

(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



(10) 国際公開番号

WO 2010/092724 A1

(43) 国際公開日  
2010年8月19日(19.08.2010)

PCT

- (51) 国際特許分類:  
H02K 19/24 (2006.01) H02K 1/24 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/070135
- (22) 国際出願日: 2009年11月30日(30.11.2009)
- (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 2009-032081 2009年2月14日(14.02.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人東北大学 (TOHOKU UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 Miyagi (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 中村 健二 (NAKAMURA Kenji) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 一ノ倉 理 (ICHINOKURA Osamu) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市

青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP).

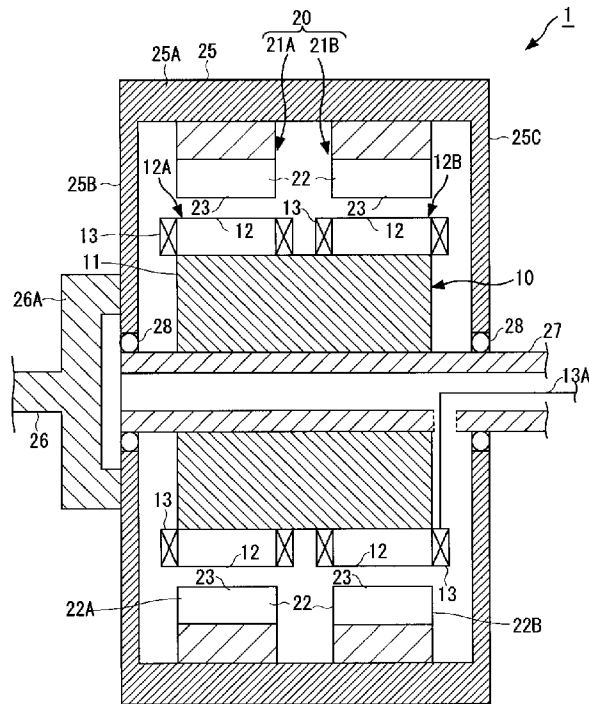
- (74) 代理人: 平山 一幸 (HIRAYAMA Kazuyuki); 〒1600022 東京都新宿区新宿2-3-10 新宿御苑ビル6階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, 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, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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,

[続葉有]

(54) Title: ELECTRICAL GENERATOR

(54) 発明の名称: 発電装置

[図1]



(57) Abstract: An electrical generator comprises a stator having a plurality of protrusions for stator poles arranged on the outer circumferential surface of the stator body, and a rotor which is so provided as to be rotatable around the stator and includes a plurality of protrusions for rotor poles. The plurality of protrusions for stator poles consists of first and second groups of protrusions for stator poles which are formed with lower height along the rotational direction or the reverse direction of the rotor and separated by a predetermined length in the axial direction, wherein the first and second groups of protrusions for stator poles are constituted in such a manner that the protrusions for stator poles are arranged at intervals in the circumferential direction. The rotor has first and second rings separated by a predetermined length in the axial direction, and first and second groups of protrusions for rotor poles where half of the plurality of protrusions for rotor poles is arranged circumferentially at intervals on the inner circumferential surface of the first and second rings, respectively. The first and second groups of protrusions for stator poles are arranged at the same phase, and the second group of protrusions for rotor poles is provided while shifted from the axis by such a mechanical angle as the electrical phase is shifted by 180 degrees from the first group of protrusions for rotor poles.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2010/092724 A1

NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, 添付公開書類:  
CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, — 国際調査報告 (条約第 21 条(3))  
TD, TG).

---

複数の固定子極用突起部を固定子本体の外周面に並んで有する固定子と、固定子の周りに回転可能に設けられ複数の回転子極用突起部を有する回転子と、からなる。複数の固定子極用突起部は、回転子の回転方向、逆方向の何れかに沿って突起の高さが低く形成されるとともに、軸方向に所定長はなれて分離した第 1 及び第 2 の固定子極用突起群からなり、第 1 及び第 2 の固定子極用突起群は、何れも固定子極用突起部を周方向に間隔をあけて並んで構成される。回転子は、軸方向に所定長はなれて分離した第 1 及び第 2 のリング部と、第 1 及び第 2 のリング部それぞれの内周面に複数の回転子極用突起部のうち半分が周状に間隔をあけて並んでなる第 1 及び第 2 の回転子極用突起群と、を有し、第 1 及び第 2 の固定子極用突起群は位相を同じにして配置し、かつ、第 2 の回転子極用突起群を第 1 の回転子極用突起群に対し電氣的な位相が 180 度ずれる機械角だけ軸に対してずらして設ける。

## 明 細 書

**発明の名称**：発電装置

**技術分野**

[0001] 本発明は、磁気回路の磁気抵抗変化を利用した可変磁気抵抗型の発電装置に関する。

**背景技術**

[0002] 近年、地球温暖化及び省エネルギー対策のため、風力発電、小水力発電、マイクロガスタービンなどの分散型発電への期待が高まっており、分散型発電のために中容量から小容量の発電機の需要が増大している。特に、風力発電用や小水力発電用の発電機では、装置を小型化する必要があるため、高価な希土類磁石が一般的に用いられている。

[0003] 一方、低速からの発電を可能とし、コギングトルクやトルクリプルを小さくするため、発電装置の構造としてコアを有しない、所謂コアレスタイプの発電装置が有望視されている。ここで、一般に、コギングトルクとは、巻線を開放した状態、即ち巻線電流が流れない状態におけるトルクの脈動のことであり、回転子を回したときに磁石と鉄心とが引き付け合うことによってコギングトルクが生じる。一方、トルクリプルとは、巻線に負荷を接続した状態、即ち巻線電流が流れる状態におけるトルクの脈動のことであり、回転子を回したときに磁石と鉄心と巻線電流による電磁力との相互作用によってトルクリプルが生じる。

[0004] 特許文献3では、巻線が巻回された突極を備えるステータと、突極を備えるロータとからなるリラクタンスモータにおいて、ステータ側の突極と、ロータ側の突極との一方の先端面の角部を面取りし、巻線のインダクタンスに大きな高調波成分が含まれないようにしている。

[0005] 特許文献4では、ステータとロータとを含み、ロータの突極部の先端を左右非対称に切り欠きを設け、この切り欠きの効果により、回生運転時のトルクリプルを低減している。

## 先行技術文献

### 特許文献

- [0006] 特許文献1：特開平6-311711号公報  
特許文献2：特開2002-262533号公報  
特許文献3：特開2000-152577号公報（請求項2、段落〔0020〕、〔0021〕）  
特許文献4：特開2006-149030号公報（要約）

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

- [0007] しかしながら、コアレスタイプの発電装置では、出力密度が小さくなるばかりか、希土類磁石などのコスト高の材料を用いているため、発電装置の低廉化が図れないという課題がある。
- [0008] 特許文献1では、2つの電機子、即ち回転子が電氣的に180度までの任意の位置関係となるよう回転機の構成が開示されているが、これは、巻線占積率の向上や励磁力を向上させるためのものに過ぎない。
- [0009] 一方、コギングトルクやトルクリプルを低減するために、特許文献2では、回転子極の傾斜スキューを用いている。しかし、傾斜スキューを用いた場合、トルクリプルを小さくできるものの、発電機の出力も低下する問題がある。
- [0010] 特許文献3に開示されているリラクタンスモータにあっては、インダクタンスの分布を正弦波とし、かつ正弦波電流で励磁すれば、トルクリプルを小さくすることは可能ではある。しかしながら、このリラクタンスモータは、スイッチトリラクタンスモータと呼ばれている種類に属するものであり、このモータを高出力、高効率で運転するためには、正弦波ではなく、矩形波電圧で励磁することが一般的である。従って、特許文献3に開示されているリラクタンスモータは、トルクリプルを小さくすることができても、出力や効率が悪いと考えられる。

[0011] 特許文献4に開示された発明によればトルクリプルをある程度減らすことができるが、原理的にゼロにすることはできない。

[0012] そこで、本発明では、発電効率を低下させずに、低トルクリプルの発電装置を提供することを目的とする。

### 課題を解決するための手段

[0013] 本発明者らは、固定子に永久磁石を埋め込んだ三相可変磁気抵抗型発電装置等の開発をしてきた経緯を踏まえ、複数の固定子構造を採用すると共に、ロータをアウター側に配置し、固定子をインナー側に配置し、固定子に磁石を取り付けることでコアを有する構造とする一方、回転子における回転子極の先端部の形状を工夫することによりトルクリプルを従来の50%以下に低減することに成功し、本発明を完成するに至った。また、固定子に埋め込む永久磁石として低コストのフェライト磁石を採用しても出力低下を招かないことができた。

[0014] 上記目的を達成するために、本発明による発電装置の第1の構成は、複数の固定子極用突起部を固定子本体の外周面に並んで有する固定子と、固定子の周りに回転可能に設けられ、複数の回転子極用突起部を有する回転子と、からなり、複数の固定子極用突起部、複数の回転子極用突起部の何れか一方は、それぞれ、回転子の回転方向、逆方向の何れかに沿って突起の高さが低くなっており、複数の固定子極用突起部は、軸方向に所定長はなれて第1の固定子極用突起群及び第2の固定子極用突起群に分離されており、第1の固定子極用突起群及び第2の固定子極用突起群は、何れも上記固定子極用突起部を周方向に間隔をあけて並べて構成され、回転子は、軸方向に所定長はなれて分離した第1のリング部及び第2のリング部と、複数の回転子極用突起部のうち半分が第1のリング部の内周面に周状に間隔をあけて並んでなる第1の回転子極用突起群と、複数の回転子極用突起部のうち半分が第2のリング部の内周面に周状に間隔をあけて並んでなる第2の回転子極用突起群と、を有しており、第1の固定子極用突起群と上記第2の固定子極用突起群とが位相を同じにして配置され、かつ、第2の回転子極用突起群が第1の回転子

極用突起群に対し電氣的な位相が180度ずれる機械角だけ軸回りにずらして設けられている。

[0015] 本発明による発電装置の第2の構成は、複数の固定子極用突起部を固定子本体の外周面に並んで有する固定子と、固定子の周りに回転可能に設けられ、複数の回転子極用突起部を有する回転子と、からなり、複数の固定子極用突起部、複数の回転子極用突起部の何れか一方は、それぞれ、回転子の回転方向、逆方向の何れかに沿って突起の高さが低くなっており、複数の固定子極用突起部は、軸方向に所定長はなれて第1の固定子極用突起群及び第2の固定子極用突起群に分離されており、第1の固定子極用突起群及び第2の固定子極用突起群は、何れも固定子極用突起部を周方向に間隔をあけて並べて構成され、回転子は、軸方向に所定長はなれて分離した第1のリング部及び第2のリング部と、複数の回転子極用突起部のうち半分が第1のリング部の内周面に周状に間隔をあけて並んでなる第1の回転子極用突起群と、複数の回転子極用突起部のうち半分が第2のリング部の内周面に周状に間隔をあけて並んでなる第2の回転子極用突起群と、を有しており、第1の回転子極用突起群と第2の回転子極用突起群とが位相を同じにして配置され、かつ、第2の固定子極用突起群が第1の固定子極用突起群に対し電氣的な位相が180度ずれる機械角だけ軸回りにずらして設けられている。

[0016] 上記第1及び第2の何れかの構成において、好ましくは、複数の回転子極用突起部は、それぞれ、回転子の回転方向に沿って突起の高さが低くなる第1のテーパ一面と回転子の回転逆方向に沿って突起の高さが低くなる第2のテーパ一面とを有する。特に、複数の回転子極用突起部の各先端部は、第1のテーパ一面と第2のテーパ一面との間に断面円弧状の突出面を有する。

[0017] 上記第1及び第2の何れかの構成において、好ましくは、複数の固定子極用突起部は、それぞれ、回転子の回転方向に沿って突起の高さが低くなる第1のテーパ一面と回転子の回転逆方向に沿って突起の高さが低くなる第2のテーパ一面とを有する。特に、複数の固定子極用突起部の各先端部は、第1のテーパ一面と前記第2のテーパ一面との間に断面円弧状の突出面を有する

。

[0018] 上記第1及び第2の何れかの構成において、好ましくは、固定子には軸を挟んで対向する位置に磁石が対をなすように設けられ、特に好ましくは、磁石は固定子の軸に対して十字方向に配置されており、当該磁石はフェライト磁石を用いることができる。

### 発明の効果

[0019] 本発明の第1の構成によれば、複数の固定子極用突起部及び複数の回転子極用突起部の何れか一方のそれぞれが回転子の回転方向、逆方向の何れかに沿って突起の高さが低くなっていること、即ち、回転子極、固定子極の何れか一方の先端部をテーパ状としたことにより、回転子が固定子の周りに同軸に回転した際、奇数次成分を有するトルク波形が生成される。しかも、第1の固定子極用突起群と第2の固定子極用突起群とが位相を同じにして配置され、かつ第1の回転子極用突起群の各突起部と第2の回転子極用突起群の各突起部とは、電気的位相のずれが180度、即ち半周期を保つように配置されているので、上記トルク波形の奇数次成分が打ち消され直流成分のみが残る。よって、トルクリプルを低減することができる。

[0020] 本発明の第2の構成によれば、複数の固定子極用突起部及び複数の回転子極用突起部の何れか一方のそれぞれが回転子の回転方向、逆方向の何れかに沿って突起の高さが低くなっていること、即ち、回転子極、固定子極の何れか一方の先端部をテーパ状としたことにより、回転子が固定子の周りに同軸に回転した際、奇数次成分を有するトルク波形が生成される。しかも、第1の回転子極用突起群と第2の回転子極用突起群とが位相を同じにして配置され、かつ第1の固定子極用突起群の各突起部と第2の固定子極用突起群の各突起部とは、電気的位相のずれが180度、即ち半周期を保つように配置されているので、上記トルク波形の奇数次成分が打ち消され直流成分のみが残る。よって、トルクリプルを低減することができる。

