

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：53302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05969

研究課題名(和文) 2連結・相逆回転機構を持った小水力用水車発電機の開発

研究課題名(英文) Development of mini hydro-electric power generator having double rotors for hydro power twin water wheels

研究代表者

直江 伸至 (Naoe, Nobuyuki)

金沢工業高等専門学校・電気電子工学科・教授

研究者番号：00249781

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：小水力では大型水力とは異なり，流量および落差が小さなために水車や発電機本体に小水力用発電に適したものを開発する必要がある．本研究では，小水力エネルギーを効率よく回収するために考案した2連結逆回転水車発電機を開発することが目的である．本申請の2連結逆回転水車発電機は，電機子コイルロータと界磁永久磁石ロータが互いに逆方向に回転させることで出力が増加できる新規な小水力発電機である．また，励磁性能を高めるために考案された巻線界磁極と永久磁石極を持った同期発電機の電磁気特性を有限要素解析で明らかにした．

研究成果の概要(英文)：This study presents the mini hydro-electric power generator having double rotors. The micro-hydroelectric power generator requires to be a robust and a stable output. The generator has the reverse rotation twin rotor with the test apparatus. In first step the study is carried out to make the twin water wheel prototype test apparatus using a small size facility. The experiment has been varied the basic characteristics of a generator with twin water wheel prototype test apparatus using a small size facility. Moreover the study investigates the external load characteristics of a synchronous generator with axially arranged excitation and permanent magnet cores, using experiments and analyses.

研究分野：電力工学，電気機器

キーワード：水力 発電機

### 1. 研究開始当初の背景

原子力発電の運転停止による電力供給不足や環境の悪化の懸念から自然エネルギーの利用が注目されている。今後、自然エネルギーの一つである水力エネルギーのさらなる利用が求めている。特に農業用水や小規模河川を対象とした小水力（ここでは 100kW～1kW とする）にも注目が集まっている。本研究では住民のそばにある水源を利用した地産地消の地域システムを開発することを目指している。

小水力では大型水力とは異なり、流量および落差が小さなために水車や発電機本体に小水力用発電に適したものを開発する必要がある。本研究では小水力のエネルギーを効率よく回収するために考案した 2 連結逆回転水車発電機を開発することを目標としている。また、発電機本体の励磁性能を高めるために、巻線界磁極と永久磁石極を持った同期発電機の振る舞いについても検討する。

### 2. 研究の目的

本研究では水力エネルギーを効率よく回収するために考案した 2 連結逆回転水車発電機を開発することが目的である。本申請では互いに逆方向に回転する水車を発電機の電機子と界磁に直接接続して回転させることで、出力が増加できる新規な小水力（マイクロ水力）水車発電装置を試作した。また、励磁性能を向上させるために考案された巻線界磁極と永久磁石極を持った同期発電機の電磁気特性についても明らかにする。

### 3. 研究の方法

本研究では互いに逆方向に回転する 2 連結水車を発電機の電機子および界磁と直接接続して回転させることで、出力の増加が期待できる新規な小水力（マイクロ水力）水車発電装置を試作した。また、界磁巻線と永久磁石界磁を同時に持つ発電機モデルについても有限要素法を用いて検討した。

#### (1) 試作実験装置

試作発電機本体は市販されている発電機の電機子および界磁を自由回転できるように回転軸を改造したものを製作した。試作実験機では互いに逆方向に回転ができるように駆動用モータを取り付けた。駆動用モータの回転方向は電機子および界磁が逆方向に回転するように設定した。電力を外部に取り出すために、電機子にはスリップリングとブラシを各 3 個取り付けた。ブラシ端では三相交流が得られる。この試作実験機により相逆回転発電機の機械的な特性および構造上を評価した。

#### (2) 試作機による実験

試作実験機を用いて無負荷および外部負荷特性を計測した。駆動用モータにより発電機の相対回転速度 100～640min<sup>-1</sup>の間で変化

させて無負荷端子電圧特性を計測した。同時に試作発電機と駆動用モータを含んだ機械損も計測した。外部負荷試験では、各相対回転速度における外部抵抗の変化による端子電圧を計測した。外部負荷特性では、各回転速度の端子電圧および出力特性を明らかにできる。

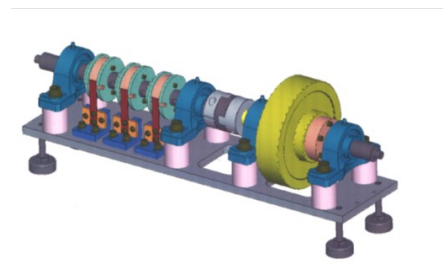
#### (3) 界磁巻線と永久磁石界磁を同時に持つ同期発電機

界磁巻線と永久磁石界磁を同時に持つ同期発電機の特性を有限要素解析で誘導起電力や出力を検討した。界磁巻線と永久磁石界磁を同時に持つ同期発電機の検討では有限要素法による電磁界解析と共に実験機による発電機の損失、効率も検討した。

