

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 4 月 26 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26820095

研究課題名(和文) 洋上風力発電装置向け高効率磁気ギアードモータの開発

研究課題名(英文) Development of a magnetic-gear generator for off-shore wind power generators

研究代表者

新口 昇(NIGUCHI, NOBORU)

大阪大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：60614039

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：洋上風力発電装置の発電機として、ブラシレスモータと磁気ギアを一体化させた磁気ギアード発電機を検証した。本研究では、低速ロータの支持方法として、磁性体中に非磁性体のピンやボルトを打ち込み、それらの周囲の磁性体を磁気シールドとする方法を提案した。その結果、非磁性体内への磁束の侵入を抑制でき、渦電流損失を低減することに成功した。また、PWMコンバータを用いた試験では、負荷の増加に伴い、磁気ギアード発電機のトルク定数が受動的に変化することを明らかにした。これにより、磁気ギアード発電機は幅広い運転領域を有することが可能となる。

研究成果の概要(英文)：We investigated a magnetic-gear generator for an off-shore wind power generator. In this study, a novel supporting method for a low-speed rotor was proposed. This method utilizes non-magnetic pins or screws, and they are embedded in the magnetic material of the low-speed rotor. Due to this, the magnetic flux does not enter the non-magnetic pins and the eddy current losses are decreased. In addition, we found that the torque constant automatically changes according to the load. Due to this, the magnetic-gear generator has wide power band characteristics.

研究分野：工学

キーワード：電気機器

### 1. 研究開始当初の背景

東日本大震災に伴う原子力発電所の事故以来、世界中で原子力発電の停止を求める声が高まると同時に、新たなエネルギー源として風力発電が注目を集めている。そこで、申請者がこれまで家庭用風力発電機のために研究してきた磁気ギアード発電機の技術を洋上風力発電機に適用し、従来より小型高効率でメンテナンスフリー運転が可能な数メガワットクラスの発電機を開発し、エネルギー問題の解決に貢献する。すでに申請者は、従来より小型高効率な磁気ギアード発電機を開発し、数メガワットクラスの洋上風力発電機にも適用可能である目途がついており、本研究申請では数値シミュレーションによる最適設計と試作機の製作と評価を行うことを目的とする。

### 2. 研究の目的

現在、洋上風力発電にはギアドライブ方式とダイレクトドライブ方式があるが、前者では発電機の小型化は可能であるが、ギア部分のメンテナンスが困難という問題がある。一方、後者はメンテナンスフリー運転が可能であるが発電機が大型化し、高所への設置が困難という問題がある。しかし、筆者らのハーフ磁石型磁気ギアード発電機(図1)はいずれの問題も解決できる能力を有しており、本申請では、第1ステップとして2メガワットクラスの洋上風力発電機の開発を目標とした。

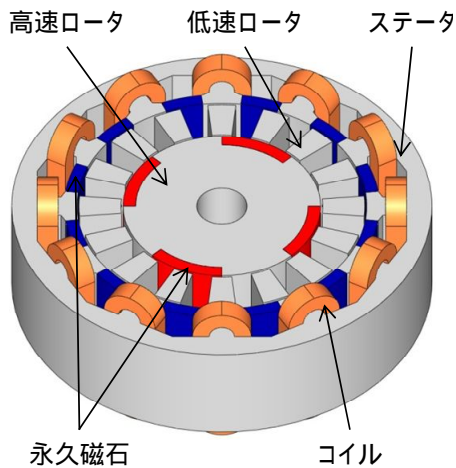


図1 ハーフ磁石型磁気ギアード発電機

### 3. 研究の方法

#### (1) 数値シミュレーションによる最適設計

損失特性：高効率な発電のために、磁気的な損失(渦電流損失とヒステリシス損失)を低減する技術を構築する。特に、低速ロータの渦電流損失が課題であり、低速ロータの支持方法を含め、新しい構造を提案する。

トルク特性：コギングトルクが大きい場合、微風では回転を始めることができない。そこで、コギングトルクを低減する技術を開発する。

#### (2) 試作機による実験検証

試作機の製作：損失特性、トルク特性を最適化した構造に対して、磁気回路設計および機械設計を実施する。なお、洋上風力発電装置クラスの試作は困難なため、1kWクラスにダウンサイジングした試作機を製作する。

評価装置の開発：発電量、トルクを測定可能なシステムを開発する。モータではなく、発電機の評価を行うため、発電量を吸収可能な電子負荷を組み込む。また、従来のインバータでは発電機の評価ができないので、コンバータ機能を持たせることで、発電機の評価ができるように改造する。

試作機の評価：主に発電量、効率、トルク特性を測定する。

### 4. 研究成果

#### (1) 低速ロータ支持構造の提案

磁気ギアード発電機には従来の発電機には存在しない低速ロータが存在する。低速ロータは高速ロータとステータの間に配置されているため、最も磁束密度が高くなる。したがって、低速ロータに適切な支持方法を適用しなければ、渦電流により損失が増加してしまう。そこで、我々は低速ロータの磁性体内部に非磁性体のピンもしくはねじを組込み、これらによって低速ロータを支持する構造を提案した(図2)。

磁性体内部に非磁性体のピンなどを組み込むことで、非磁性体にとっては周囲の磁性体が磁気シールド(図3)となり、非磁性体まで磁束が届かない。したがって、非磁性体で発生する渦電流損を低減でき、磁気ギアード発電機の効率低下を抑制できる。

