5

と第1回転体2の第1磁石との吸着力の不均一性が原因となって発生する。すなわち、第1回転体2の第1永久磁石2aは周方向に複数の磁極2bを有するため、第1回転体2の回転角度や回転位置によって、移動体5への吸着力に強弱が生じ、これが原因となってコギングトルクが発生する。

[0058] 図6は第1回転体2の1周分のコギングトルクを表すグラフである。図6の横軸は第1回転体2の回転角度 ϕ (°)、縦軸はコギングトルク $T_{\text{cog, harv}}$ (Nmm)である。図6のグラフは、第1回転体2の第1永久磁石2aが周方向に等しい長さの4つの磁極2bを有する例を示している。図6からわかるように、コギングトルクは、90°ごとに1周期の波形であり、移動体5の一側面と第1回転体2の一側面とが重なり合う領域におけるN極とS極との割合が等しいときがコギングトルクがゼロとなる。移動体5の一側面と第1回転体2の一側面とが重なり合う領域におけるN極の割合が最大、またはS極の割合が最大のときがコギングトルクの絶対値が最大になる。

[0059] コギングトルクは、第1回転体2だけでなく、第2回転体4にも発生する。第2回転体4のコギングトルクは、ステータ6との相対的形狀および位置関係によって変化する。

[0060] コギングトルク相殺部8は、理想的には、(1)式に示すように、第1回転体2のコギングトルク $T_{\text{cog, harv}}(\phi)$ を、第2回転体4のコギングトルク $T_{\text{cog, gen}}(\phi)$ により、完全に相殺してゼロにする。

[0061] $T_{\text{cog, gen}}(\phi) + T_{\text{cog, harv}}(\phi) = 0 \quad \dots (1)$

[0062] よって、第2回転体4のコギングトルク $T_{\text{cog, gen}}(\phi)$ は、理想的には、 $T_{\text{cog, gen}}(\phi) = -T_{\text{cog, harv}}(\phi)$ である。

[0063] 次に、コギングトルク相殺部8の処理動作について詳述する。以下では、ステータ6の放射状に延びるティース6aの先端位置と第2回転体4の内周面とのギャップを調整して、第1回転体2のコギングトルクを相殺する例を説明する。

[0064] FEM (Finite Element Method) シミュレーションや解析的導出法によりコギングトルクを解析するには、(2)式に示すように、コギングトルク T_c

$\text{og}(\phi)$ をフーリエ展開する。

$$[0065] \quad T_{\text{cog}}(\phi) = c_1 \sin(4\phi) + d_1 \cos(4\phi) + c_2 \sin(8\phi) + d_2 \cos(8\phi) + \dots$$

$$(2)$$

[0066] ここで、(2)式の ϕ はロータ3の回転角度である。図6に示した波形で、かつ(1)式を満たすコギングトルクを得るには、(2)式の右辺の第1項以外はゼロにする必要がある。

[0067] 図7は第2回転体4とステータ6を含んで構成された発電機12の二次元FEMシミュレーションの結果を示す図である。図7は、第1回転体2に発生したコギングトルクを相殺できるようなコギングトルクを第2回転体4に発生させるために、ステータ6のティース6aと第2回転体4とのギャップを調整した例を示している。

[0068] 図7のギャップ $g(\theta)$ は、以下の(3)式で表される。

$$[0069] \quad g(\theta) = g_{\text{nom}} \cdot (1 + a_1 \cos(4\theta)) \quad \dots (3)$$

[0070] ここで、 θ は、図7に示すように、ステータ6の所定の基準方向からの角度である。

[0071] (3)式に、以下の(4)式の項を追加することで、エアギャップ変調の概念を採り入れることができる。

[0072] [数1]

$$g(\theta) = g_{\text{nom}} \cdot \left(1 + \sum_{i=1}^n a_i \cos(4i\theta) + b_i \sin(4i\theta)\right) \quad \dots (4)$$

[0073] この(4)式は、エアギャップを最適化するためのベースとなる。コギングトルク $T_{\text{cog}}(\phi)$ は、結果的に以下の(5)式で表される。

[0074] [数2]

$$T_{\text{cog}}(\phi) = \sum_{i=1}^n c_i \sin(4i\phi) + d_i \cos(4i\phi) \quad \dots (5)$$

[0075] 図8Aはステータ6と第2回転体4とのギャップを最適化する前の構造を示す平面図、図8Bはギャップを最適化した後の構造を示す平面図である。

図8Aと図8Bは、シミュレーションにより得られたステータ6の構造を示している。図8Bのステータ6のティース6aの先端位置の形状は、図8Aとは相違しており、これにより、ギャップを最適化している。

[0076] 図8Bの構造をシミュレーションにより生成するにあたって設定した各種のパラメータは、図9の通りである。図9に示したパラメータ以外に、ステータ6のティース6aの幅 α_{FE} と第2永久磁石4aの磁極2b間の間隔 α_{PMg} を α_{PMg} を図8Bの構造を計算するためのパラメータとして用いた。

[0077] 図10はステータ6のティース6a先端と第2回転体4とのギャップを最適化するアルゴリズムを示すフローチャートである。まず、予め選択した形状の発電機12の幾何学的パラメータ (geometry parameters) を初期化する (ステップS1)。次に、二次元FEMシミュレーションにて、回転角度 ϕ の関数としてコギングトルクを計算することで、発電機12の構成を評価する (ステップS2)。その後、コギングトルクが目標値に到達するまで、幾何学的パラメータの更新を繰り返す (ステップS3、S4)。

[0078] シミュレーションの不確実性により、全体的なコギングトルクが(1)式のようなゼロにはならない場合もありうる。このため、ステップS3では、以下の(6)式に従って、コギングトルクの残値 $T_{cog, rem}$ とコギングトルクの残値割合 $T_{cog, rem} / T_{cog, harv}$ を計算する。

[0079] $T_{cog, rem} = T_{cog, harv} - T_{cog, gen} \quad \dots (6)$

[0080] 上述したステップS3では、残値割合 $T_{cog, rem} / T_{cog, harv}$ が δ 未満か否かを判定する。一例として、 $\delta = 0.1$ に設定される。 $\delta = 0.1$ であれば、全体的なコギングトルクを90%まで削減することができる。ステップS3がNOであれば、幾何学的パラメータを更新して (ステップS4)、ステップS2以降の処理を繰り返す。ステップS3がYESであれば、図10の処理を終了する。

[0081] なお、第1回転体2のコギングトルク $T_{cog, harv}$ と第2回転体4のコギングトルク $T_{cog, gen}$ は、連続的な変数 ϕ の関数である。このため、本質的に最適化処理を行うのは困難である。そこで、上述した(5)式によるコギング

トルクの分解を行って、以下の（７）式に示すコギングトルクの高調波成分のベクトル c を求める。

[0082] [数3]

$$c = [c_1 \quad d_1 \quad \dots \quad c_m \quad d_m]^T \quad \dots (7)$$

[0083] 同様の分解が第 1 回転体 2 のコギングトルク $T_{cog, harv}$ に対しても行われ、結果的に上述した（６）式は、以下の（８）式のように書き直すことができる。

[0084] [数4]

$$c_{rem} = c_{harv} - c_{gen} \quad \dots (8)$$

[0085] 一方、発電機 1 2 の幾何学的パラメータは、以下の（９）式のベクトル a で表すのが都合がよい。

[0086] [数5]

$$a = [\alpha_{FE} \quad \alpha_{PMgap} \quad b_1 \quad \dots \quad a_n \quad b_n]^T \quad \dots (9)$$

[0087] 上述した（３）式の変調係数 a_1 は、最適化の最中には更新されず、外観上の幾何学的パラメータ（external geometry parameter）として用いられる。一例として、 $a_1 = 0.5$ に設定される。

[0088] 幾何学的パラメータの更新には、多次元ニュートン–ラプソン法（multi-dimensional Newton–Raphson Method）に関連した多次元割線法（multi-dimensional Secant Method）が用いられる。ただし、本実施形態では、誤差関数（この場合 c_{rem} ）をゼロにするための以下の（１０）式で示すヤコビアン行列の近似として、上述した割線法を用いる。

[0089]

[数6]

$$\frac{\partial c_i}{\partial a_j} \approx \bar{J} = \begin{bmatrix} \frac{\Delta c_1}{\Delta \alpha_{FE}} & \dots & \frac{\Delta c_1}{\Delta b_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\Delta d_m}{\Delta \alpha_{FE}} & \dots & \frac{\Delta d_m}{\Delta b_n} \end{bmatrix} \quad \dots (10)$$