[0021] さらに、固定子が内側に配置され、回転子が外側に配置され、磁石や巻線が固定子に配置されているので、小型化も容易に実現できるし、コアありの

構造を採用しているので、出力の低下を招かない。特に、磁石として希土類磁石と比べて安価なフェライト磁石を用いることで、低廉化することもできる。

### 図面の簡単な説明

- [0022] [図1]本発明の第1の実施形態に係る発電装置の断面図である。
- [図2]図1に示す発電装置における固定子と回転子との関係を模式的に示し、(A)はある方向からみた斜視図、(B)は別の方向からみた斜視図である。
- [図3]図1に示す発電装置における固定子と回転子との関係を示す側面図である。
- [図4]図1に示す回転子の一部を示す側面図である。
- [図5]PMRGを二段積み上げた場合のトルク波形を示す図である。
- [図6]回転子における各突起部の一例を示す側面図である。
- [図7]図6に示す切り落とし角 $\theta$ とトルク波形との関係を示す図であり、(A)は切り落とし角 $\theta$ が $0^\circ$ の場合、(B)は切り落とし角 $\theta$ が $3^\circ$ の場合、(C)は切り落とし角 $\theta$ が $5^\circ$ の場合を示す。
- [図8]回転子における各突起部の別例を示す側面図である。
- [図9]回転子における各突起部が図8に示す形状を有する場合におけるトルク波形を示す図であり、(A)は $\lambda_1$ が4.5mm、 $\theta_1$ が $5^\circ$ である場合、(B)は $\lambda_1$ が4mm、 $\theta_1$ が $10^\circ$ である場合、(C)は $\lambda_1$ が6mm、 $\theta_1$ が $5^\circ$ である場合、(D)は $\lambda_1$ が6mm、 $\theta_1$ が $10^\circ$ である場合を示す。
- [図10]突起部の先端部が、両側にテーパ一面をそれぞれ備え中央部が湾曲面を有する場合のトルク波形を示す図である。
- [図11]第2の実施形態に係る発電装置の側面図である。
- [図12]図11に示す固定子に設けられる突起部の拡大側面図である。
- [図13]本発明の実施例において、回転数を1000rpmとしたときの最大出力時のトルク波形を示す図である。



[図14]上記実施例において、発電装置の実証実験システムを示す図である。

[図15]上記実施例において、巻線を解放した状態、即ち無負荷状態において巻線に誘起される電圧波形を示す図であり、(A)は計算波形を、(B)は観測波形を示す。

[図16]上記実施例において、各回転数における無負荷誘起電圧の実効値を示す図である。

[図17]試作した発電装置の発電特性を示す図である。

[図18]各回転数での最大出力時における効率の実測値を示す図である。

[図19]シミュレーション結果を示す図であり、(A)はフェライト磁石を採用した場合を、(B)は希土類磁石としてネオジム磁石を採用した場合を示す。

## 符号の説明

- [0023] 1 : 発電装置
- 10, 60 : 固定子
- 11, 61 : 固定子本体
- 12, 62 : 突起部 (固定子極用突起部)
- 12A, 62A : 第1の突起群 (第1の固定子極用突起群)
- 12B : 第2の突起群 (第2の固定子極用突起群)
- 13, 66 : 巻線
- 14A, 14B, 14C, 14D, 64A, 64B, 64C, 64D : 磁石
- 15 : 中空
- 20, 70 : 回転子
- 21A, 71A : 第1のリング部
- 21B : 第2のリング部
- 22, 72 : 突起部 (回転子極用突起部)
- 22A, 72A : 第1の突起群 (第1の回転子極用突起群)
- 22B, 72B : 第2の突起群 (第2の回転子極用突起群)
- 23, 63 : 突起部の先端部 23A : 突起部の中心部

- 24, 65 : 対向面
- 24A, 65A, : 第1のテーパ一面
- 24B, 65B : 第2のテーパ一面
- 24C, 65C : 湾曲面
- 24D, 24E : テーパ一面
- 24F : 突出面
- 25 : 外枠
- 25A : 円筒部
- 25B, 25C : 側部
- 26 : 動力伝達部
- 26A : 先端部
- 27 : 固定軸部
- 28 : ベアリング
- 50 : 実証実験システム
- 51 : モータ
- 52 : トルクメータ

### 発明を実施するための形態

[0024] 以下、図面を参照しながら本発明について幾つかの実施形態を示して詳細に説明する。

#### <第1の実施形態>

図1は本発明の第1の実施形態に係る発電装置1の断面図であり、図2は図1に示す発電装置1における固定子10と回転子20との関係を模式的に示し、(A)はある方向からみた斜視図、(B)は別の方向からみた斜視図である。図3は図1に示す発電装置1における固定子10と回転子20との関係を示す正面図である。

本発明の第1の実施形態に係る発電装置1では、図1乃至図3に示すように、固定子10と回転子20とを有する。固定子10は円筒形状であり、その外周曲面には周状に間隔を開けて突起部12が設けられ、突起部12にそ

れぞれ巻線 13 が装着されている。この突起部 12 を特に固定子極用突起部又は単に固定子極 12 と呼ぶことにする。回転子 20 は固定子 10 の外周曲面对向するよう同軸上で軸方向に離れて第 1 のリング部 21A と第 2 のリング部 21B とを有し、第 1 のリング部 21A 及び第 2 のリング部 21B の内周面にはそれぞれに突起部 22 が設けられている。この突起部 22 を特に回転子極用突起部又は単に回転子極 22 と呼ぶことにする。固定子 10 及び回転子 20 についての詳細な構成については後述する。

[0025] 発電装置 1 は、さらに、例えば図 1 に示すように、固定子 10 及び回転子 20 のほかに、第 1 及び第 2 のリング部 21A, 21B を保持する外枠 25 と、外枠 25 に対し動力を伝達する動力伝達部 26 と、動力伝達部 26 における軸の延長上に設けられ、かつ固定子 10 の中心軸上に配設される管状の固定軸部 27 と、を備える。

[0026] 以下、これら外枠 25、動力伝達部 26、固定軸部 27 について詳細に説明する。固定軸部 27 は管状であり、この固定軸部 27 は固定子 10 の中空部 15 に挿通されている。外枠 25 は、第 1 のリング部 21A 及び第 2 のリング部 21B よりも径の大きい円筒部 25A と軸方向の一方の側部 25B 及び他方の側部 25C とで一体構成されている。外枠 25 における側部 25B, 25C の軸上の挿通口にはベアリング 28 がそれぞれ取り付けられ、外枠 25 はベアリング 28, 28 により固定軸部 27 に対して回転可能に取り付けられている。外枠 25 における一方の側部 25B の軸上には固定軸部 27 が側部 25B の外側から近接しており、固定軸部 27 の延長線上に動力伝達部 26 が同軸上に設けられている。動力伝達部 26 の先端部 26A にはフランジが形成されており、動力伝達部 26 の先端部 26A と外枠 25 の一方の側部 25B とは、図示しない螺子などの取付具で接続されている。

[0027] 以上の構成により、風力や水力による回転力が動力伝達部 26 に伝わると、その回転力が外枠 25 に伝達され、回転子 20 を回転する一方、固定子 10 及びその中心軸に配設されている固定軸部 27 は固定されたままである。その際、外枠 25 における軸方向の一方側部 25B と動力伝達部 26 とは図

示しない螺子などの取付具により接続されているが、その外枠 25 における一方の側部 25B と他方の側部 25C にそれぞれベアリング 28, 28 を介在しているので、動力伝達部 26 の回転力が外枠 25 を経由して回転子 20 にスムーズに伝達される。

[0028] 固定子 10 の詳細な構成について説明する。固定子 10 は、円筒形状の固定子本体 11 に対し複数の突起部 12 が固定子極として固定子本体 11 の外周面に張り出すように設けられて構成されている。詳細には、固定子本体 11 の外周面において軸方向に隙間を開けて第 1 の突起群 12A と第 2 の突起群 12B とが設けられている。第 1 の突起群 12A 及び第 2 の突起群 12B の各固定子極用突起部 12 は、円筒の中心軸から所定の中心角を有するように断面略矩形状に形成されている。固定子極用突起部 12 にはそれぞれコイル状に巻線 13 が装着され、各巻線 13 が接続されている。巻線 13 は、例えば固定軸部 27 に穿設された孔を経由して固定軸部 27 の中空に配線されている。巻線 13 は図 2 (A), (B) には図示されていない。第 1 の突起群 12A、第 2 の突起群 12B を、それぞれ第 1 の固定子極用突起群、第 2 の固定子極用突起群と呼ぶことにする。

[0029] 回転子 20 の詳細な構成について説明する。回転子 20 は、固定子 10 の円筒外周面の外側で固定子 10 と同心円状に配置される。回転子 20 は、第 1 のリング部 21A と第 2 のリング部 21B とが軸方向に隙間を開けて例えば外枠 25 における円筒部 25A の内側に固定して設けられて構成される。ここで、第 1 のリング部 21A は、その内周面が固定子 10 における第 1 の固定子極用突起群 12A に対向するように設けられる。第 2 のリング部 21B は、その内周面が固定子 10 における第 2 の固定子極用突起群 12B に対向するように設けられる。第 1 のリング部 21A の内周面には複数の回転子極用突起部 22 が設けられ、第 1 のリング部 21A に設けられている複数の回転子極用突起部 22 で第 1 の突起群 22A を構成している。同様に、第 2 のリング部 21B の内周面に複数の回転子極用突起部 22 が設けられ、第 2 のリング部 21B に設けられている複数の回転子極用突起部 22 で第 2 の突

起群 2 2 B を構成している。第 1 及び第 2 のリング部 2 1 A、2 1 B の内周面に設けられた回転子極用突起部 2 2 は回転子極として作用する。第 1 の突起群 2 2 A、第 2 の突起群 2 2 B をそれぞれ第 1 の回転子極用突起群 2 2 A、第 2 の回転子極用突起群 2 2 B と呼ぶことにする。

[0030] 固定子 1 0 及び回転子 2 0 は上記のように構成されているので、回転子 2 0 が外部の動力により回転すると、第 1 の回転子極用突起群 2 2 A における各回転子極用突起部 2 2 が固定子 1 0 における第 1 の固定子極用突起群 1 2 A の各固定子極用突起部 1 2 と対向する状態、対向しない状態が生じ、同様に、第 2 の回転子極用突起群 2 2 B における各回転子極用突起部 2 2 が固定子 1 0 における第 2 の固定子極用突起群 1 2 B の各固定子極用突起部 1 2 と対向する状態、対向しない状態が生じる。よって、固定子 1 0 と回転子 2 0 とで形成される磁気回路において磁気抵抗が変化し、固定子 1 0 の各固定子極用突起部 1 2 に装着されている巻線 1 3 に誘導起電力が生じる。

[0031] ここで、回転子 2 0 における第 1 の回転子極用突起群 2 2 A と第 2 の回転子極用突起群 2 2 B との関係について説明する。第 1 の回転子極用突起群 2 2 A は第 2 の回転子極用突起群 2 2 B に対し回転中心軸に対して所定の角度だけずれている。具体的には、回転子 2 0 における第 2 の回転子極用突起群 2 2 B は、回転子 2 0 における第 1 の回転子極用突起群 2 2 A に対し、電氣的に位相が 1 8 0 度、即ち半周期ずれる機械角  $\phi$  だけ回転中心軸に対してずらして設けられている。図 2 (A)、(B) 及び図 3 に示す形態では、固定子 1 0 における第 1 の固定子極用突起群 1 2 A 及び第 2 の固定子極用突起群 1 2 B には同数の固定子極用突起部 1 2 が固定子極として設けられ、第 1 の突起群 1 2 A 及び第 2 の突起群 1 2 B における各固定子極の数  $x$  は 1 2 個であり、一方、回転子 2 0 における第 1 の回転子極用突起群 2 2 A 及び第 2 の回転子極用突起群 2 2 B には同数の回転子極用突起部 2 2 が回転子極として設けられ、第 1 の突起群 2 2 A 及び第 2 の突起群 2 2 B における各回転子極の数  $y$  は 1 6 個である。よって、図 3 に示す機械角  $\phi$  は、 $3.75^\circ$  となる。一般的には、機械角  $\phi$  は、次式で求められる。

$$\text{機械角 } \phi = 180^\circ \times |1/x - 1/y|$$

これにより、固定子 10 における第 1 の固定子極用突起群 12 A の各固定子極用突起部 12 に装着されている巻線 13 に生じる誘導起電力と、固定子 10 における第 2 の固定子極用突起群 12 B の各固定子極用突起部 12 に装着されている巻線 13 に生じる誘導起電力とは、互いに電氣的位相差が 180 度となる。ただし、図示のように、第 1 の固定子極用突起群 12 A と第 2 の固定子極用突起群 12 B とは位相を同じにして配置されていることが必要となる。