### 4. 研究成果

#### (1) 試作機の製作

相逆転型発電機の試作実験機の概要図および外観を図 1 に示す。試作発電機はコイルロータと磁石ロータにそれぞれ駆動用モータが取り付けられている。駆動用モータは独立して制御できる速度コントローラ付き AC モータである。試作発電機および駆動用モータは同一軸上にカップリングで連結されている。外部に電力を出力するためのブラシとスリップリングは金属同士が直接接触するものとなった。各 AC モータには 1/5 のギヤが直付けされていて、320min<sup>-1</sup> まで回転速度を調整できる。駆動モータは別々に運転することができるように独立で速度調整器を取り付けているので、相対速度は 640 min<sup>-1</sup> となる。



(a) 試作実験機の概略図



(b) 試作実験機の外観

図 1 試作機

## (2) 試作の構造上の評価

試作の相逆回転型発電機ではブラシとスリップリングが既成品でないため、軸方向に長くなり、機械損が想定した値より大きくなった。機械損を減少させるためには、軸方向の長さを短縮する必要がある。検討の結果、カップリング間を詰めることで短縮することが可能である。摺動部分は金属板をそのまま使用しているが、発電動作では支障なくコイルロータおよび磁石ロータが回転することができた。

## (3) 試作発電機の発電動作の確認

電機子と界磁が相逆回転する発電機本体の発電動作を検討した。試作発電機では、無負荷時に電機子のみと永久磁石界磁のみ、および相逆回転の3種類の誘導起電力を計測した。計測結果として、電機子のみを回転、永久磁石界磁のみを回転したときの誘導起電力値の合計は、電機子および永久磁石界磁を相逆回転時誘導起電力と、ほぼ一致した。この結果から、試作発電機は設計通りに製作できていることが確認できた。

## (4) 無負荷誘導起電力と回転速度の関係

電機子と界磁の相対回転速度  $100 \sim 640 \text{min}^{-1}$  時における無負荷誘導起電力を計測した。図2に相対回転速度  $N$  とUV間無負荷誘導起電力の実験結果を示す。誘導起電力は、通常の同期発電機と同様に回転速度と比例関係を示す。この試作発電機は水力や風力に利用することを想定したため、回転速度は  $640 \text{min}^{-1}$  程度まで計測した。ブラシは銅製板であり、接触幅  $3\text{mm}, 6\text{mm}, 12\text{mm}$  の3種を製作した。発電機回転速度が  $100 \sim 640 \text{min}^{-1}$  で機械損は  $30 \sim 35\text{W}$  であった。

## (5) 外部負荷特性

負荷は三相交流および直流のいずれにも供給可能である。外部負荷試験では、電機子の出力端にダイオードフルブリッジ回路を通じて負荷を接続した。 $300, 400, 500, 600 \text{min}^{-1}$  の相対回転速度に対して負荷抵抗を4種類変化させて実施した。図3の外部抵抗負荷特性の結果では、負荷電流が増加による同期発電機の電機子反作用で端子電圧が降下している。この特性は一般の同期発電機と同様な傾向を示している。試作発電機の効率は、相対回転速度  $600 \text{min}^{-1}$  のときに約40%となり、試作による効率としては妥当な値となった。実験装置では軸トルクが実測できないため、効率を算出する入力値に試作発電機と駆動するモータの損失を含んでいる。実測効率では駆動用モータ損失を差し引いたものが入力となるため、発電機本体の効率は40%よりも高い値となる。実験結果の検討から、本試作機は軸長が若干長いために機械損が大きくなっている。今後軸長を短縮すれば、機械損の低減が期待できる。また、同時に負