[0090] (10) 式のヤコビアン行列の例えば第1列を求めるには、パラメータ α_{FE} を可変させてシミュレーションが行われる。

[0091] (10) 式のヤコビアン行列の第1列の値として、上述した(8)式のコギングトルク分解の差分 c_{gen} が用いられる。この処理は、幾何学的パラメータ a における全要素に対して行われ、これにより、ヤコビアン行列の全要素が得られる。

[0092] 次に、以下の(11)式に示すように、コギングトルクの残値 c_{rem} が十分に小さくなるまで、幾何学的パラメータ a の更新が繰り返し行われる。

[0093] [数7]

$$a_{i+1} = a_i - d_{damping} \bar{J}^+ c_{rem} \quad \dots (11)$$

[0094] 幾何学的パラメータ a の更新には、以下の(12)式に示すように、ヤコビアン行列の近似的な一般逆行列が用いられる。これは、ヤコビアン行列の逆行列が存在しないこともありうるためである。

[0095] [数8]

$$\bar{J}^+ := (\bar{J}^T \bar{J})^{-1} \bar{J}^T \quad \dots (12)$$

[0096] 最適化問題の非線形性により、ダンピング要素 $d_{damping}$ が更新処理で用いられる。例えば、 $d_{damping} = 0.2$ のときに、良好な収束結果が得られた。

[0097] 本実施形態では、三相のアウトラナ型の発電機12に対して、コギングトルクの最適化を行った。図10のフローチャートに従ってステータ6の形

状を最適化することにより、図8Bのような構造のステータ6が得られた。

[0098] 図11は、ステータ6の周方向に配置された3つのティース6aの幅および間隔を横軸とし、ティース6a先端と第2回転体4とのギャップを縦軸にした図である。ステータ6の形状がわずかに変更されている一方、永久磁石間のギャップ (α_{PMgap}) が大きく増加している。初期状態と最適化後の幾何学的パラメータの対比結果は、図12に示されている。

[0099] 図13は最適化処理を行っている最中にコギングトルクが変化する様子を示す図である。図13からわかるように、最適化処理を行うことで、コギングトルクは次第に所望のサイン波に収束していく。なお、本実施形態によるアルゴリズムを用いれば、コギングトルクを、サイン波に限らず、所望の波形に最適化することができる。

[0100] 図14は、第1回転体2のコギングトルク $T_{cog, harv}$ と、上述した手法で最終的に得られた第2回転体4のコギングトルク $T_{cog, gen}$ とを比較した図である。図14からわかるように、 $T_{cog, harv}$ と $T_{cog, gen}$ はほぼ位相が逆になっており、この結果、全体的なコギングトルクを約90%削減することができた。

[0101] このように、本実施形態では、移動体5の移動または回転により移動体5の一側面に生じた渦電流による磁束と、移動体5の一側面に対向配置される第1回転体2の第1永久磁石2aの磁束との誘引力および反発力により、第1回転体2を回転させることができる。そして、本実施形態では、第1回転体2と一体に回転する第2回転体4を設け、第2回転体4の内周側に配置されるステータ6のティース6a先端と第2回転体4の内周面とのギャップを調整することで、第1回転体2の回転により生じるコギングトルクとほぼ逆位相のコギングトルクを第2回転体4にて発生させ、両者を相殺させることで、全体的なコギングトルクをゼロ近くにまで低減できる。これにより、移動体5が停止状態から徐々に移動または回転速度を上げる場合に、移動または回転速度が低い状態から第1回転体2を回転させることができ、移動体5の移動または回転による運動エネルギーを効率よく抽出して、電気エネルギーに

変換でき、発電効率を向上できる。

[0102] (第2の実施形態)

上述した第1の実施形態では、第1回転体2と一体に回転する第2回転体4とステータ6とを用いて、第1回転体2に生じるコギングトルクを第2回転体4に生じるコギングトルクで相殺する例を説明したが、コギングトルクを相殺する具体的な手段は、第1の実施形態で説明したものに限定されない。

[0103] 第2の実施形態は、第2回転体4とステータ6を用いる代わりに、第1回転体2に一部が重なり合うように配置されるヨーク15を用いて、第1回転体2に生じるコギングトルクを相殺するものである。

[0104] 図15Aと図15Bは第2の実施形態の概念を説明する図である。図15Aと図15Bは第1回転体2に対して移動体5とは点対称にヨーク15を配置する例を示している。図15Aの場合、移動体5と第1回転体2とが重なり合う領域では、N極よりもS極の方が面積的に大きく、反時計回りのコギングトルクが発生する。また、移動体5と第2回転体4とが重なり合う領域でも、N極よりもS極の方が面積的に大きいいため、やはり反時計回りのコギングトルクが発生する。よって、ヨーク15がない場合よりも、さらに反時計回りのコギングトルクが大きくなる。この場合、ヨーク15によって第1回転体2のコギングトルクを相殺することはできない。

[0105] 一方、図15Bの場合、移動体5と第1回転体2とが重なり合う領域では、N極とS極の面積がほぼ等しい。同様に、移動体5と第2回転体4とが重なり合う領域でも、N極とS極の面積がほぼ等しい。よって、ヨーク15の有無にかかわらず、図15Bの場合は、安定状態となり、第1回転体2は図15Bの状態です定的に停止する。

[0106] このように、図15Aや図15Bのようにヨーク15を配置しても、第1回転体2のコギングトルクを相殺することはできず、ヨーク15を配置したことにより、却って第1回転体2は回転しにくくなってしまふ。

[0107] 一方、図16Aは、第1回転体2の移動体5と重なり合っている領域以外

のほぼすべての領域でヨーク15と重なり合うようにした例を示している。ヨーク15の磁気特性すなわち透磁率が移動体5の磁気特性と同じで、かつ第1回転体2とヨーク15とのギャップが移動体5と第1回転体2とのギャップと等しい場合、第1回転体2の回転角度によって磁路の磁気抵抗が変化しなくなるため、第1回転体2に生じるコギングトルクが低減される。この例は、移動体5により第1回転体2に生じるコギングトルクを相殺するというよりは、第1回転体2にコギングトルク自体が発生しなくなる。

[0108] 図16Bは、複数のヨーク15を用いて、移動体5により第1回転体2に生じるコギングトルクを相殺するように、各ヨーク15の配置場所を最適化する例を示している。図16Bでは、2つのヨーク15を用いているが、ヨーク15の個数、形状、透磁率等の磁気特性を最適化するのが望ましい。最適化には、第1の実施形態と同様にシミュレーションを用いればよい。

[0109] 図16Aのヨーク15と図16Bのヨーク15がそれぞれコギングトルク相殺部8を構成している。図16Aのヨーク15は、上述したように、第1回転体2に発生するコギングトルク自体を低減するものであるが、ヨーク15がないとした場合の移動体5により第1回転体2に生じたコギングトルクを、ヨーク15を設けることで相殺して、結果的に、第1回転体2に発生するコギングトルク自体を低減している。したがって、図16Aのヨーク15も、コギングトルク相殺部8として機能している。

[0110] このように、第2の実施形態では、第1回転体2の第1永久磁石2aに少なくとも一部が重なり合うようにヨーク15を配置することで、第1回転体2にコギングトルク自体が発生しないようにしたり、あるいは移動体5により第1回転体2に生じるコギングトルクをヨーク15にて相殺することができる。

[0111] (第3の実施形態)

第3の実施形態は、第1回転体2とは別個の第2回転体4を設けて、第1回転体2と第2回転体4をともに、移動体5に近接配置するものである。

[0112] 図17は第3の実施形態の概念を説明する図である。第3の実施形態によ

るコギングトルク相殺部 8 は、図 17 に示すように、第 2 回転体 4 と、同期回転機構とを有する。第 2 回転体 4 は、移動体 5 の一主面上に離隔して対向配置され、移動体 5 の回転または移動方向に応じて所定の回転軸回りに回転する第 2 永久磁石 4 a を有する。同期回転機構は、第 1 回転体 2 と第 2 回転体 4 とを同期して回転させる。同期回転機構の一例は、第 1 回転体 2 と第 2 回転体 4 の回転軸同士を掛け渡すタイミングベルト 16 である。同期回転機構は、必ずしもタイミングベルト 16 に限定されず、歯車などでもよい。

[0113] 図 17 に示すように、第 2 回転体 4 は、第 1 回転体 2 と同様に、移動体 5 に重なり合うように配置されている。図 17 の例では、第 1 回転体 2 と移動体 5 とが重なり合う領域には N 極と S 極が等面積ずつ含まれているのに対して、第 2 回転体 4 と移動体 5 とが重なり合う領域には S 極が N 極よりも多く含まれている。すなわち、第 1 回転体 2 とは 45° ずらして第 2 回転体 4 が配置されている。これにより、移動体 5 により第 1 回転体 2 に生じるコギングトルクを、移動体 5 により第 2 回転体 4 に生じるコギングトルクにて相殺することができる。