[0032] ここで、本発明の第 1 の実施形態における主要な特徴点について説明する。

第 1 に、本発明の第 1 の実施形態では、前述したように、固定子 10 において、第 1 の固定子極用突起群 12 A 及び第 2 の固定子極用突起群 12 B は同一の形状を有しており、これら第 1 及び第 2 の固定子極用突起群 12 A, 12 B はそれぞれ円筒の中心軸から所定の中心角を有するように円弧状に複数の固定子極用突起部 12 が形成されている。また、回転子 20 において、同一形状の第 1 のリング部 21 A と第 2 のリング部 21 B とは軸方向に間隔を開けて配置されている。そして、回転子 20 における第 1 の回転子極用突起群 22 A の各回転子極用突起部 22 と回転子 20 における第 2 の回転子極用突起群 22 B の各回転子極用突起部 22 は、電氣的位相が半周期である 180 度を保つように配置されている。換言すれば、固定子 10 における第 1 の固定子極用突起群 12 A と回転子 20 における第 1 の回転子極用突起群 22 A とで一段目の PMRG が構成され、固定子 10 における第 2 の固定子極用突起群 12 B と回転子 20 における第 2 の回転子極用突起群 22 B とで二段目の PMRG が構成され、一段目の PMRG と二段目の PMRG とは電氣的位相が 180 度を保つように、回転子 20 における第 1 の回転子極用突起群 22 A と第 2 の回転子極用突起群 22 B とが前述の式で求められる機械角  $\phi$  だけ同心円状に軸方向にずれている。ここで、説明上、PMRG (permanent magnet reluctance generator) とは、固定子 10 の外周面に周状に間隔

を開けて設けた複数の固定子極と、これらの複数の固定子極に対応するように回転子 20 の内周面に周状に間隔を開けて設けた複数の回転子極とのペアを呼ぶものとする。

これにより、電氣的な位相が半周期ずれている同じ形状のトルク波形を重畳することができ、トルク波形のうち基本波と奇数次の高周波成分を相殺することができる。よって、トルクリプルを低減することができる。

[0033] 第 2 に、本発明の第 1 の実施形態では、回転子 20 における各回転子極用突起部 22 が次のような形状を有する。図 4 は回転子 20 の一部を示す側面図である。図 4 には、図 3 における回転子 20 における第 1 のリング部 21 A の一部と第 1 のリング部 21 A の内周面から回転軸側に突出した回転子極用突起部 22 を一つだけ示している。第 2 のリング部 21 B も同様な構成であるので図示を省略している。

図 3 及び図 4 に示すように、回転子 20 における第 1、第 2 のリング部 21 A、21 B の内周面から張り出した各回転子極用突起部 22 の先端部 23 は、固定子 10 との対向面 24 が回転方向及び回転逆方向に沿って突起高さが低くなるようテーパ状に形成されており、しかも、固定子 10 との対向面 24 が対向面 24 の中心部 23 A において断面円弧状に形成されている。即ち、回転子 20 における各回転子極用突起部 22 の先端部 23 は、矢印で示す回転方向に沿って突起高さが低くなるように断面直線状の平面を有する第 1 のテーパ面 24 A と、矢印と逆方向の回転逆方向に沿って突起高さが低くなるように断面直線状の平面を有する第 2 のテーパ面 24 B と、第 1 のテーパ面 24 A と第 2 のテーパ面 24 B との間に設けられた湾曲面 24 C と、を有する。ここで、湾曲面 24 C は回転子 20 の回転中心軸から所定の曲率半径を有する。各回転子極用突起部 22 がこのような形状を有することにより、トルクリプルを低減することができる。その理由については後述する。

[0034] 第 3 に、本発明の第 1 の実施形態では、内側に固定子 10 を設け、固定子 10 の周りに回転子 20 を配置している。磁気回路を構成する永久磁石と巻

線 13 とを固定子 10 側に設けるようにしたので、多極構造の PMRG であっても磁石配置用スペースを十分確保することができる。例えば、固定子本体 11 には、図 3 に示すように、固定軸部 27 を挿通する中空部 15 に対して断面十字状に各磁石 14A, 14B, 14C, 14D が組み込まれている。図 3 に示す「S」及び「N」は各磁石 14A, 14B, 14C, 14D の極性を示している。各磁石 14A, 14B, 14C, 14D の配置構成について詳細に説明すると、第 1 の磁石 14A、第 2 の磁石 14B、第 3 の磁石 14C 及び第 4 の磁石 14D は中空部 15 の中心軸に対する中心角が 90 度をなすように配置されている。第 1 の磁石 14A は中空部 15 から鉛直上方に伸びるように配置されており、第 2 の磁石 14B は第 1 の磁石 14A を 90 度半時計回りに回転させた位置、即ち中空部 15 から水平横に伸びるように配置されており、第 3 の磁石 14C は中空部 15 から鉛直下方に伸びるように配置されており、第 4 の磁石 14D は中空部 15 の中心軸に対し第 2 の磁石 14B と対峙する位置に配置されている。その際、各磁石 14A, 14B, 14C, 14D は、軸方向に平行な面で相互に 90 度を成す面同士が同極となるよう配置されている。図 3 に示す例では、第 1 の磁石 14A における第 2 の磁石 14B 側の面を N 極とし、第 2 の磁石 14B における第 1 の磁石 14A 側の面を N 極とし、第 2 の磁石 14B における第 3 の磁石 14C 側の面を S 極とし、第 3 の磁石 14C における第 2 の磁石 14B 側の面を S 極とし、第 3 の磁石 14C における第 4 の磁石 14D 側の面を N 極とし、第 4 の磁石 14D における第 3 の磁石 14C 側の面を N 極とし、第 4 の磁石 14D における第 1 の磁石 14A 側の面を S 極としている。各磁石 14A, 14B, 14C, 14D における極性は逆であってもよい。なお、図 3 に示す例では、固定子 10 においてその中心軸周りに等間隔に 4 個の磁石 14A, 14B, 14C, 14D を組み付けているものの、中心軸周りに等間隔に複数の磁石を組み付けてもよい。

[0035] ここで、磁石 14A 乃至 14D の素材としてはネオジム系、フェライト系などを用いることができるが、磁石 14A 乃至 14D としてフェライト磁石



を用いても、ネオジム磁石を用いた場合と同様の発電出力及び効率を得ることができ、発電装置 1 の低廉化を図ることができる。この点については後述する。なお、固定子 10 において磁石を配置しない部位や回転子 20 は無方向性ケイ素鋼板（無方向性電磁鋼板とも呼ばれている。）で構成する。その他の部材、例えば外枠 25、動力伝達部 26 及び固定軸部 27 は非磁性体で構成すればよい。例えば外枠 25 はアルミニウム、ステンレス等で構成することができる。

[0036] <トルクリプルが低減できる理由>

本発明の実施形態では、回転子 20 における各回転子極用突起部 22 が上述のような面を対向面 24 として備えているので、トルクリプルを低減することができる。以下、この点について、開発経緯を説明しながら、詳細に説明する。

[0037] トルクリプルを低減するためには、周状に間隔を開けて固定子極を有する固定子と周状に間隔を開けて回転子極を有する回転子との組み合わせ、即ち PMRG を一段とするよりも、PMRG を軸方向に多段積み上げた構造の方が有効である。ところが、多段の PMRG とした積み上げ構造を採用すると、発電装置全体が大型化し、構造が複雑となる。そこで、固定子 10 及び回転子 20 を次のように二段積み上げ構造、即ち二段の PMRG とすることが好ましい。具体的には前述したように、固定子 10 では、同一形状の第 1 の固定子極用突起群 12 A 及び第 2 の固定子極用突起群 12 B を備え、各固定子極用突起群 12 A、12 B は円筒の中心軸に対して所定の中心角を有するように円弧状に複数の固定子極用突起部 12 を配置して構成されている。回転子 20 では、同一形状の第 1 のリング部 21 A と第 2 のリング部 21 B とが軸方向に間隔を開けて配置される。回転子 20 における第 1 の回転子極用突起群 22 A の各回転子極用突起部 22 と回転子 20 における第 2 の回転子極用突起群 22 B の各回転子極用突起部 22 は、電氣的位相のズレが 180 度を保つように配置されている。固定子 10 及び回転子 20 の組み合わせ、即ち PMRG を二段積み上げ構造とすることで、電氣的位相が半周期ずれた

同じ形状のトルク波形を重畳することができ、トルク波形のうち基本波と奇数次高調波成分を相殺することができる。よって、トルクリプルを低減することができる。

[0038] しかしながら、固定子10及び回転子20の各突起群が一段である場合のトルク波形に含まれる偶数次高調波成分は、固定子10及び回転子20の各突起群を二段に積み上げた構造を採用しても残存する。

そこで、回転子極、即ち回転子20の突起部22の形状を改良することにより、トルク波形の偶数の高調波成分を抑え、PMRGを2段積み上げた構造としたによりトルクリプルを低減することに、本発明者らは成功した。理論的なアプローチとして、この分野において最も信頼性の高い解析手法の一つである有限要素法 (Finite Element Method: FEM) による電磁場解析を行ったので、その結果を以下図5乃至8に示している。

[0039] 図5は、PMRGを二段積み上げた場合のトルク波形を示す図である。図5において横軸は回転子の位置を、縦軸はトルクをそれぞれ示す。図5から分かるように、一段目のPMRGによるトルク波形PMRG1 (点線) と二段目のPMRGによるトルク波形PMRG2 (一点破線) との電氣的位相差が180度ずれている。しかし、一段目のPMRGによるトルク波形及び二段目のPMRGによるトルク波形の頂点が中央から左右にそれぞれずれている。図中、実線で示す波形は、トルク波形PMRG1とトルク波形PMGR2とを合成した波形である。そこで、回転子極の先端部分に傾斜を持たせることで、非対向位置直前の磁気抵抗の変化をより急激にし、トルク波形における正のピークから負のピークに至るまでの傾きがより大きくなるようにし、その結果、各トルク波形においてピークを境に左右対称になるようにすることを考えた。

[0040] 図6は、回転子20における各回転子極用突起部22の一例を示す側面図である。第1のリング部21A及び第2のリング部21Bに設けられる各回転子極用突起部22は、図6に示すように、その先端部23は回転方向に沿って突起高さが低くなるテーパ一面24Dを設けている。テーパ一面24D

は、回転逆方向の側面から回転方向の側面に対して切り落とし角 $\theta$ で切り欠かれて形成されている。図7は、図6に示す切り落とし角 $\theta$ とトルク波形との関係を示す図であり、(A)は切り落とし角 $\theta$ が $0^\circ$ の場合、(B)は切り落とし角 $\theta$ が $3^\circ$ の場合、(C)は切り落とし角 $\theta$ が $5^\circ$ の場合を示す。横軸は回転子20の位置を角度で示し、縦軸はトルクを示す。各波形の点線は一段のみのPMRGの場合のトルク波形であり、実線は二段組みのPMRGの場合のトルク波形を示す。なお、図6に示すように、回転子極用突起部22の先端部23はテーパ面24Dが形成されているに過ぎない。回転数は1000rpmとした。最大出力とリップ率は、それぞれ、 $\theta$ が $0^\circ$ の場合371W、46.4%であり、 $\theta$ が $3^\circ$ の場合350W、43.5%であり、 $\theta$ が $5^\circ$ の場合279W、60.8%であった。図7から、切り落とし角 $\theta$ を大きくすると、トルク波形は負トルクのピーク値を境界にして左右対称な形に近づいている。切り落とし角 $\theta$ が $0^\circ$ 、 $3^\circ$ である場合、図5に示す結果と比べるとトルクリプルが低減され、切り落とし角 $\theta$ が $5^\circ$ であるとき、最も左右対称な形状である。しかしながら、切り落とし角 $\theta$ が $5^\circ$ であるときピーク値付近に見られるように高次の高調波成分が増加したため、切り落とし角 $\theta$ が $0^\circ$ であるときより、リップルが大きい。これは切り落とし角 $\theta$ を増加したことにより、回転子極先端の鋭角部分に磁束が集中するためと考えられる。切り落とし角 $\theta$ の増加に伴い出力電力も減少する。

[0041] 以上のことから、各回転子極用突起部22が図6に示す形状を有する場合には、ある程度リップルを低減することができる。しかし、さらにリップルを低減させるために、磁束の過度な集中を緩和するための形状として、図8に示す形状を考えた。

図8は、回転子20における各回転子極用突起部22の別例を示す側面図である。第1のリング部21A及び第2のリング部21Bに設けられる各回転子極用突起部22は、図8に示すように、その先端部23は回転方向に沿って突起高さが低くなるテーパ面24Eを設けている。テーパ面24Eは、回転逆方向の側面から所定長垂直に延びた突出面24F内側から切り落

とし角 $\theta_1$ で回転方向の側面に対し切り欠かれてテーパ面24Eが形成されている。

[0042] 図9は、回転子における各突起部が図8に示すテーパ面24E及び突出面24Fを有する場合におけるトルク波形を示す図であり、(A)は $\lambda_1$ が4.5mm、 $\theta_1$ が $5^\circ$ である場合、(B)は $\lambda_1$ が4mm、 $\theta_1$ が $10^\circ$ である場合、(C)は $\lambda_1$ が6mm、 $\theta_1$ が $5^\circ$ である場合、(D)は $\lambda_1$ が6mm、 $\theta_1$ が $10^\circ$ である場合を示している。各波形の点線は一段のみのPMRGの場合におけるトルク波形であり、実線は二段組みのPMRGの場合におけるトルク波形を示す。なお、突出面24Fは側面と直交する場合である。回転数は1000rpmである。図8に示す長さ $\lambda$ は9mmである。

図9から、切り落とし角 $\theta_1$ を大きくしてもピーク付近のトルク波形は滑らかであり、高次成分が低減している。図9(A)における波形では、トルクリプルが34.7%で、最大出力が357Wと、図7に示す各結果よりも良い特性が得られた。

[0043] 以上のことから、各回転子極用突起部22の先端部23がテーパ面24Eと突出面24Fを有することで、磁束の過度な集中を緩和することができる。また、切り落とし角 $\theta$ を大きくすることで生じる高次高調波成分を低減することができる。

[0044] ところで、固定子極に対して回転子極が近づいて固定子極と対向し始める直前と、固定子極に対して回転子極が完全に離れる直前とでは、何れも、磁気抵抗の変化が最も大きくなる。その結果、トルク波形にリプルが生じる。そこで、回転子20における各回転子極用突起部22の先端部23は、図4において矢印が示す回転方向に沿って突起高さが低くなるように断面直線で平面状の第1のテーパ面24Aと、矢印と逆方向の回転逆方向に沿って突起高さが低くなるように断面直線で平面状の第2のテーパ面24Bと、を有することが好ましい。この場合、回転子20における各回転子極用突起部22と固定子10の固定子極用突起部12との距離は、各回転子極用突起部