さらに、ピンと低速ロータの支持部によって電流ループが生成され、ブレイクトルクが発生するのを防ぐため、ピンやねじの一部に絶縁処理を施した。これにより、ピンによる損失をほぼなくすることができ、樹脂製のピンを用いた場合と同等の低損失を実現できた。

#### (2) 受動的なトルク定数変化

1kWにダウンサイジングした試作機を用いて発電特性を評価するため、DC電源と電子負荷を並列に接続し、PWMコンバータにより回転速度-トルク特性を評価した。その結果、負荷の増加に伴い、回転速度が増加する現象が確認できた。これは、負荷が増加するにつれて、両ロータの位相差が変化し、その結果、トルク定数が低下することが原因であることを連成解析により明らかにした(図4)。このことから、磁気ギアード発電機には、両ロータの位相差によってトルク定数が自動的に変化する特性があることが明らかになり、幅広い回転速度領域で高出力を出すことが可能であることがわかった。

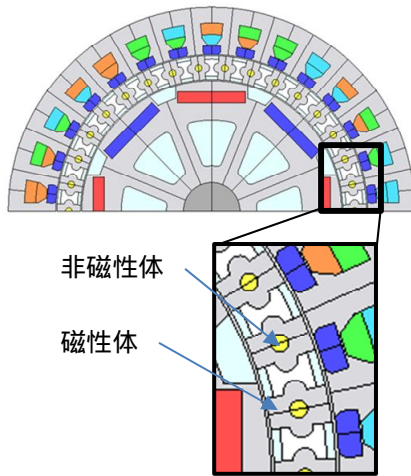


図2 提案する低速ロータ構造

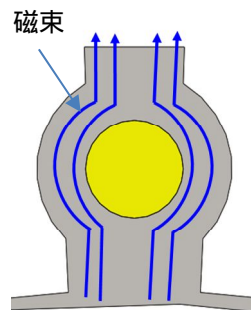


図3 非磁性体周囲の磁束の流れ

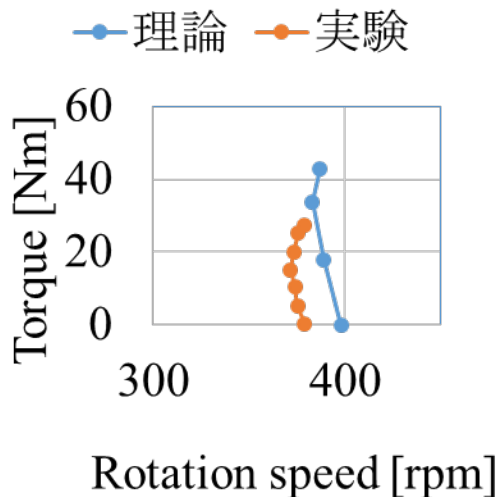


図4 N-T 特性

5. 主な発表論文等  
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計3件)

N. Niguchi, K. Hirata, Magnetic-geared motors with high transmission torque density, COMPEL, Vol. 34, No. 2, pp. 1-11,

2015

E. Morimoto, K. Hirata, N. Niguchi, Y. Ohno, Design and Analysis of Magnetic-Gear Motor with Field Windings, IEEE Trans. Magn., Vol. 50, No. 11, 8204204, 2014

新口昇, 平田勝弘, 大野勇輝, 小原章, 磁気ギアード誘導機の特性評価, 日本 AEM 学会誌, Vol. 23, No. 2, pp. 326-331, 2015

〔学会発表〕(計7件)

新口昇, 平田勝弘, 大野勇輝, 小原章, 磁気ギアード誘導機の特性評価, 第23回 MAGDA コンファレンス, 2014

森元瑛樹, 新口昇, 平田勝弘, 磁気 CVT モータの提案, 電気学会回転機研究会, 2014

延原柁吾, 平田勝弘, 新口昇, 磁気ギアード発電機の新形磁極片構造の提案, 平成 27 年電気学会全国大会, 2015

E. Morimoto, N. Niguchi, K. Hirata, Proposal of Magnetic-Gear Motor with continuously variable transmission gear ratio, ISEF, 2015

延原柁吾, 平田勝弘, 新口昇, 磁気ギアードモータの N-T 特性の考察, 電気学会回転機・リニアドライブ・家電・民生合同研究会, 2015

氷室健太, 平田勝弘, 新口昇, 仲田佳弘, 三相永久磁石式磁気ギアードモータの性能評価, 電気学会回転機・リニアドライブ・家電・民生合同研究会, 2015

S. Nobuhara, K. Hirata, N. Niguchi, H. Ukaji, Proposal of New-Shaped Pole Pieces for a Magnetic-Gear Generator, ISEM, 2015

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計1件)

名称: 磁気波動歯車装置

発明者: 平田勝弘, 新口昇 他8名

権利者: 国立大学法人大阪大学, 株式会社 IHI

種類: 特許

番号: 特許願 2015-008533

出願年月日: 2015年1月

国内外の別: 国内

取得状況(計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕  
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

新口 昇 (NIGUCHI, Noboru)  
大阪大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号：60614039

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

平田勝弘 (HIRATA, Katsuhiko)  
大阪大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：00403139