[0114] なお、第 1 回転体 2 と第 2 回転体 4 の径サイズや磁極数、磁気特性、移動体 5 とのギャップは、共通にするのが望ましい。また、図 17 では、並進運動する移動体 5 の例を示しているが、移動体 5 は回転運動をしてもよい。

[0115] このように、第 3 の実施形態では、第 1 回転体 2 と第 2 回転体 4 を移動体 5 に重ね合わせて配置し、かつ第 1 回転体 2 と第 2 回転体 4 とが一体に回転するようにし、かつ第 1 回転体 2 の磁極 2 b の配置方向と第 2 回転体 4 の磁極 2 b の配置方向とを互いに相違させるため、移動体 5 により第 1 回転体 2 に生じたコギングトルクを、第 2 回転体 4 に生じたコギングトルクにより相殺することができる。

[0116] (第 4 の実施形態)

上述した第 1 ～ 第 3 の実施形態では、移動体 5 の一側面 5 c を第 1 回転体 2 の第 1 側面 2 d に対向配置する例を示したが、移動体 5 と第 1 回転体 2 との配置は上述したものに限定されない。上述したコギングトルク相殺部 8 は

、移動体5の移動または回転により第1回転体2にコギングトルクが発生する種々の回転電機10に適用可能である。上述したコギングトルク相殺部8を取り付けることが可能な回転電機10の例としては、例えば以下のようなものがある。

[0117] 図18Aはコギングトルク相殺部8を取り付けることが可能な回転電機10の第1例を示す図である。図18Aの非接触発電機1は、回転軸周りに回転する第1永久磁石2aと、2個のコイル7（第1コイル7aと第2コイル7b）と、ヨーク15とを備えている。

[0118] 第1永久磁石2aは、回転または移動する移動体5の一主面5c上に離隔して対向配置され、移動体5の回転または移動方向に応じて回転する。第1永久磁石2aは、少なくとも2個の磁極2bを有し、各磁極2bの磁化方向は、第1永久磁石2aの外周面の法線方向である。

[0119] 第1永久磁石2aの外周面2cは、移動体5の一主面5cから離隔して配置されており、第1永久磁石2aは、移動体5の一主面5cに接触することなく、回転自在とされている。図18Aの例では、2個のコイル7のうち一方の第1コイル7aは、移動体5の回転または移動方向に対して第1永久磁石2aの後方側に配置されている。2個のコイル7のうち他方の第2コイル7bは、移動体5の回転または移動方向に対して第1永久磁石2aの前方側に配置されている。第1および第2コイル7a, 7bは、移動体5の一主面5c上に離隔して配置されている。

[0120] また、図18Aの例では、第1および第2コイル7a, 7bの内部と上部には、コの字状のヨーク15が配置されている。ヨーク15と第1永久磁石2aとの間には隙間があり、同様に、第1永久磁石2aと第1および第2コイル7a, 7bとの間にも隙間がある。これら隙間はエアギャップである。よって、第1永久磁石2aは、移動体5の一主面と、第1および第2コイル7a, 7bと、ヨーク15とで囲まれる領域内で回転する。

[0121] 図18Aの位置から時計回りまたは反時計回りに90°だけ第1永久磁石2aが回転した状態では、N極またはS極が最短距離で移動体5で対向する

ことになり、最も磁路が短くなって安定した状態となる。よって、このように、図18Aの構造では、第1永久磁石2aの回転位置によって、コギングトルクが変化し、図1と同様に、移動体5が移動または回転を開始しても、なかなか第1永久磁石2aが回転しないという問題が起こりえる。よって、第1～第3の実施形態で説明した何らかのコギングトルク相殺部8を設けるのが望ましい。

[0122] なお、図18Aのコイル7は、第1永久磁石2aからの全磁束が集中する場所に配置すればよく、図18Aのコイル7の配置例は一例に過ぎない。また、ヨーク15の形状も図18Aに示すものに限定されない。

[0123] 例えば、図18Bはコギングトルク相殺部8を取り付けることが可能な回転電機10の第2例を示す図であり、1個のコイル7で発電を行う例を示す図である。第1永久磁石2aの上方には、ヨーク15に巻回されたコイル7が配置されている。ヨーク15は第1永久磁石2aの上方から移動体5の移動方向の両側に延びて、第1永久磁石2aを取り囲むように配置されている。コイル7は、第1永久磁石2aからの磁束のほぼすべてを鎖交させるため、必ずしも複数のコイル7を設ける必要はない。なお、コイル7を配置する場所は、第1永久磁石2aからの全磁束が集中する場所（例えば、第1永久磁石2aのN極とS極の少なくとも一方の近傍）であればよい。

[0124] 図18Bの第1永久磁石2aも、図18Aと同様に移動体5の移動によりコギングトルクが発生するため、やはり第1～第3の実施形態で説明した何らかのコギングトルク相殺部8を設けるのが望ましい。

[0125] 本発明の態様は、上述した個々の実施形態に限定されるものではなく、当業者が想到しうる種々の変形も含むものであり、本発明の効果も上述した内容に限定されない。すなわち、特許請求の範囲に規定された内容およびその均等物から導き出される本発明の概念的な思想と趣旨を逸脱しない範囲で種々の追加、変更および部分的削除が可能である。

符号の説明

[0126] 1 非接触発電機、2 第1回転体、2a 第1永久磁石、2b 磁極、

3 ロータ、4 第2回転体、6 ステータ、7 コイル、8 コギングトルク相殺部、9 a 回転軸、10 回転電機、11 運動エネルギー・ハーベスタ、12 発電機、13 駆動制御部

請求の範囲

[請求項1] 回転または移動する導体である移動体の一主面上に離隔して対向配置され、前記移動体の回転または移動方向に応じて発生するローレンツ力によって所定の回転軸回りに回転する第1永久磁石を有する第1回転体と、

前記移動体と前記第1永久磁石との相対的な形状および位置関係により前記第1永久磁石に発生するコギングトルクを低減または相殺するコギングトルク相殺部と、を備える回転電機。

[請求項2] 回転または移動する移動体の一主面上に離隔して対向配置され、前記移動体の回転または移動方向に応じて所定の回転軸回りに回転する第1永久磁石を有する第1回転体と、

前記移動体と前記第1永久磁石との相対的な形状および位置関係により前記第1永久磁石に発生するコギングトルクを低減または相殺するコギングトルク相殺部と、を備え、

前記第1回転体は、前記移動体の前記一主面上に前記第1永久磁石からの磁束の変化を妨げる方向に発生される渦電流に基づいて前記第1永久磁石に働く反発力および誘引力により、前記第1回転軸周りに回転し、

前記第1回転体の前記移動体に対向配置される前記一側面の表面速度は、対向配置される前記移動体の前記一主面の表面速度より遅い回転電機。

[請求項3] 前記コギングトルク相殺部は、前記移動体と前記第1永久磁石との相対的な形状および位置関係により前記第1永久磁石に発生するコギングトルクの逆位相のコギングトルクを発生させる、請求項1または2に記載の回転電機。

[請求項4] 前記コギングトルク相殺部は、前記第1永久磁石とは異なる第2永久磁石、または磁性体を用いて、前記コギングトルクを低減または相殺する、請求項1乃至3のいずれか一項に記載の回転電機。

- [請求項5] 前記コギングトルク相殺部は、
前記第1永久磁石とは異なる第2永久磁石を有し、前記第1回転体に同期して回転する第2回転体と、
前記第2永久磁石と磁気結合する第1磁性体と、を有する、請求項1乃至3のいずれか一項に記載の回転電機。
- [請求項6] 前記コギングトルク相殺部は、前記第2回転体と前記第1磁性体とのギャップを調整することにより、前記コギングトルクを低減する、請求項5に記載の回転電機。
- [請求項7] 前記第2回転体は、前記第1永久磁石とともに、前記回転軸回りに回転する円環部材であり、
前記第1磁性体は、前記円環部材の内周側に配置され、前記円環部材の内周面とのギャップを調整することにより、前記コギングトルクを低減する、請求項6に記載の回転電機。
- [請求項8] 前記第2永久磁石からの磁束が鎖交する位置に配置され、鎖交した磁束の変化量に応じた誘導電流を発生するコイルを備える、請求項5乃至7のいずれか一項に記載の回転電機。
- [請求項9] 前記コギングトルク相殺部は、前記第1永久磁石と磁気結合する第2磁性体を有し、
前記コギングトルク相殺部は、前記第1永久磁石と前記第2磁性体とが重なり合う領域を調整することにより、前記コギングトルクを低減する、請求項1乃至3のいずれか一項に記載の回転電機。
- [請求項10] 前記第2磁性体は、ヨークである、請求項9に記載の回転電機。
- [請求項11] 前記コギングトルク相殺部は、
前記移動体の一主面上に離隔して対向配置され、前記移動体の回転または移動方向に応じて所定の回転軸回りに回転する第2永久磁石を有する第2回転体と、
前記第1回転体と前記第2回転体とを同期させて回転させる同期回転機構と、を有し、前記移動体と重なり合う前記第2永久磁石の磁