22の中心部23Aで最も近づく。そのため、発電装置1の出力低下も抑えることができる。

[0045] ここで、第1のテーパ面24Aと第2のテーパ面24Bとは隣り合って互いに接していても、又は第1のテーパ面24Aと第2のテーパ面24Bとの間は互いに接していなくてもよい。中心部23Aにおいて湾曲面24Cは、回転子20の回転軸方向を向いていてもよい。その際、湾曲面24Cは、図4に示すように、断面凹形状を有していても、図4とは逆に、断面凸形状を有していてもよい。

[0046] 図10は、回転子極用突起部22の先端部23がその両側にテーパ面24A、24Bをそれぞれ備え中央部が湾曲面24Cを有する場合のトルク波形を示す図である。波形の点線は一段のみのPMRGの場合におけるトルク波形であり、実線は二段組みのPMRGの場合におけるトルク波形を示す。なお、回転子極用突起部22の各寸法は、長さ $\lambda$ が9mmであり、長さ $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ が2mmであり、切り落とし角 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ が $15^\circ$ である。図10から、一段のPMRGのトルク波形では上下左右ほぼ対称となっており、基本波と奇数次成分のみで構成されている。よって二段組のPMRGのトルク波形、即ち一段目のPMRGのトルク波形と二段目のトルク波形とを合成した波形ではリップルの発生が抑制されていることが分かる。上述した突起部22の各寸法では、発電出力の低下を14%に抑えることができ、トルクリプルは62%低減することができる。

[0047] 本発明の第1の実施形態における発電装置1は、円筒外周面に複数の固定子極12を突出して有する固定子10と、固定子10の外周外側に複数のリング部21A、21B及び複数のリング部21A、21Bから内側に突出して複数の回転子極22を有する回転子20と、を備えている。固定子10には軸を挟んで対向する位置に磁石14A、14B、14C、14Dが対をなすように設けられている。固定子10における複数の固定子極12は、軸方向に対して所定長を開けて第1の突起群12Aと第2の突起群12Bに分離して設けられる一方、回転子20における複数の回転子極22は、軸方向に

対して所定長を開けて第1の突起群22Aと第2の突起群22Bに分離して設けられる。回転子20における第2の突起群22Bは、回転子20における第1の突起群22Aに対し、電気的な位相が180度ずれる機械角だけ回転軸回りにずらして設けられ、回転子20における複数の回転子極12の各先端部23は、回転方向、回転逆方向の何れかに沿って突起高さが低くなるテーパ面を有する。

[0048] 特に、回転子20における複数の回転子極22の各先端部23は、回転方向に沿って突起高さが低くなる第1のテーパ面24Aと回転逆方向に沿って突起高さが低くなる第2のテーパ面22Bとを有する。さらに好ましくは第1のテーパ面24Aと第2のテーパ面22Bとの間に断面円弧状の突出面24Fを有する。

[0049] 本発明の第1の実施形態における発電装置1では上述のような構造を有することから、発電効率を低下させずに、低トルクリプルを実現することができる。

[0050] <第2の実施形態>

第1の実施形態の変形例として第2の実施形態を説明する。

図11は、第2の実施形態に係る発電装置の側面図であり、第1の実施形態を示す図3に対応するものである。図12は、図11に示す固定子60に設けられる突起部62の拡大側面図である。

第2の実施形態に係る発電装置においても、第1の実施形態に係る発電装置1と同様、固定子60と回転子70とを有する。即ち、固定子60は、円筒外周面に複数の固定子極を突出して有する。回転子70は、固定子60の外周外側に第1のリング部71A及び第2のリング部と、第1のリング部71A及び第2のリング部から内側に突出して複数の回転子極を有する。固定子60には、軸を挟んで対向する位置に複数の磁石64A、64B、64C及び64Dが対をなすように配置されている。また、固定子60における複数の固定子極は、軸方向に対して互いに所定長を開けて第1の突起群と第2の突起群に分離して同じ位相で設けられている。固定子60側の第1の突起

群、第2の突起群はそれぞれ第1の固定子極用突起群、第2の固定子極用突起群と呼ぶことにする。一方、回転子70における複数の回転子極は、軸方向に対して互いに所定長を開けて第1の突起群と第2の突起群に分離して設けられている。回転子70側の第1の突起群、第2の突起群をそれぞれ第1の回転子極用突起群、第2の回転子極用突起群と呼ぶことにする。そして、回転子70における第2の回転子極用突起群は、回転子70における第1の回転子極用突起群に対し、電氣的に位相が180度ずれる機械角 $\phi$ だけ回転軸に対してずらして設けられている。固定子60における突起部62に巻線66が装着されている。ここまでは、第1の実施形態と同じ構成である。

[0051] 第2の実施形態では、第1の実施形態とは異なり、固定子60側の突起部（固定子極用突起部とも呼ぶ）62における先端部63の形状を工夫することで、トルクリプルを低減している。即ち、固定子60における各突起部62の先端部63は、矢印で示す回転子70の回転方向に沿って突起高さが低くなるように断面直線状で平面状の第1のテーパ面65Aと、矢印と逆方向の回転子70の回転逆方向に沿って突起高さが低くなるように断面直線状で平面状の第2のテーパ面65Bと、第1のテーパ面65Aと第2のテーパ面65Bとの間に設けられた湾曲面65Cと、を有する。ここで、湾曲面65Cは固定子60の軸から所定の極率半径を有する。各突起部62がこのような形状を有することにより、第1の実施形態と同様、トルクリプルを低減することができる。

[0052] 本発明の第2の実施形態における発電装置では、円筒外周面に複数の固定子極62を突出して有する固定子60と、固定子60の外周外側に複数のリング部71A及び複数のリング部71Aから内側に突出して複数の回転子極72を有する回転子70と、を備えている。固定子60には軸を挟んで対向する位置に磁石64A、64B、64C、64Dが対をなすように設けられている。固定子60における複数の固定子極62は、軸方向に対して所定長を開けて第1の突起群62Aと第2の突起群に分離して設けられている一方、回転子70における複数の回転子極72は、軸方向に対して所定長を開け

て第1の突起群72Aと第2の突起群72Bに分離して設けられている。回転子70における第2の突起群72Bは、回転子70における第1の突起群72Aに対し、電気的な位相が180度ずれる機械角だけ回転軸に対してずらして設けられ、固定子60における複数の固定子極62の各先端部は、回転子70の回転方向、回転逆方向の何れかに沿って突起高さが低くなるテーパ一面を有する。

[0053] 特に、固定子60における複数の固定子極62の各先端部63は、回転方向に沿って突起高さが低くなる第1のテーパ一面65Aと回転逆方向に沿って突起高さが低くなる第2のテーパ一面65Bとを有する。さらに好ましくは第1のテーパ一面65Aと第2のテーパ一面65Bとの間に断面円弧状の突出面65Cを有する。

[0054] <その他の実施形態>

第1の実施形態、第2の実施形態では、何れも、固定子10、60における第1の突起群（第1の固定子極用突起群とも呼ぶ）12A、62Aと第2の突起群（第2の固定子極用突起群とも呼ぶ）12Bとが位相を同じにして配置され、かつ、回転子20、70における第2の突起群（第2の回転子極用突起群とも呼ぶ）22B、72Bが回転子20、70における第1の突起群（第1の回転子極用突起群とも呼ぶ）22A、72Aに対し電気的な位相が180度ずれる機械角だけ軸回りにずらして設けられている。しかしこれに限定されることなく、第1の回転子極用突起群と第2の回転子極用突起群とが位相を同じにして配置され、かつ、第2の固定子極用突起群が第1の固定子極用突起群に対し電気的な位相が180度ずれる機械角だけ軸回りにずらして設けられていてもよい。

## 実施例

[0055] 以下、実施例によりさらに詳細に説明する。

図1乃至図4に示す第1の実施形態の発電装置1を試作した。試作した発電装置1では、各段において12個の固定子極と16個の回転子極とを有する。固定子10の大きさは突起部12の先端を結ぶ仮想円で直径135.6



mmとし、固定子10における固定子本体11の内直径を30mmとし、固定子本体11の外直径を104mmとした。回転子20の大きさは、第1及び第2のリング部21A、21Bの外直径を180mm、内直径を160mmとし、突起部22の先端は突起部12との隙間が0.2mmとなるようにした。また、回転子20の各突起部22は、幅 $\lambda$ を9mmとし、第1及び第2のテーパ面24A、24Bは外側からの幅 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ を2mmとし、切り落とし角 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ を $15^\circ$ とした。また、磁石14A乃至14Dはフェライト磁石を用いた。

[0056] 図13は、回転数を1000rpmとしたときの最大出力時のトルク波形を示す図である。横軸は回転子の位置を角度で示しており、縦軸はトルクである。波形のうち点線及び破線で示す波形は各段のPMRGに生じるトルク波形であり、巻線電流を実測して有限要素モデルにより解析して求めたものである。図13にそれぞれ点線で示すように、各段のPMRGに生じるトルク波形は互いに位相が半周期ずれている。また、これらのトルク波形も正のピークから正のピークまでの一周期でほぼ上下左右対称となっている。よって、これらの波形を合成して求まる合成トルクの波形は、実線で示すように、トルクリプルが小さいことが分かる。

[0057] 図14は発電装置1の実証実験システム50を示す図である。図14に示すように、PMモータ51により発電装置1を任意の回転数で駆動した。PMモータ51と発電装置1の間にはトルクメータ52を介在させ、トルクメータ52により入力トルクと回転数を測定した。

[0058] 図15は、巻線を解放した状態、即ち無負荷状態において巻線に誘起される電圧波形を示す図であり、(A)は計算波形、(B)は観測波形である。回転数は1000rpmとした。 $u_1$ 、 $v_1$ 、 $w_1$ は一段目のPMRGによる電圧波形であり、 $u_2$ 、 $v_2$ 、 $w_2$ は二段目のPMRGによる電圧波形である。図15から、計算波形と観測波形とはよく一致していることが分かる。また、各波形の位相差も等しいことから、一段目のPMRGと二段目のPMRGとの間の電氣的な位相差も正確に再現できていることが分かる。

- [0059] 図16は、各回転数における無負荷誘起電圧の実効値を示す図である。実線が有限要素法による解析結果であり、シンボルが実測値である。計算解析結果と実測結果とがよく一致していることが分かる。
- [0060] 図17は、試作した発電装置の発電特性を示す図である。負荷電流の増加に伴い、出力電圧 $v_o$ は滑らかな減少傾向を示し、機械的入力 $P_m$ は増加して負荷電流が4 A以上になると飽和傾向を示し、出力電力 $P_g$ は機械的入力 $P_m$ と同様な傾向を示す。効率 $\eta$ は、1.5 Aまで急激に増加しその後ほぼ一定となった。ここで、最大出力電力は754 Wであり、効率 $\eta$ は81.7%であった。
- [0061] 図18は、各回転数での最大出力時における効率の実測値を示す図である。各段における固定子数が12で回転子数が16である12/16のPMRGである場合の他、各段における固定子数が12で回転子数が8である12/8 PMRG、各段における固定子数が6で回転子数が4である6/4 PMRGのそれぞれについても行った。図18から何れの発電装置1においても回転数の増加に伴い効率 $\eta$ が増加する。発電装置1が12/16 PMRGである場合、即ち、回転子極、固定子極の数を増加することで、低速でも効率 $\eta$ を高めることができた。
- [0062] 次に、磁石14A乃至14Dとしてネオジム磁石、フェライト磁石のそれぞれを採用した場合の有限要素法によるシミュレーションを説明する。固定子10及び回転子20の形状は、何れも図2に示すような形状とした。ただし、ネオジム磁石とフェライト磁石とでは軸上の中空部の大きさが異なり、ネオジム磁石を採用した場合における中空部の寸法は、フェライト磁石の場合より大きい。これは、ネオジム磁石はフェライト磁石に比べて約3~4倍の磁束量を有することから、仮に、フェライト磁石を組み込む領域と同じ体積だけネオジム磁石を組み付けると、固定子極及び回転子極が磁気飽和してしまい、発電出力や効率が低下するためである。つまり、中空部の寸法を変えることで、最も発電出力が得られる磁石寸法で対比するようにした。
- [0063] 図19は、シミュレーション結果を示す図であり、(A)はフェライト磁

石を採用した場合を示し、(B)は希土類磁石としてネオジム磁石を採用した場合を示す。各図の横軸は負荷電流であり、左の縦軸は出力電圧 $v_o$ 、効率 $\eta$ 、右の横軸は出力電圧 $P_g$ 、機械的な入力 $P_m$ である。

[0064] 磁石14A乃至14Dとしてフェライト磁石を用いた場合でも、ネオジム磁石を用いた場合でも、負荷電流の増加に伴い、出力電圧 $v_o$ は滑らかな減少傾向を示し、機械的な入力 $P_m$ は増加して負荷電流が約2Aを超えると僅かに減少する傾向を示し、出力電力 $P_g$ は機械的な入力 $P_m$ と同様な傾向を示した。効率 $\eta$ は、約0.25Aまで急激に増加しその後ほぼ一定となった。

よって、磁石14A乃至14Dとしてフェライト磁石を用いた場合であっても、ネオジム磁石を用いた場合と同様な傾向を示し、安価なフェライト磁石を用いても発電特性、特に変換効率が低下しないことが分かった。

[0065] 本発明の各実施形態では、アウターローター型、即ち回転子20を外側に設け、固定子10中にフェライト磁石をヨークとして組み込み、電氣的な位相が180度ずれるように固定子10及び回転子20における固定子極及び回転子極の組を二段組構成としたので、トルクリプルの基本波と奇数次成分は打ち消される。また、回転子極の先端部23をテーパ形状としたのでトルクリプルの高調波成分を抑制することができる。よって、本発明の実施形態により、トルクリプルを低減し、低コストで高い効率を有する発電が実現できる。

[0066] 本発明は、上述した実施形態で説明したものに限らず、発明の要旨を変更しない範囲で適宜変更することができる。例えば、各実施形態の何れにおいても、固定子極となる突起部12、回転子極となる突起部22の何れかは、回転方向に沿って突起高さが低くなる第1のテーパ面と回転方向に沿って突起高さが低くなる第2のテーパ面とを有しているが、回転方向に沿って突起高さが低くなるようテーパ面だけを有していても、回転逆方向に沿って突起高さが低くなるテーパ面だけを有していても良い。

## 請求の範囲

### [請求項1]

複数の固定子極用突起部を固定子本体の外周面に並んで有する固定子と、該固定子の周りに回転可能に設けられ、複数の回転子極用突起部を有する回転子と、からなり、

上記複数の固定子極用突起部、上記複数の回転子極用突起部の何れか一方は、それぞれ、上記回転子の回転方向、逆方向の何れかに沿って突起の高さが低くなっており、

上記複数の固定子極用突起部は、軸方向に所定長はなれて第1の固定子極用突起群及び第2の固定子極用突起群に分離されており、上記第1の固定子極用突起群及び上記第2の固定子極用突起群は、何れも上記固定子極用突起部を周方向に間隔をあけて並べて構成され、

上記回転子は、軸方向に所定長はなれて分離した第1のリング部及び第2のリング部と、上記複数の回転子極用突起部のうち半分が上記第1のリング部の内周面に周状に間隔をあけて並んでなる第1の回転子極用突起群と、上記複数の回転子極用突起部のうち半分が上記第2のリング部の内周面に周状に間隔をあけて並んでなる第2の回転子極用突起群と、を有しており、

上記第1の固定子極用突起群と上記第2の固定子極用突起群とが位相を同じにして配置され、かつ、上記第2の回転子極用突起群が上記第1の回転子極用突起群に対し電氣的な位相が180度ずれる機械角だけ軸回りにずらして設けられている、発電装置。

### [請求項2]

複数の固定子極用突起部を固定子本体の外周面に並んで有する固定子と、該固定子の周りに回転可能に設けられ、複数の回転子極用突起部を有する回転子と、からなり、

上記複数の固定子極用突起部、上記複数の回転子極用突起部の何れか一方は、それぞれ、上記回転子の回転方向、逆方向の何れかに沿って突起の高さが低くなっており、

上記複数の固定子極用突起部は、軸方向に所定長はなれて第1の固

定子極用突起群及び第2の固定子極用突起群に分離されており、上記第1の固定子極用突起群及び上記第2の固定子極用突起群は、何れも上記固定子極用突起部を周方向に間隔をあけて並べて構成され、

上記回転子は、軸方向に所定長はなれて分離した第1のリング部及び第2のリング部と、上記複数の回転子極用突起部のうち半分が上記第1のリング部の内周面に周状に間隔をあけて並んでなる第1の回転子極用突起群と、上記複数の回転子極用突起部のうち半分が上記第2のリング部の内周面に周状に間隔をあけて並んでなる第2の回転子極用突起群と、を有しており、

上記第1の回転子極用突起群と上記第2の回転子極用突起群とが位相を同じにして配置され、かつ、上記第2の固定子極用突起群が上記第1の固定子極用突起群に対し電氣的な位相が180度ずれる機械角だけ軸回りにずらして設けられている、発電装置。

[請求項3] 前記複数の回転子極用突起部は、それぞれ、上記回転子の回転方向に沿って突起の高さが低くなる第1のテーパ面と上記回転子の回転逆方向に沿って突起の高さが低くなる第2のテーパ面とを有する、請求項1又は2に記載の発電装置。

[請求項4] 前記複数の回転子極用突起部の各先端部は、前記第1のテーパ面と前記第2のテーパ面との間に断面円弧状の突出面を有する、請求項3に記載の発電装置。

[請求項5] 前記複数の固定子極用突起部は、それぞれ、上記回転子の回転方向に沿って突起の高さが低くなる第1のテーパ面と上記回転子の回転逆方向に沿って突起の高さが低くなる第2のテーパ面とを有する、請求項1又は2に記載の発電装置。

[請求項6] 前記複数の固定子極用突起部の各先端部は、前記第1のテーパ面と前記第2のテーパ面との間に断面円弧状の突出面を有する、請求項5に記載の発電装置。

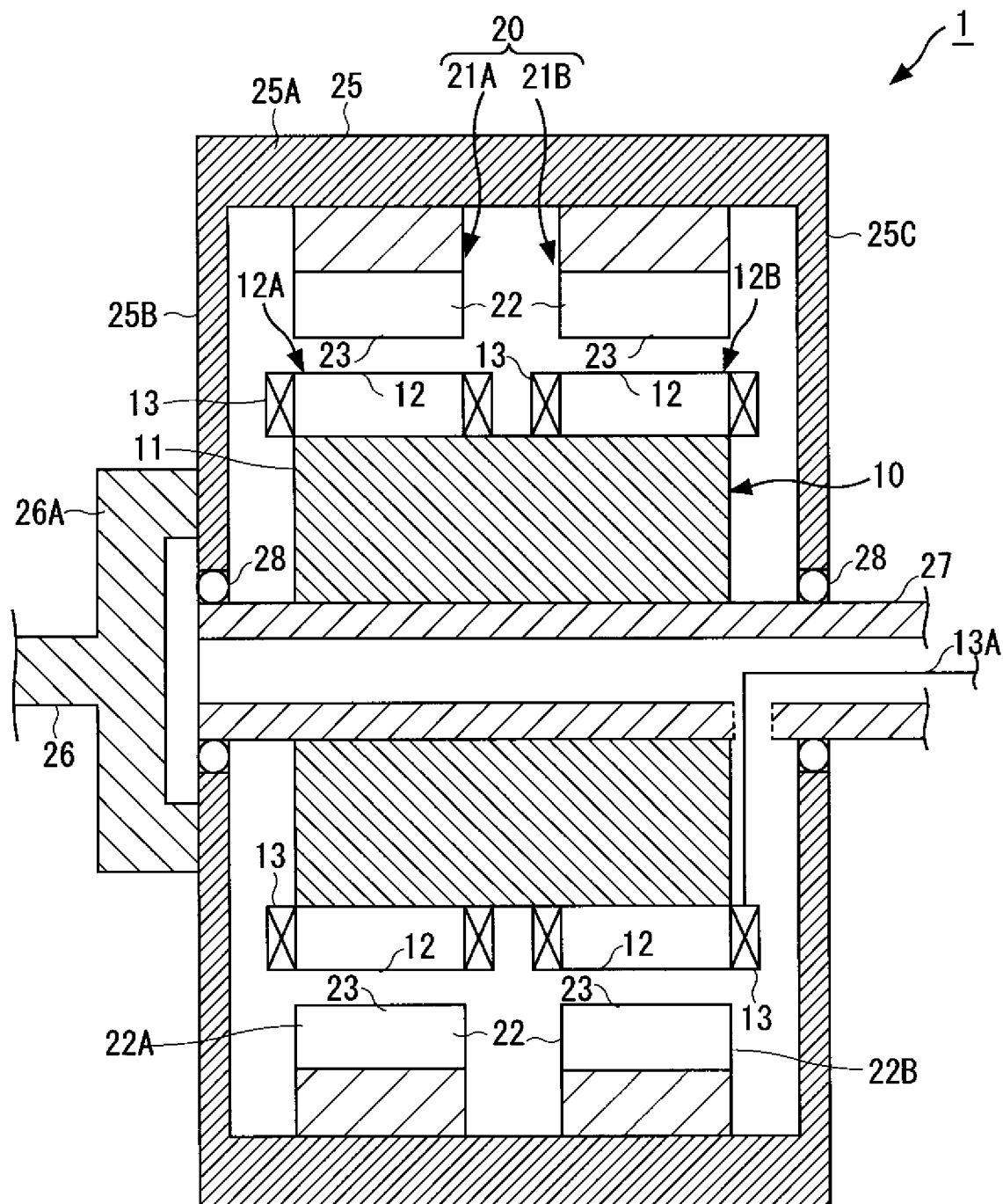
[請求項7] 前記固定子には軸を挟んで対向する位置に磁石が対をなすように設

けられている、請求項 1 又は 2 に記載の発電装置。

[請求項 8] 前記磁石は前記固定子の軸に対して十字方向に配置されている、請求項 7 に記載の発電装置。

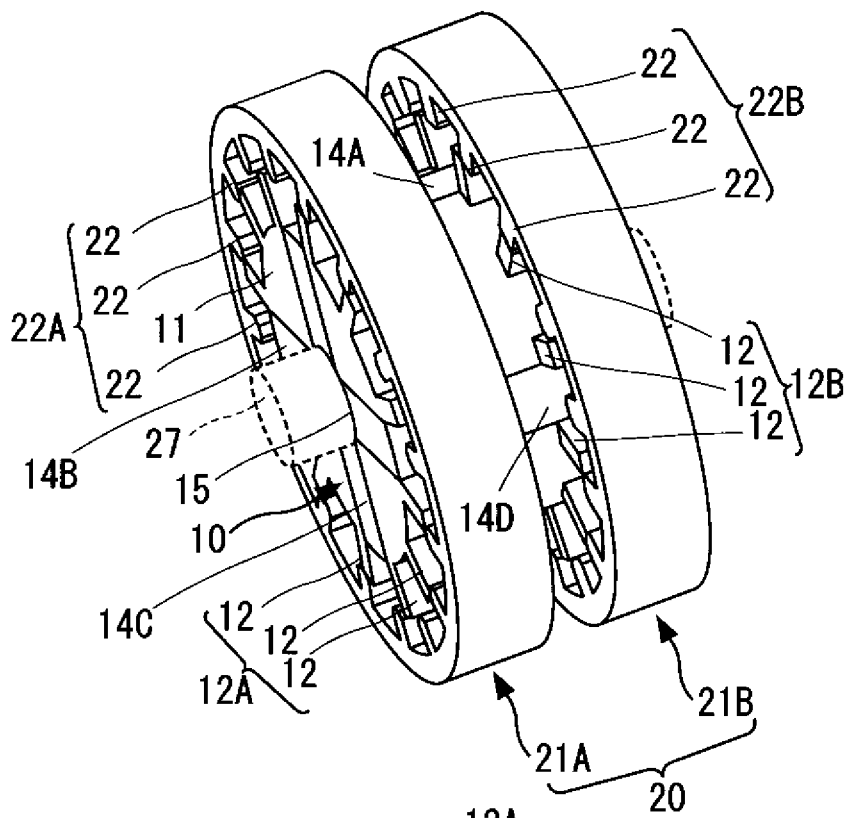
[請求項 9] 前記磁石はフェライト磁石である、請求項 7 又は 8 に記載の発電装置。

[図1]

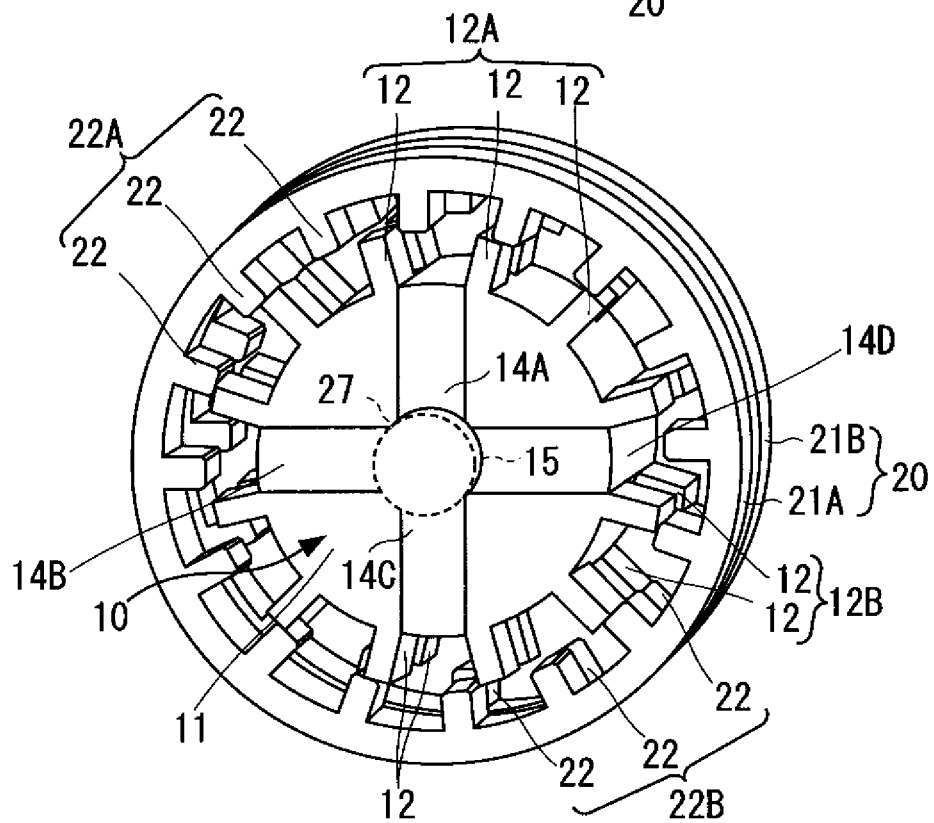


[図2]

(A)