極を、前記移動体と重なり合う前記第1永久磁石の磁極と相違させることで、前記コギングトルクを低減する、請求項1乃至3のいずれか一項に記載の回転電機。

[請求項12] 回転または移動する導体である移動体の一主面上に離隔して対向配置され、前記移動体の回転または移動方向に応じて発生するローレンツ力によって所定の回転軸回りに回転する第1永久磁石を有する第1回転体と、

前記第1回転体の回転による運動エネルギーを電気エネルギーに変換する発電部と、を備え、

前記発電部は、前記移動体と前記第1永久磁石との相対的な形状および位置関係により前記第1永久磁石に発生するコギングトルクを低減または相殺するコギングトルク相殺部を有する非接触発電機。

[請求項13] 回転または移動する移動体の一主面上に離隔して対向配置され、前記移動体の回転または移動方向に応じて所定の回転軸回りに回転する第1永久磁石を有する第1回転体と、

前記第1回転体の回転による運動エネルギーを電気エネルギーに変換する発電部と、を備え、

前記発電部は、前記移動体と前記第1永久磁石との相対的な形状および位置関係により前記第1永久磁石に発生するコギングトルクを低減または相殺するコギングトルク相殺部を有し、

前記第1回転体は、前記移動体の前記一主面上に前記第1永久磁石からの磁束の変化を妨げる方向に発生される渦電流に基づいて前記第1永久磁石に働く反発力および誘引力により、前記第1回転軸周りに回転し、

前記第1回転体の前記移動体に対向配置される前記一側面の表面速度は、対向配置される前記移動体の前記一主面の表面速度より遅い、非接触発電機。

[請求項14] 前記コギングトルク相殺部は、前記第1永久磁石とは別個に前記発

電部が有する第2永久磁石を用いて、前記コギングトルクを低減または相殺する、請求項12または13に記載の非接触発電機。

[請求項15]

前記コギングトルク相殺部は、

前記第1永久磁石とは異なる第2永久磁石を有し、前記第1回転体に同期して回転する第2回転体と、

前記第2永久磁石と磁気結合する第1磁性体と、を有し、

前記発電部は、前記第2永久磁石からの磁束が鎖交する位置に配置され、鎖交した磁束の変化量に応じた誘導電流を発生するコイルを有する、請求項12乃至14のいずれか一項に記載の非接触発電機。

[請求項16]

前記コギングトルク相殺部は、前記第1永久磁石と磁気結合する第2磁性体を有し、

前記コギングトルク相殺部は、前記第1永久磁石と前記第2磁性体とが重なり合う領域を調整することにより、前記コギングトルクを低減する、請求項12乃至14のいずれか一項に記載の非接触発電機。

[請求項17]

前記コギングトルク相殺部は、

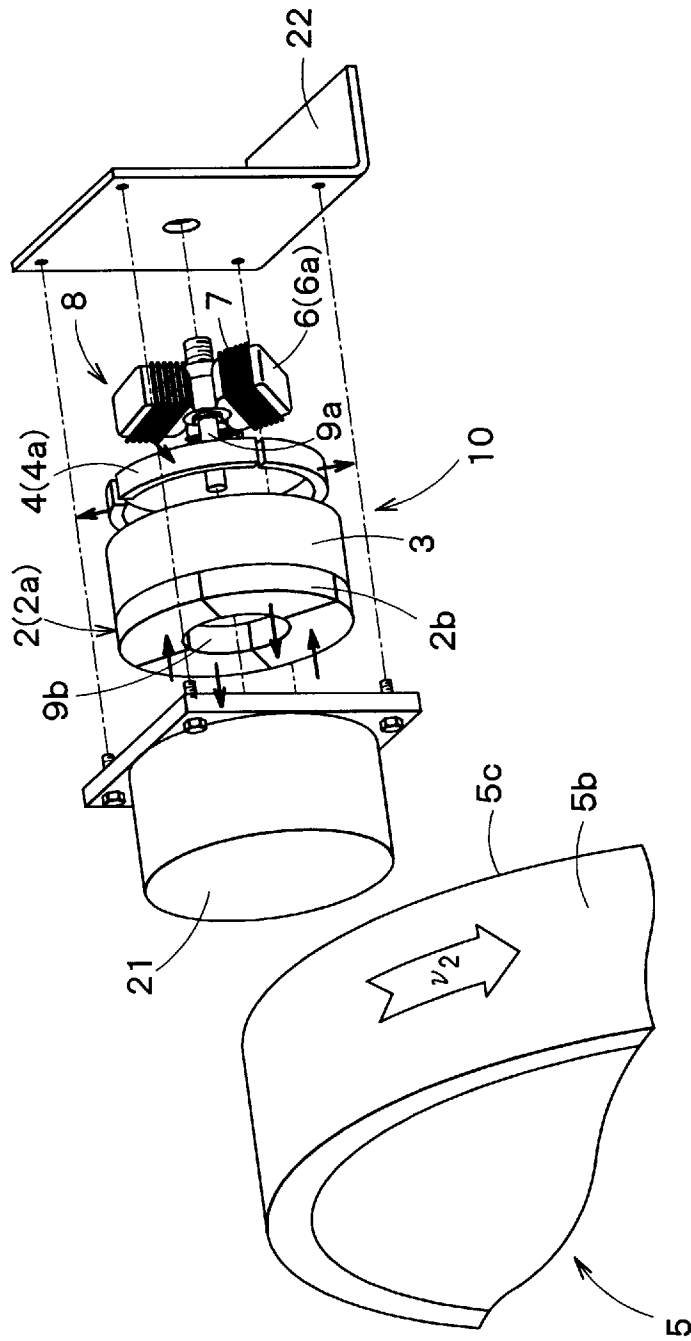
前記移動体の一主面上に離隔して対向配置され、前記移動体の回転または移動方向に応じて所定の回転軸回りに回転する第2永久磁石を有する第2回転体と、

前記第1回転体と前記第2回転体とを同期させて回転させる同期回転機構と、を有し、前記移動体と重なり合う前記第2永久磁石の磁極を、前記移動体と重なり合う前記第1永久磁石の磁極と相違させることで、前記コギングトルクを低減する、請求項12乃至14のいずれか一項に記載の非接触発電機。

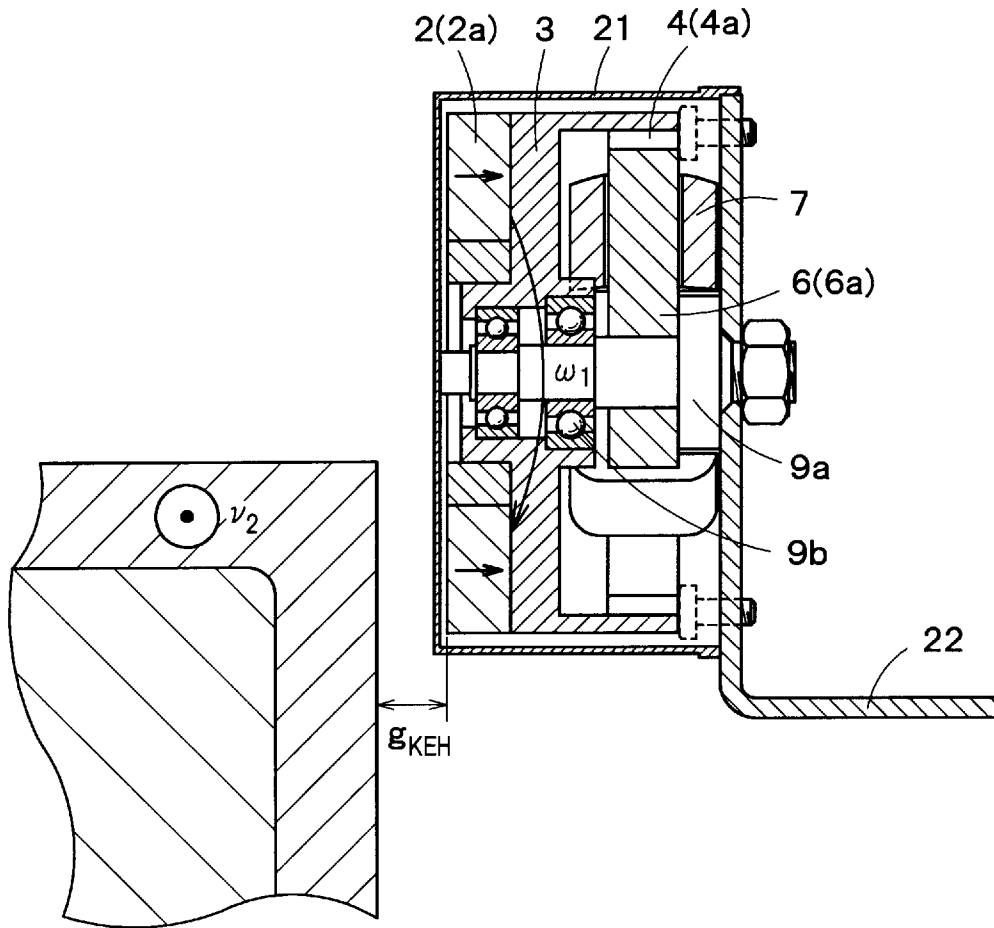
[請求項18]