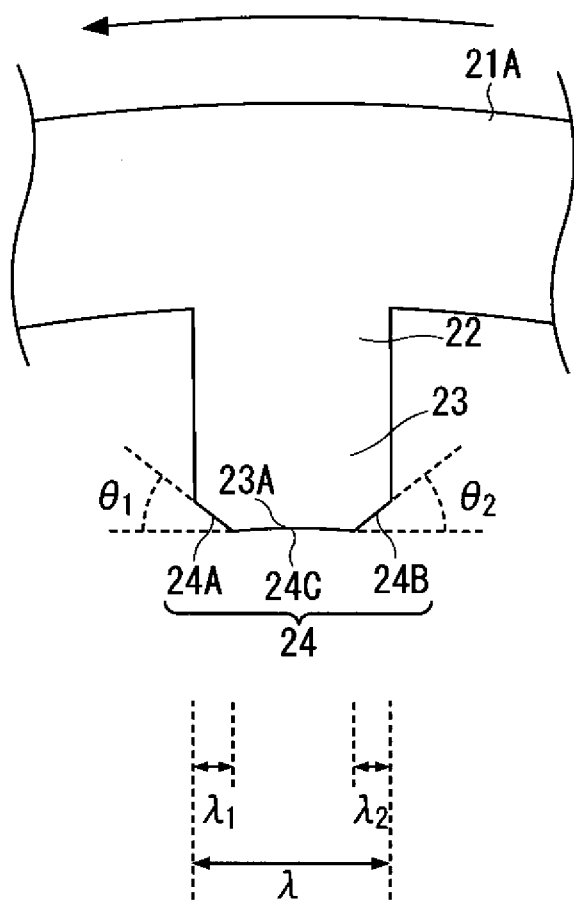
(B)



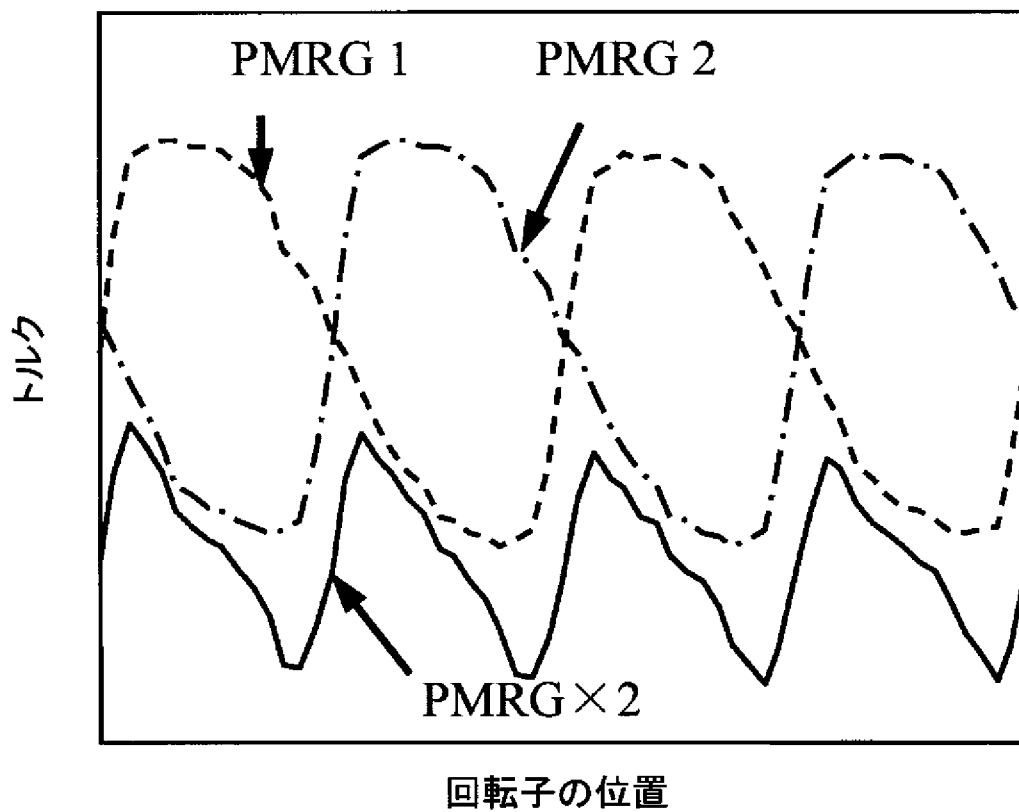




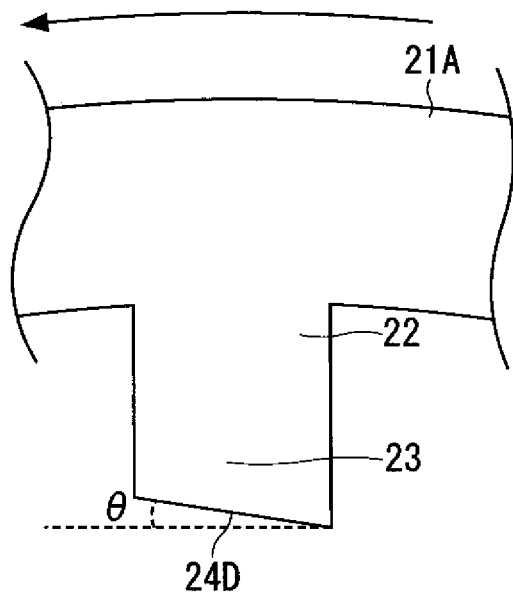
[図4]



[図5]

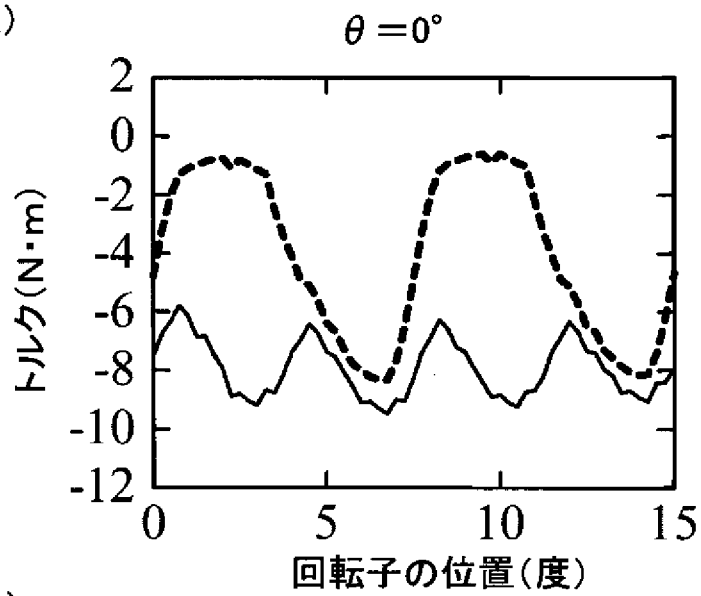


[図6]

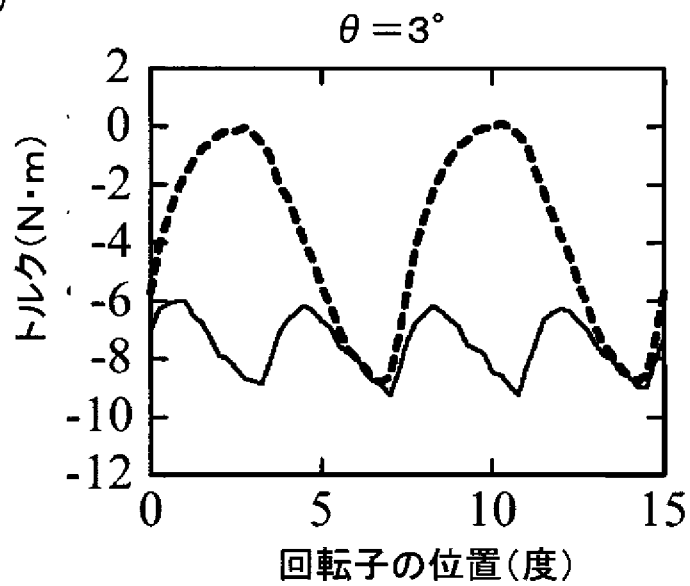


[図7]

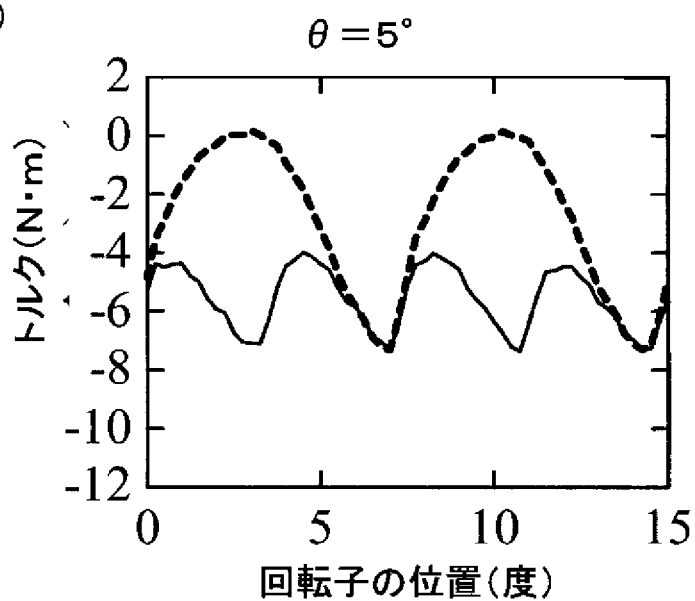
(A)



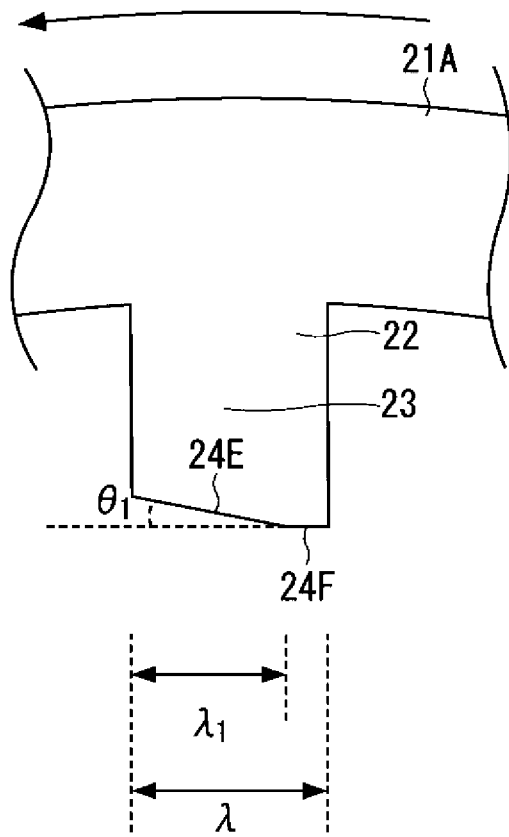
(B)



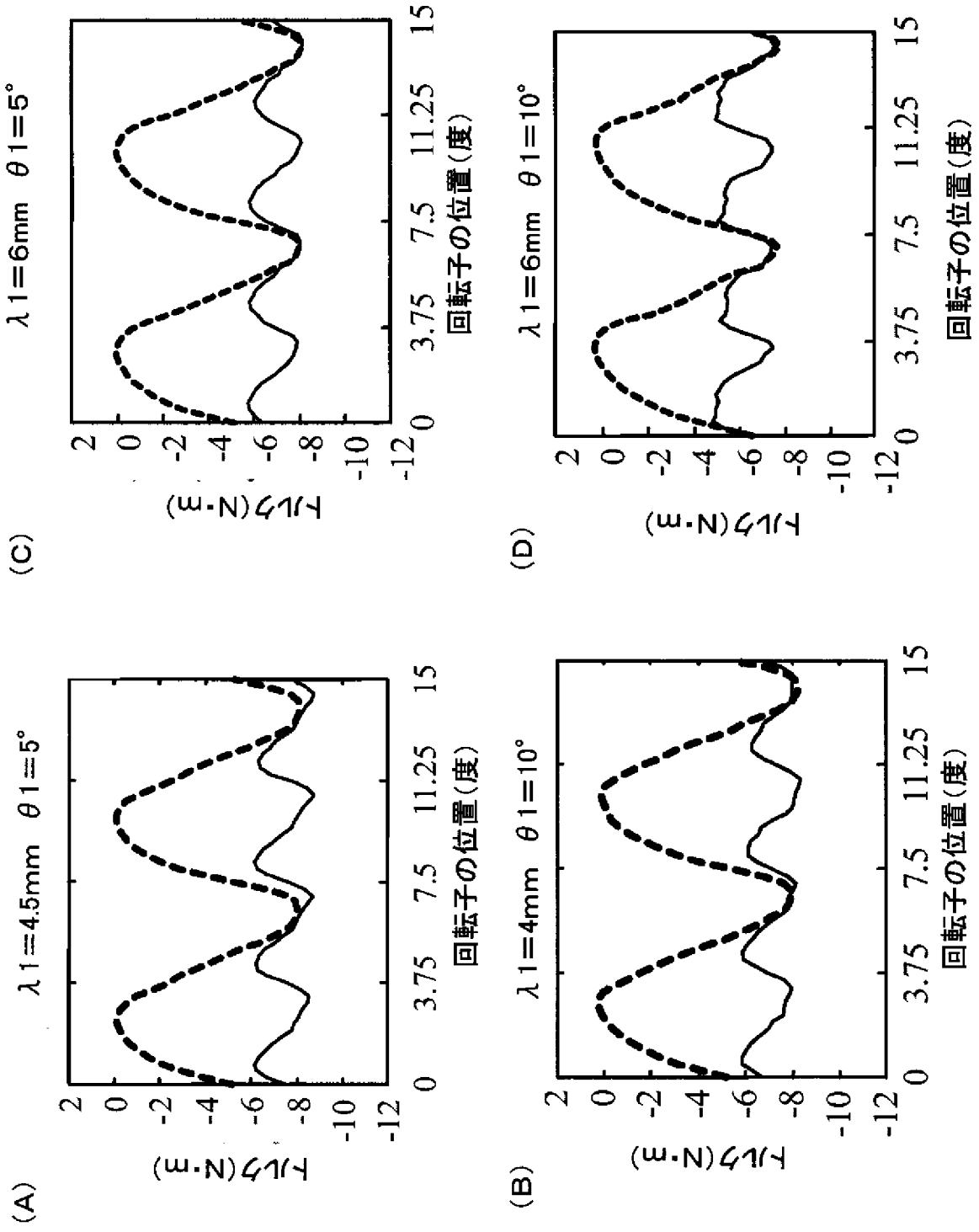
(C)