前記発電部は、前記第1永久磁石からの磁束が鎖交する位置に配置され、鎖交した磁束の変化量に応じた誘導電流を発生するコイルを有する、請求項12乃至17のいずれか一項に記載の非接触発電機。

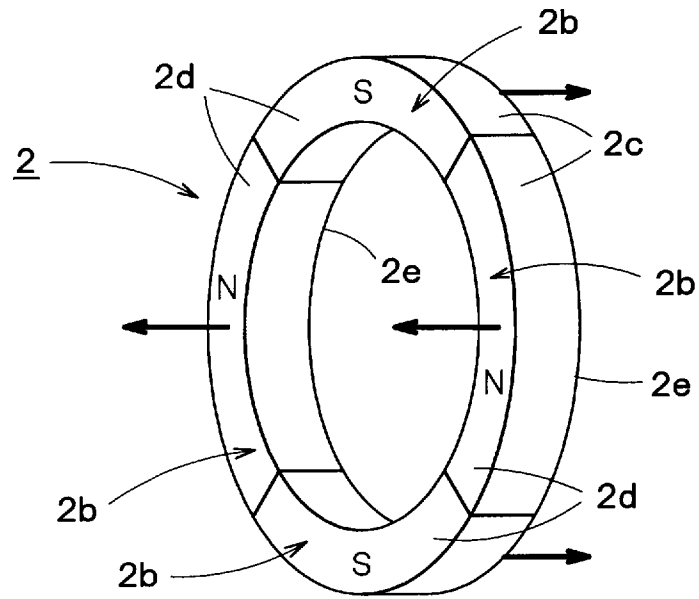
[図1]



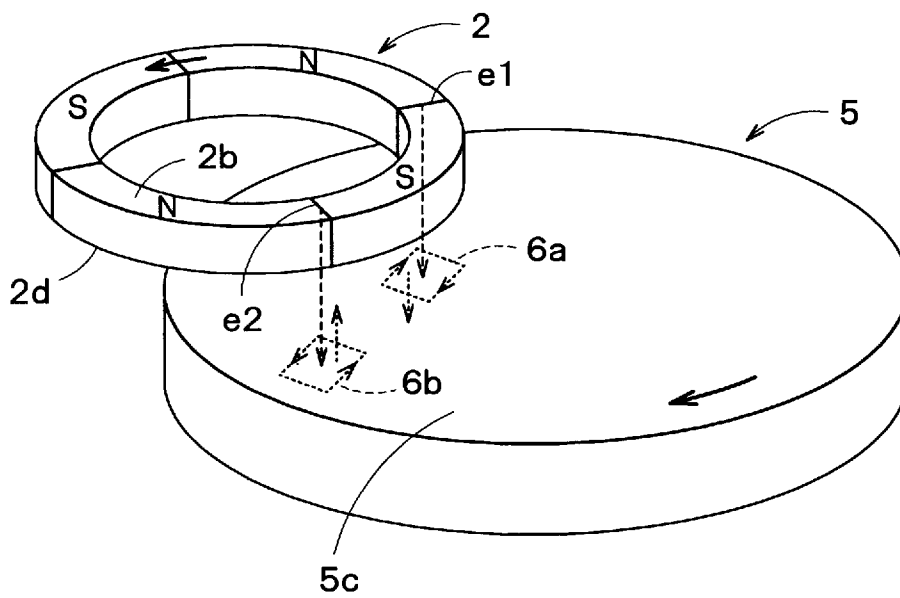
[図2]



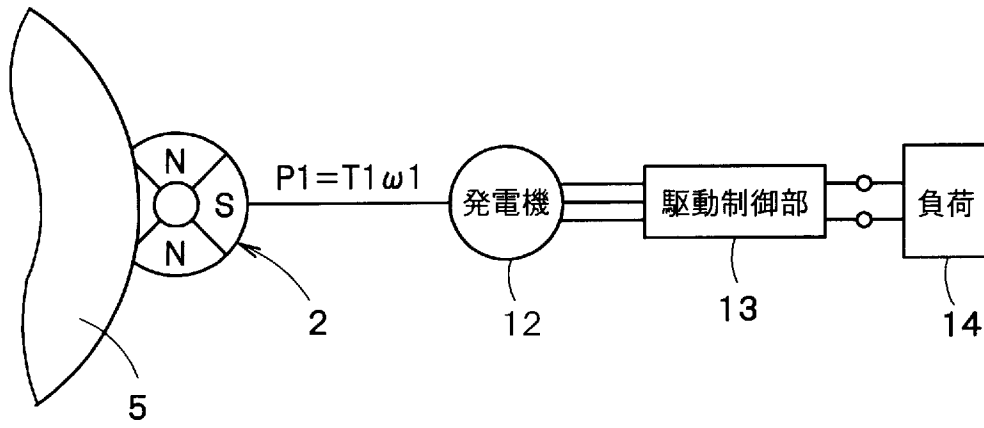
[図3]



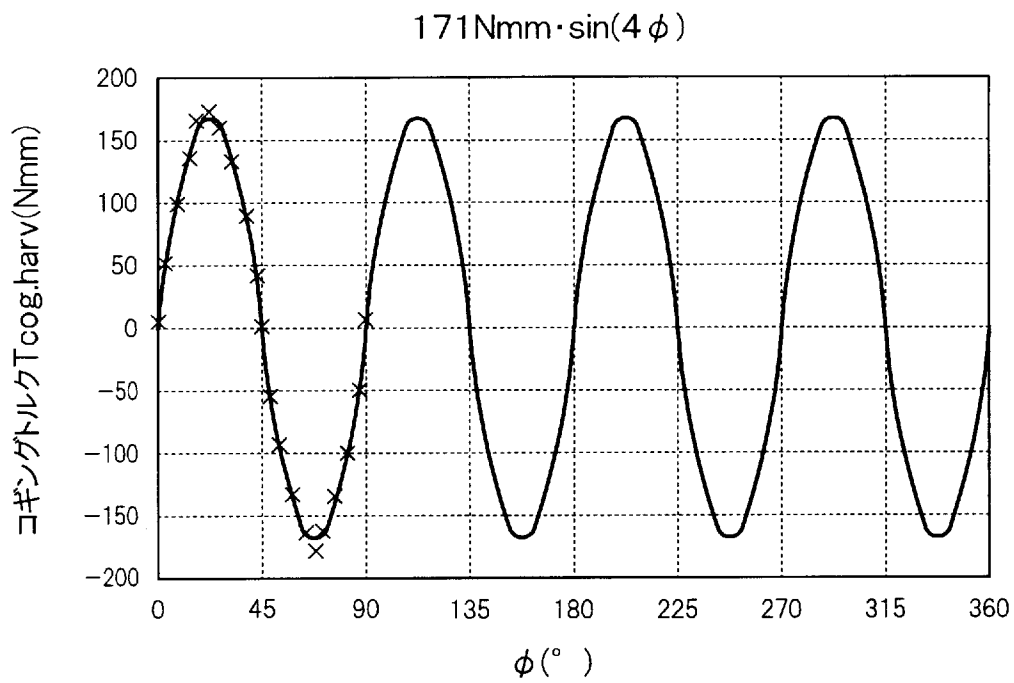
[図4]



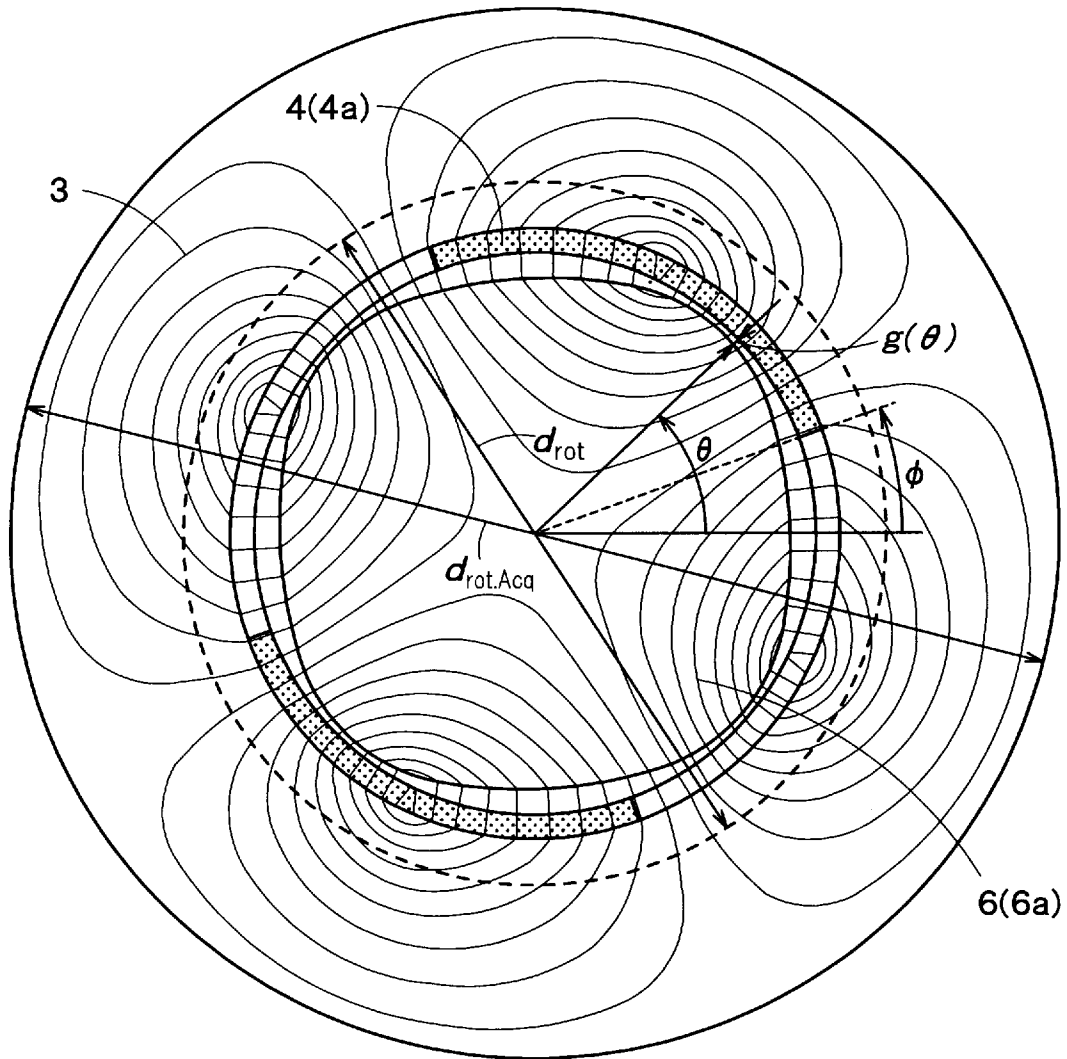
[図5]



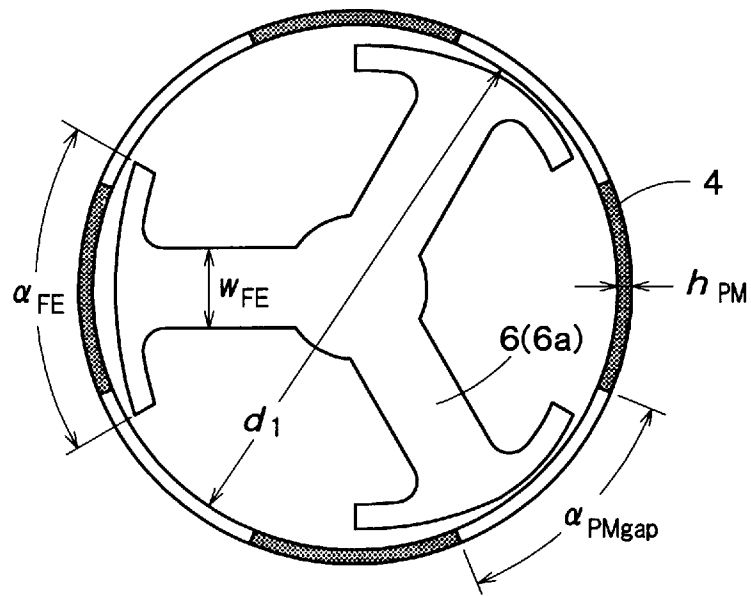
[図6]



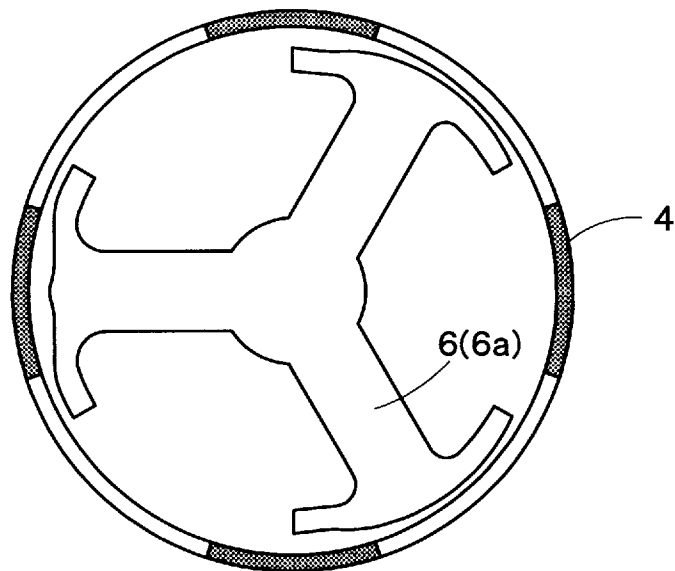
[図7]



[図8A]



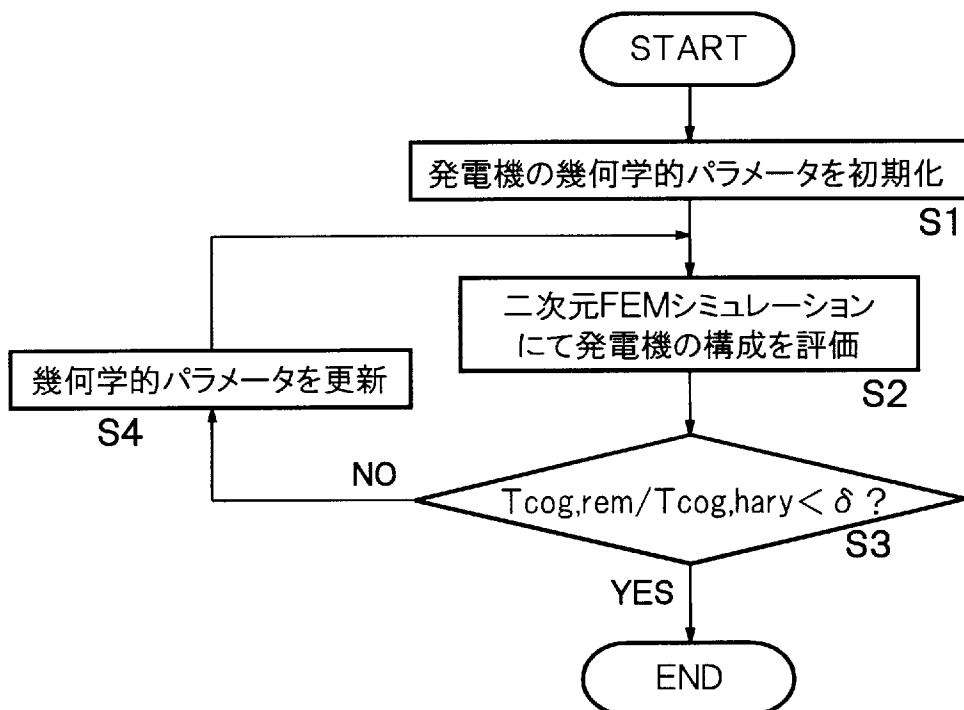
[図8B]