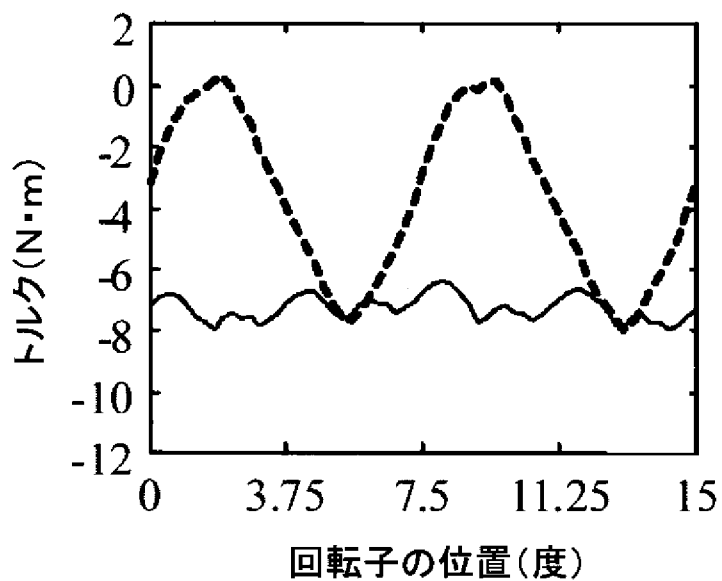
[図8]



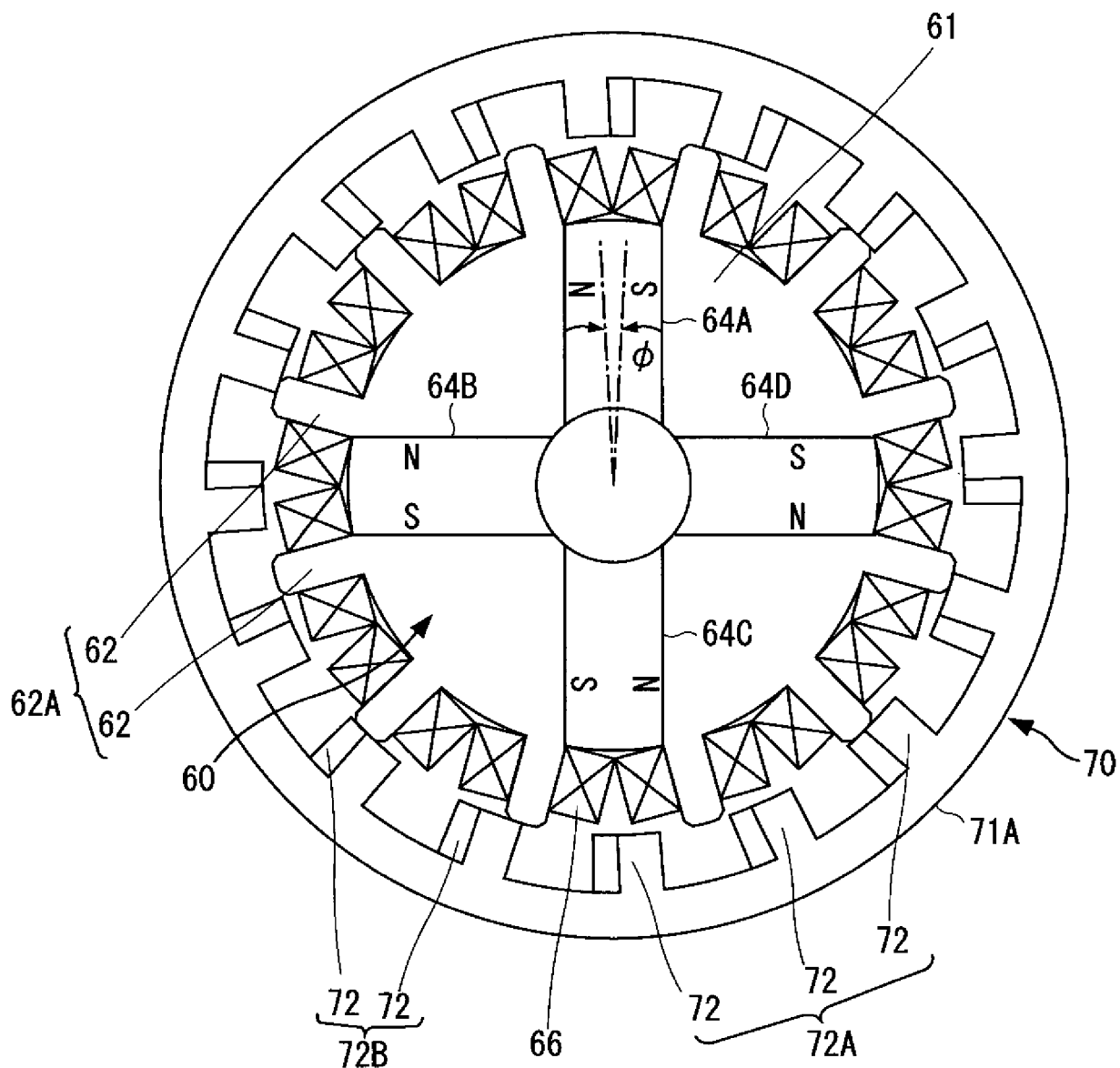
[図9]



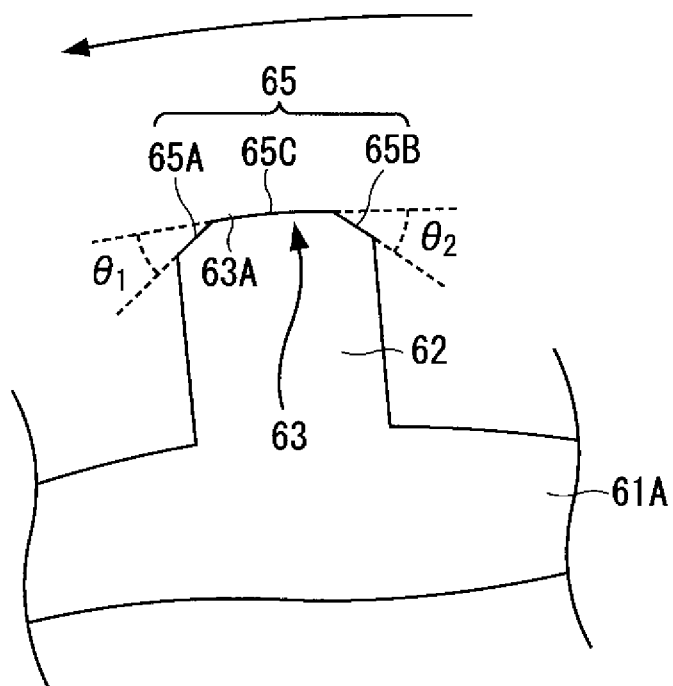
[図10]



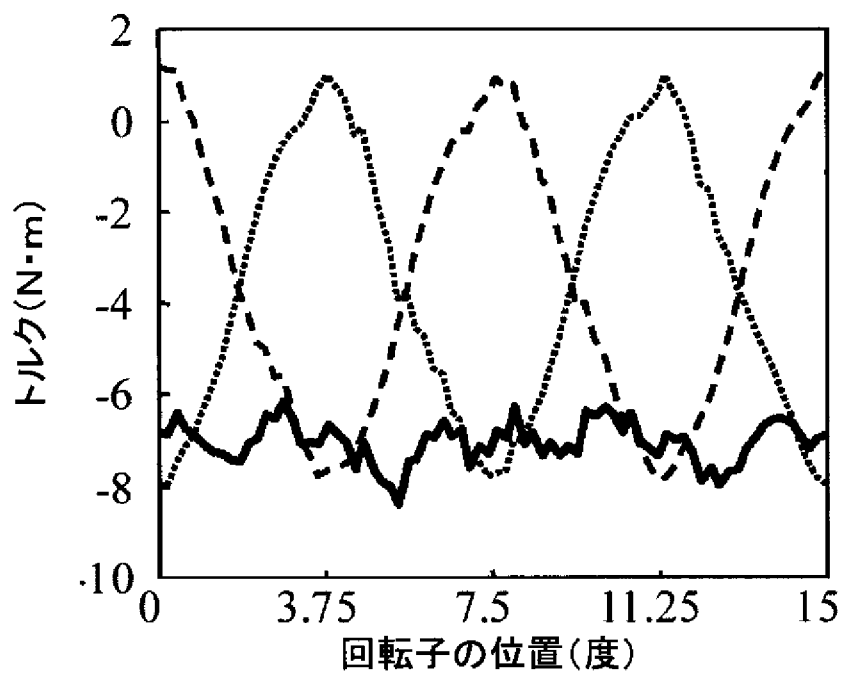
[図11]



[図12]

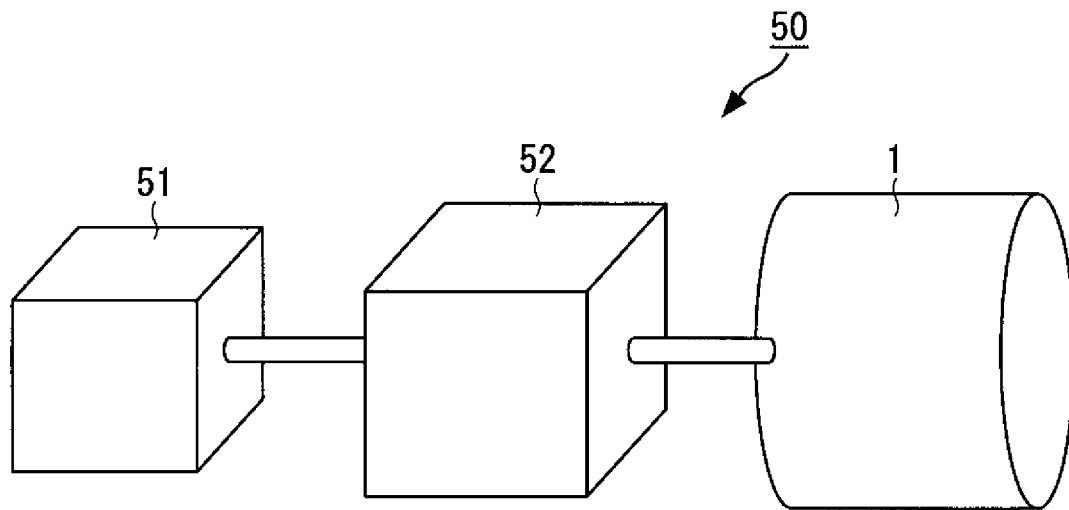


[図13]





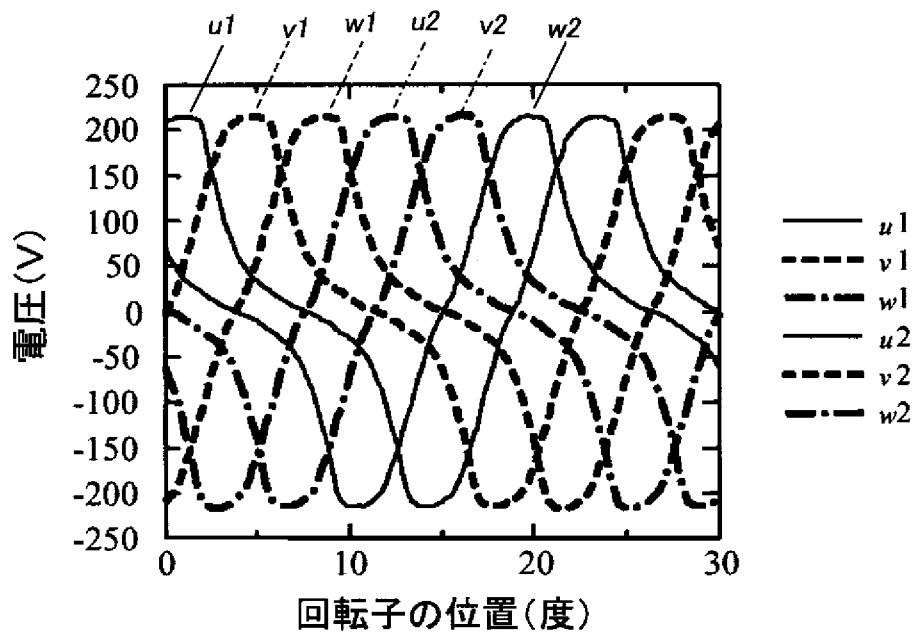
[図14]



[図15]