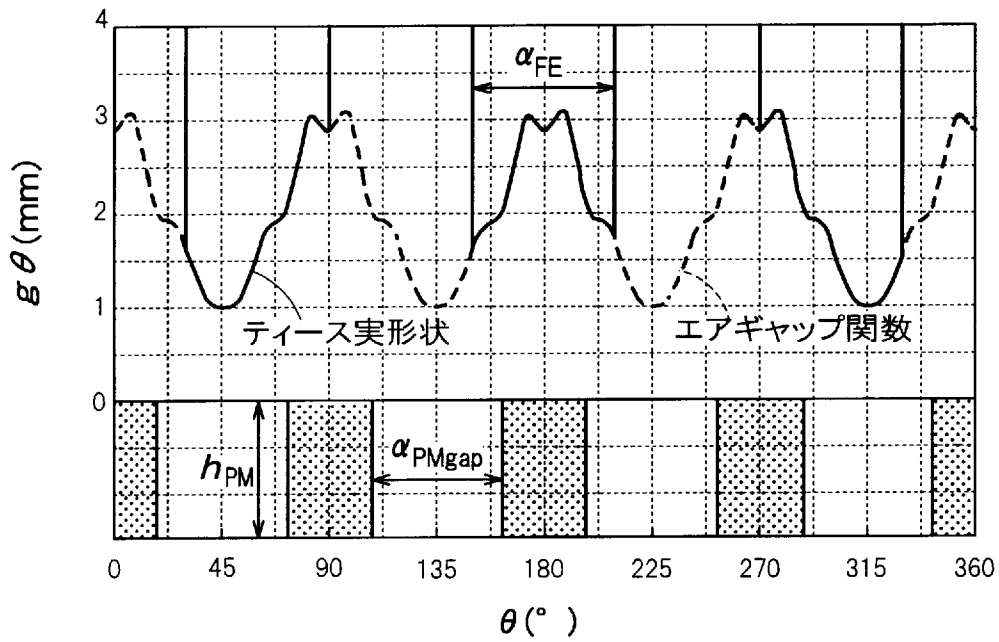
[図9]

パラメータ	変数	値
発電機の内径	d_1	67mm
第2永久磁石の高さ	h_{PM}	1.5mm
二次元ロータ直径	$d_{rot,Aeq}$	120mm
ロータ実直径	d_{rot}	75mm
ステータ材料		M235-35A
ロータ透磁率	$\mu_{rot,rel}$	700
ステータ幅	l_y	10mm
磁極対の数	p	2
位相数	m	3
公称エアギャップ	g_{nom}	2mm
第2永久磁石の残磁束密度	B_r	1.4T
第2永久磁石の透磁率	$\mu_{PM,rel}$	1.05
ステータ・ティース幅	W_{FE}	10mm

[図10]



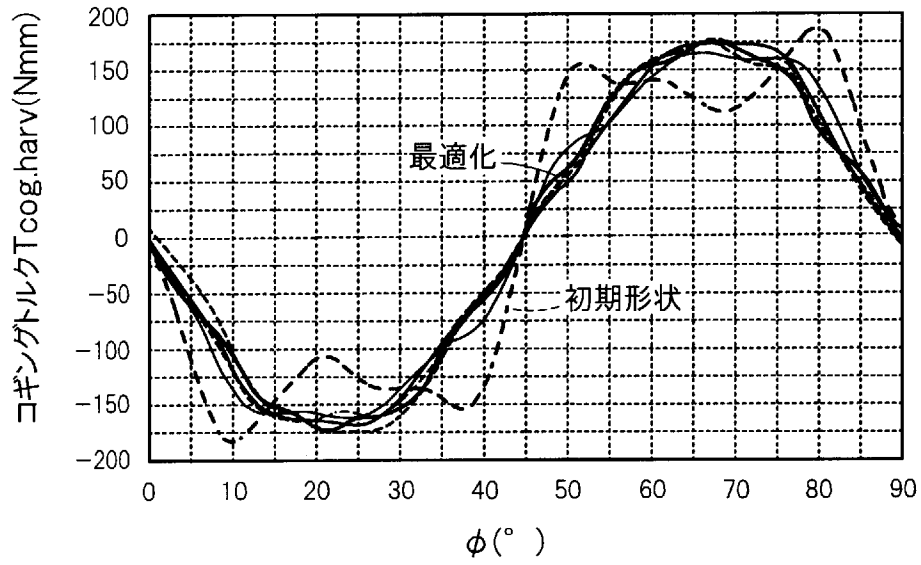
[図11]



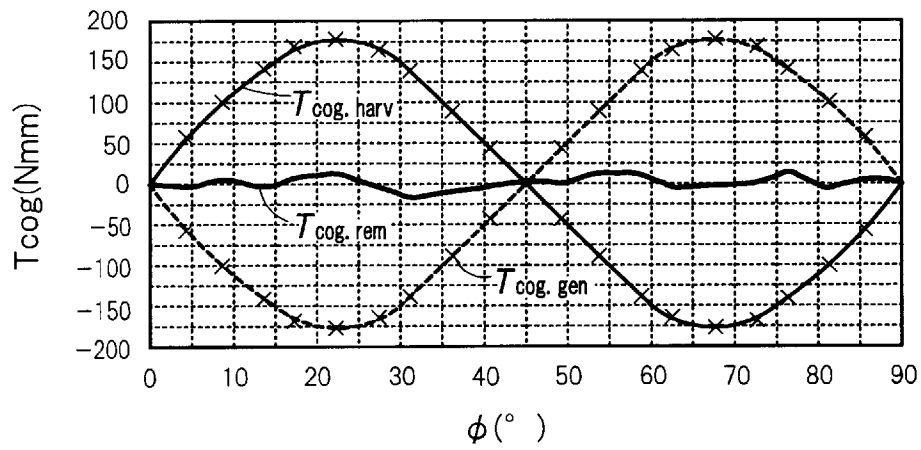
[図12]

パラメータ	初期値	最適値
α_{FE}	60°	59.7°
α_{PMgap}	45°	54.4°
a_1	0.5	0.5
b_1	0	0.0056
a_2	0	0.0245
b_2	0	0.0021
a_3	0	0.0388
b_3	0	0.0073
a_4	0	-0.0356
b_4	0	0.0057
a_5	0	-0.0657
b_5	0	0.0020
a_6	0	-0.0161
b_6	0	0.003
$a_{i>6}, b_{i>6}$	0	0

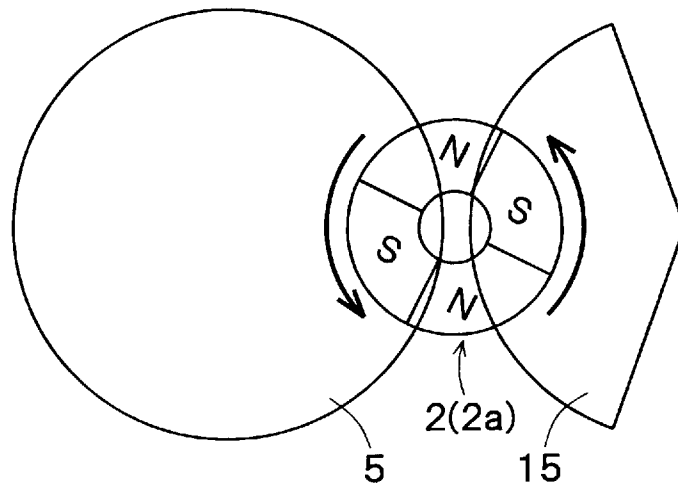
[図13]



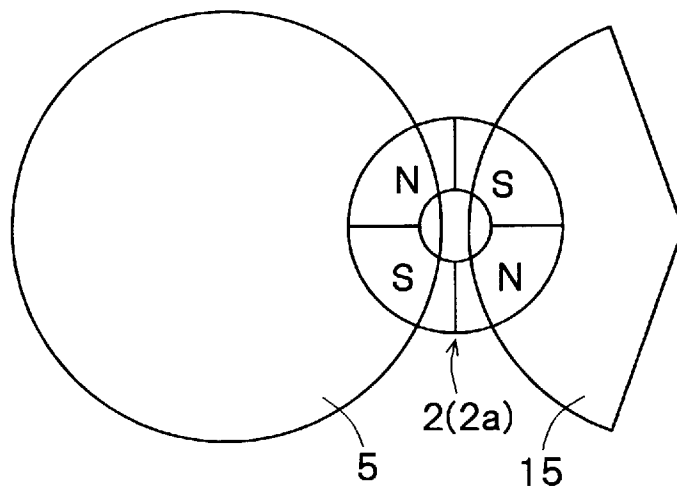
[図14]



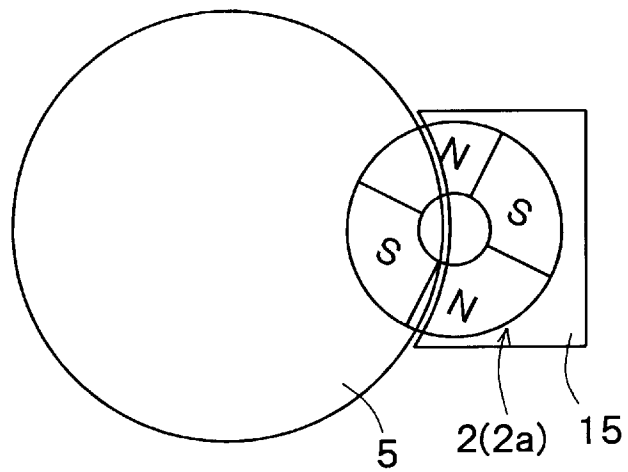
[図15A]



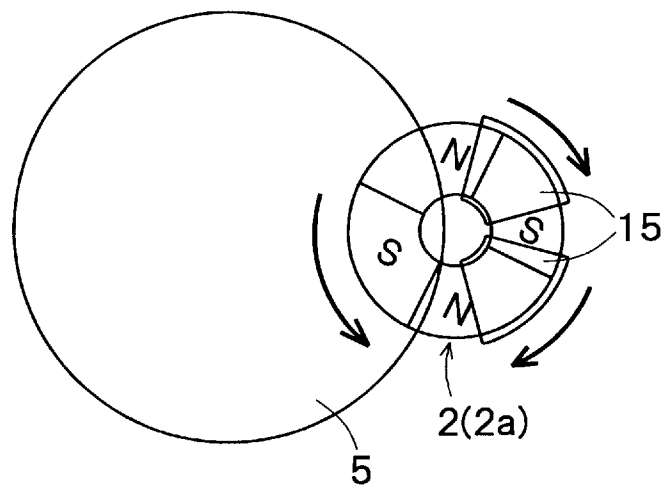
[図15B]



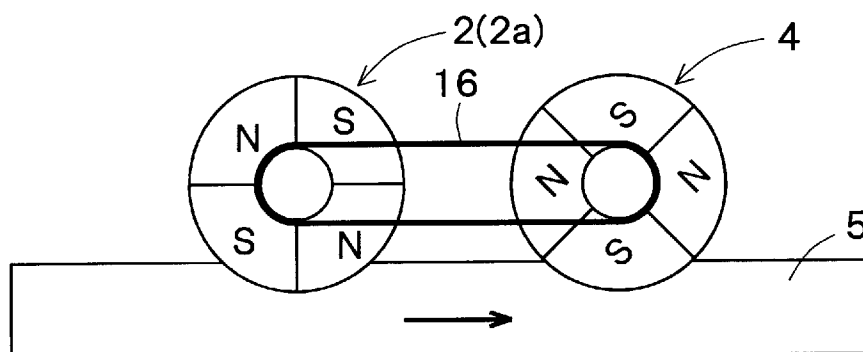
[図16A]



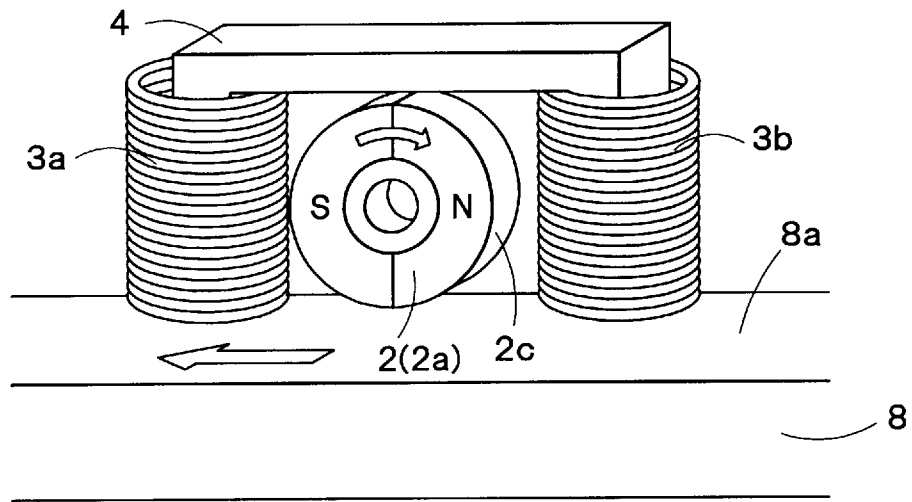
[図16B]



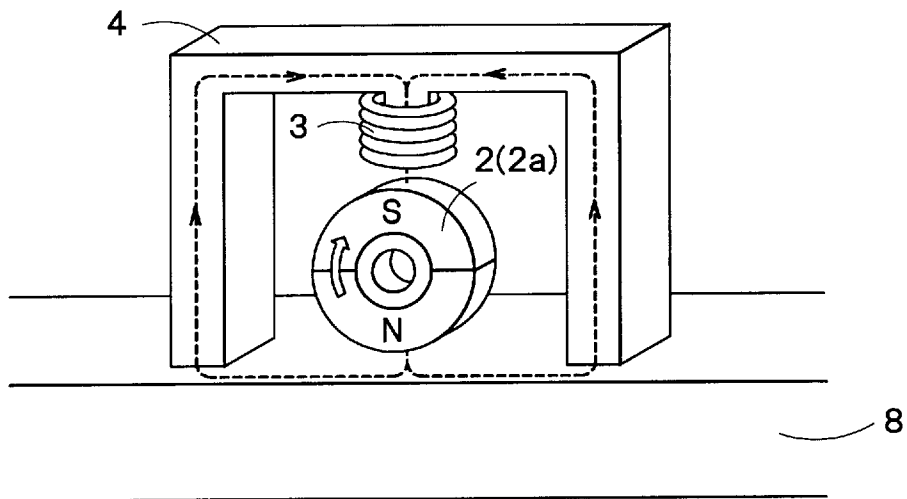
[図17]



[図18A]



[図18B]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/026167

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H02K21/22(2006.01)i, F16H49/00(2006.01)i, H02K49/02(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)
H02K21/22, F16H49/00, H02K49/02

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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 A	JP 2014-73076 A (Sunrising Eco-Friendly Technology Co., Ltd.), 21 April 2014 (21.04.2014), paragraphs [0014] to [0026] & JP 3203050 U & US 2014/0085914 A1 paragraph [0024] & EP 2713483 A2 & TW 201414143 A & TW 201429126 A & CN 103701252 A	1-5, 8, 12-15, 18 6-7, 9-11, 16-17
Y A	WO 2012/101938 A1 (Hitachi Industrial Equipment System Co., Ltd.), 02 August 2012 (02.08.2012), paragraphs [0064] to [0080] & JP 2012-157157 A & US 2013/0328429 A1 paragraphs [0086] to [0102] & CN 103339841 A	1-5, 8, 12-15, 18 6-7, 9-11, 16-17

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 04 October 2017 (04.10.17)	Date of mailing of the international search report 17 October 2017 (17.10.17)
---	--

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

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））
 Int.Cl. H02K21/22(2006.01)i, F16H49/00(2006.01)i, H02K49/02(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. H02K21/22, F16H49/00, H02K49/02

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	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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 A	JP 2014-73076 A（升▲よう▼科技有限公司）2014.04.21, 段落[0014]-[0026] & JP 3203050 U & US 2014/0085914 A1 段落[0024] & EP 2713483 A2 & TW 201414143 A & TW 201429126 A & CN 103701252 A	1-5, 8, 12- 15, 18 6-7, 9-11, 16-17

☑ 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	の日の後に公表された文献
「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	「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
「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	「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
「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）	「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
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 04.10.2017	国際調査報告の発送日 17.10.2017
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/J P） 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） 尾家 英樹 電話番号 03-3581-1101 内線 3357
	3V 9335

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
Y A	WO 2012/101938 A1 (株式会社日立産機システム) 2012. 08. 02, 段落[0064]–[0080] & JP 2012–157157 A & US 2013/0328429 A1 段落[0086]–[0102] & CN 103339841 A	1–5, 8, 12– 15, 18 6–7, 9–11, 16–17
Y A	JP 2011–254618 A (富士電機株式会社) 2011. 12. 15, 段落[0009]–[0021] (ファミリーなし)	1–5, 8, 12– 15, 18 6–7, 9–11, 16–17