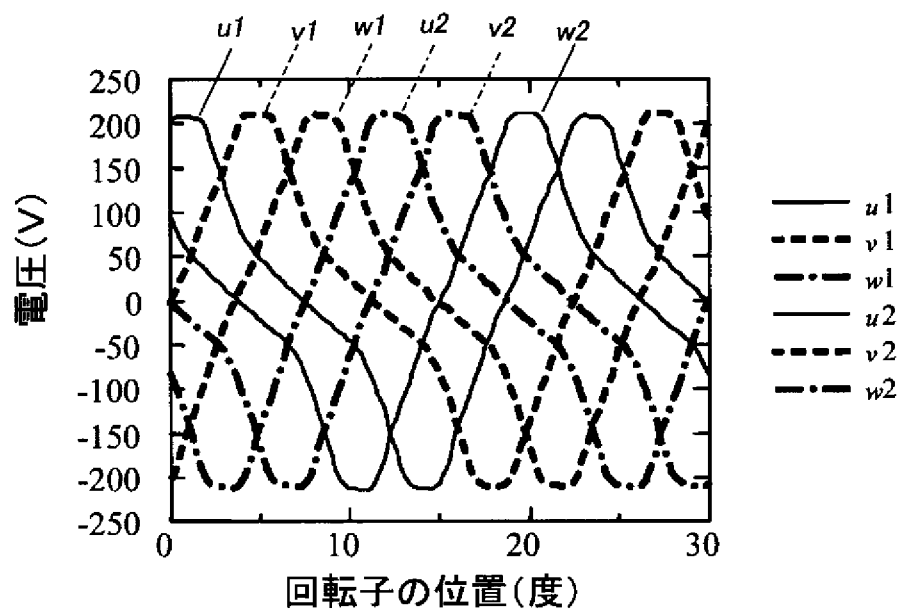
(A)

計算波形

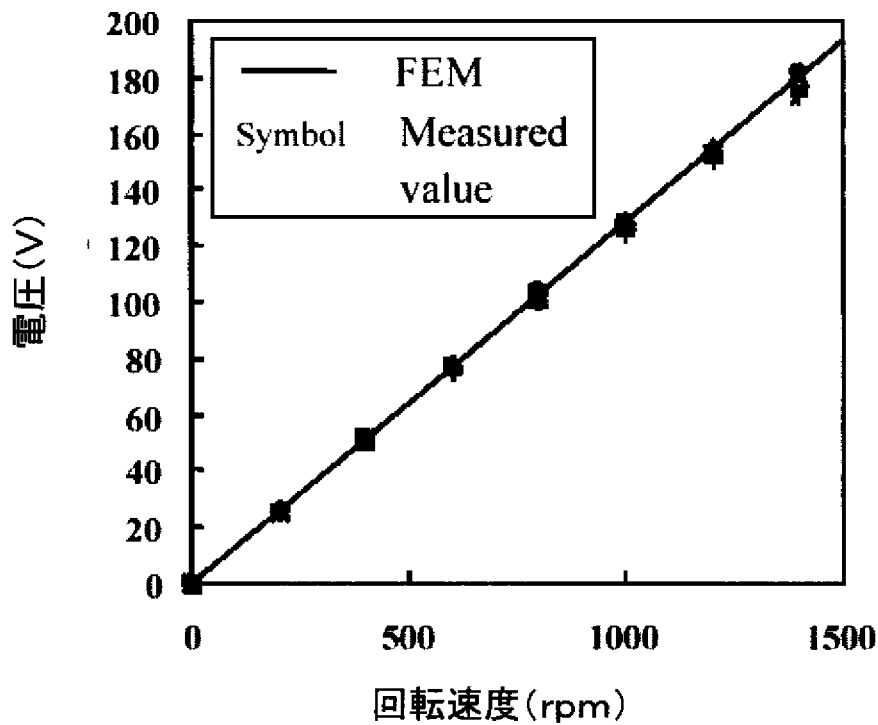


(B)

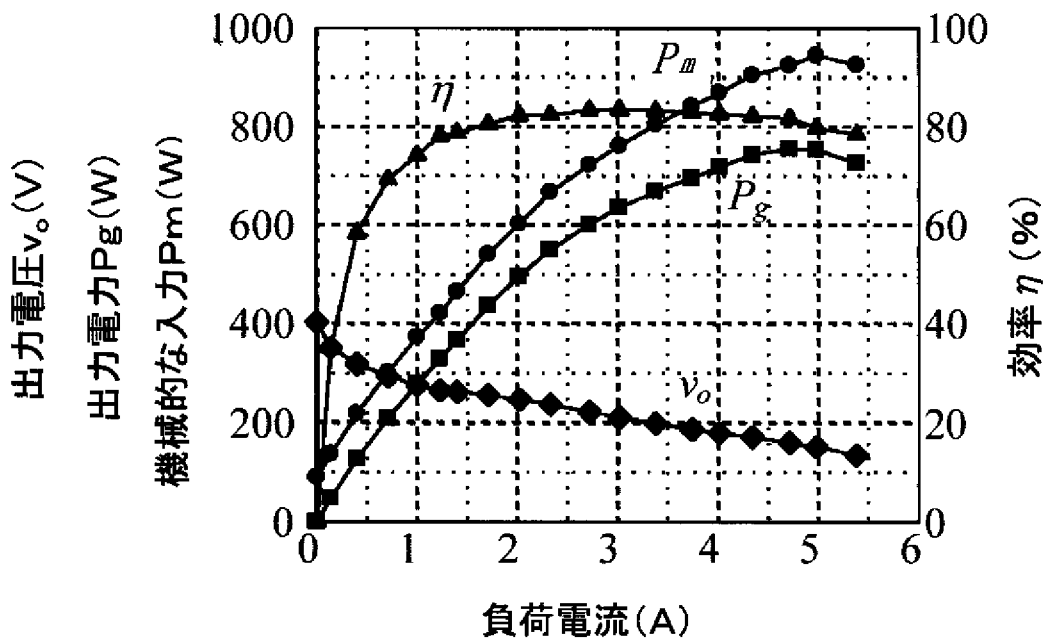
観測波形



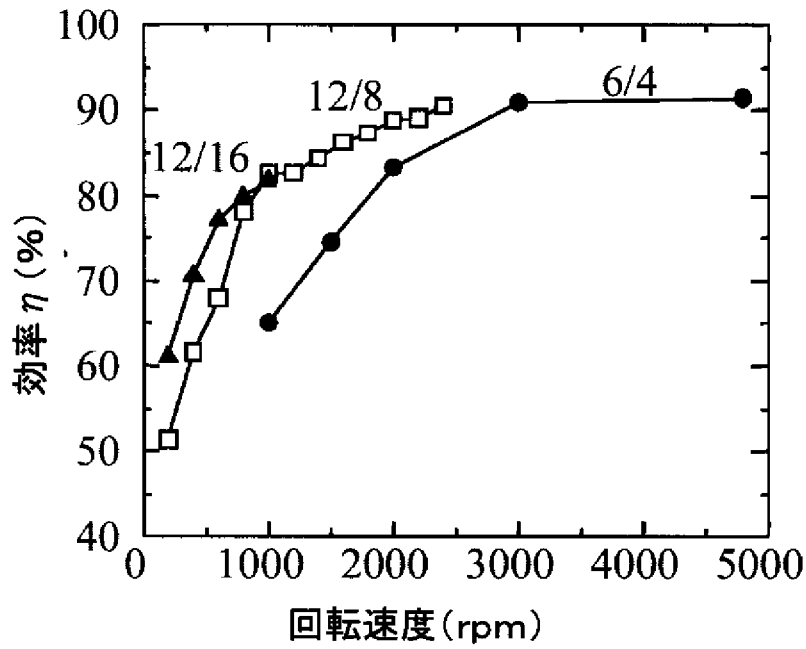
[図16]



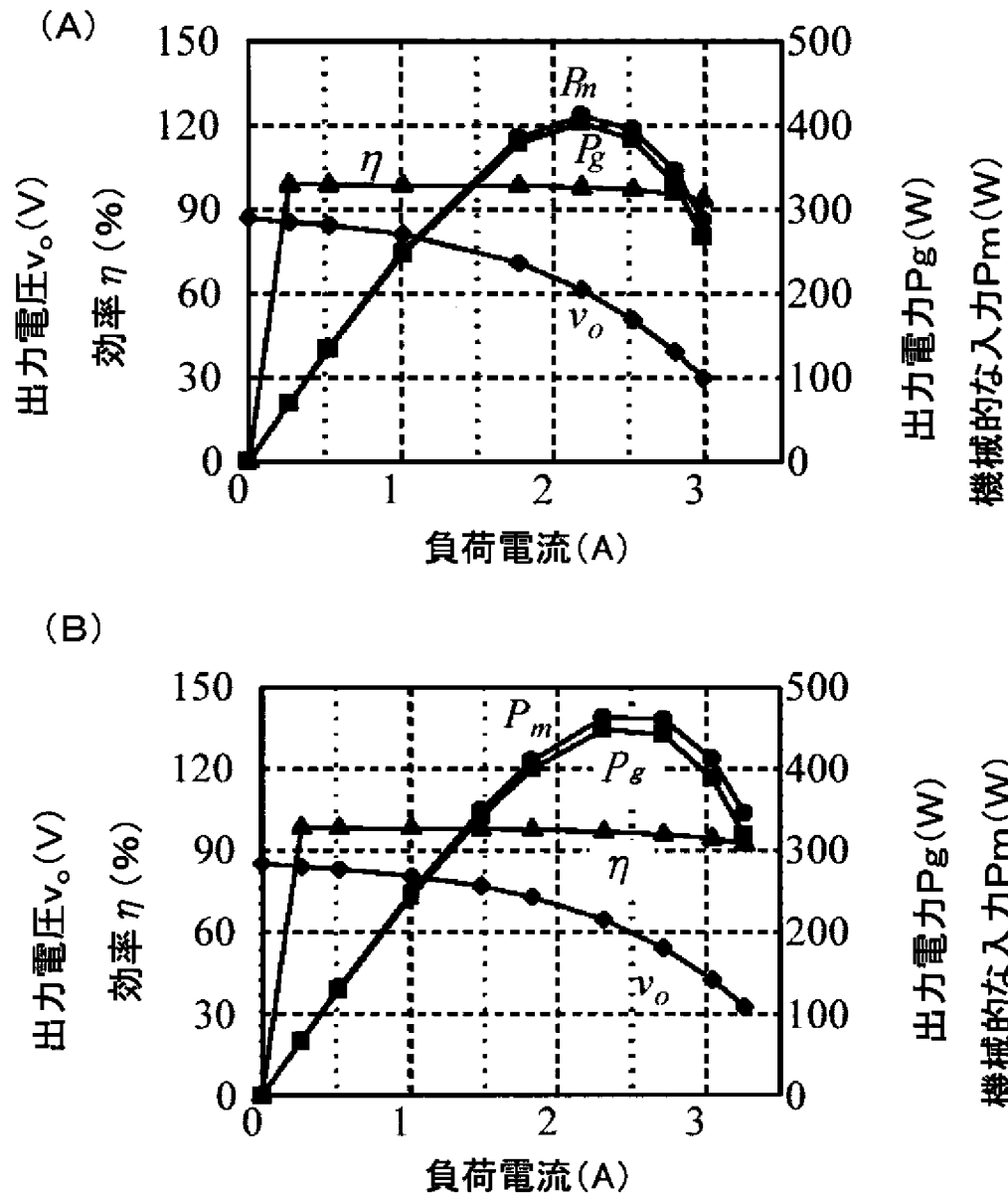
[図17]



[図18]



[図19]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2009/070135

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

H02K19/24(2006.01) i, H02K1/24(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)

H02K19/24, H02K1/24

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	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

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 5-344697 A (Kokusan Denki Co., Ltd.), 24 December 1993 (24.12.1993), paragraphs [0015] to [0026]; fig. 1 to 4 (Family: none)	1-9
Y	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 176160/1976(Laid-open No. 95104/1978) (Sawafuji Electric Co., Ltd.), 03 August 1978 (03.08.1978), entire text; all drawings (Family: none)	1-9

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
04 February, 2010 (04.02.10)

Date of mailing of the international search report  
16 February, 2010 (16.02.10)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/070135

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 11-262225 A (Switched Reluctance Drives Ltd.), 24 September 1999 (24.09.1999), paragraphs [0014] to [0054]; fig. 1 to 10 & US 6072260 A & EP 0930694 A2	1-9
Y	JP 2006-149030 A (Toyota Motor Corp.), 08 June 2006 (08.06.2006), paragraphs [0016] to [0058]; fig. 1 to 12 & US 2007/0152529 A1 & EP 1814212 A1 & WO 2006/054676 A1	1-9
Y	JP 2007-312444 A (Tohoku University), 29 November 2007 (29.11.2007), fig. 7 & WO 2006/019058 A1	8

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H02K19/24(2006.01)i, H02K1/24(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. H02K19/24, H02K1/24

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	1971-2010年
日本国実用新案登録公報	1996-2010年
日本国登録実用新案公報	1994-2010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 5-344697 A (国産電機株式会社) 1993.12.24, 段落【0015】 - 【0026】、図 1-4 (ファミリーなし)	1-9
Y	日本国実用新案登録出願51-176160号(日本国実用新案登録出願公開53-95104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 (沢藤電機株式会社) 1978.08.03, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-9

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」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献  
 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と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

04.02.2010

国際調査報告の発送日

16.02.2010

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)

森山 拓哉

3V

3924

電話番号 03-3581-1101 内線 3358

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	JP 11-262225 A (スイッチド リラクタンス ドライブズ リミ テッド) 1999.09.24, 段落【0014】 - 【0054】、図 1-10 & US 6072260 A & EP 0930694 A2	1-9
Y	JP 2006-149030 A (トヨタ自動車株式会社) 2006.06.08, 段落【0016】 - 【0058】、図 1-12 & US 2007/0152529 A1 & EP 1814212 A1 & WO 2006/054676 A1	1-9
Y	JP 2007-312444 A (国立大学法人東北大学) 2007.11.29, 図 7 & WO 2006/019058 A1	8