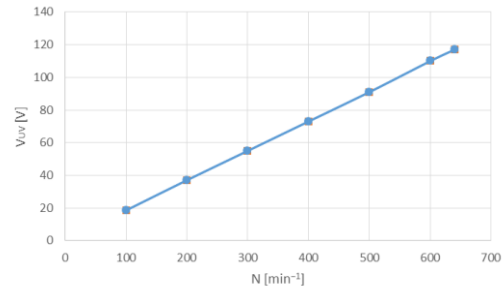


図2 相対回転速度  $N$  とUV間無負荷誘導起電力の関係

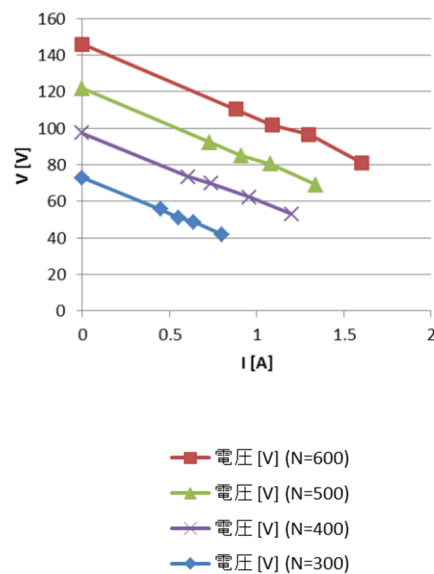


図3 外部抵抗負荷特性

荷電圧および電流波形も確認した。

## (6) 界磁巻線と永久磁石界磁を同時に持つ同期発電機

解析では無負荷におけるギャップの磁束密度や巻線界磁巻線による磁束密度を解析した。巻線界磁のコアと永久磁石コアの磁束密度は、巻線界磁による磁束の影響を完全には無視できないが、巻線界磁による磁気回路と永久磁石界磁の磁気回路は、ほぼ分離してよいと考えている。図4はギャップ中における磁束密度の大きさを表したものである。界磁巻線による磁束密度は界磁電流により大きさが調整出来ていることが判る。永久磁石の磁束密度の大きさは、界磁巻線による磁束によって若干変動している。界磁巻線は永久磁石のコア上にも存在するために、影響を受けたものと考えられる。界磁巻線を界磁巻線コア上だけに巻けば影響は少なくなる。図5は外部抵抗負荷試験の結果を示す。実験では

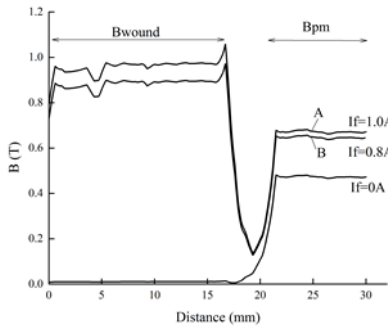


図4 ギャップ中における磁束密度の大きさ

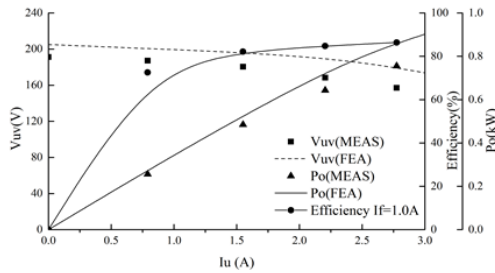


図5 外部抵抗負荷特性

端子電圧および出力の実測値と解析値が示されている。

効率は入力  $P_{in}$  および出力  $P_o$  の実測値から求めた。入力トルクは軸に取り付けた軸トルク計から得た。効率は(1)式で計算した。

$$\text{効率} = P_o / P_{in} \times 100 \quad \% \quad (1)$$

本発電機の実測効率は 85% を超える値を得た。試作による効率としては満足する値となった。

(7) まとめ

相逆回転型発電機と界磁巻線と永久磁石界磁を同時に持つ同期発電機について述べた。本研究期間で実施したことを下記に示す。

【相逆回転型発電機】

- ・相逆回転型発電機の構想・設計に基づき試作発電機を製作した。
- ・試作機により発電機構造、発電動作を確認がした
- ・試作機を用いた実験により無負荷および外部抵抗試験を実施することで、発電機性能を明らかにした。

【界磁巻線と永久磁石界磁を同時に持つ同期発電機】

- ・有限要素解析により発電機の電磁界解析を行い、磁束の振る舞いを明らかにした。
- ・実測値と解析値は比較的良好に一致し、その解析結果の妥当性を明らかにした。
- ・本解析により設計の指針を得ることができた。

最後に本研究にご協力頂きました皆様に感謝申し上げます。

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 0 件)

〔学会発表〕 (計 3 件)

(1) N. Naoe, Characteristics of Synchronous Generator with Wound Excitation and Permanent-Magnet Exciting Cores, IEEE INTERMAG Europe 2017

(2) 東出充生, 直江伸至, 中村重貴, 相逆回転型交流発電機の試作, 平成 29 年度電気関係学会北陸支部連合大会

(3) N. Naoe, K. Takehisa, A. Imazawa and S. Nakamura, Bridge structure type micro hydro power generating system and local region implementation, Proc of the 2017 International Conference on Electrical, Electronics and System Engineering . (ICEESE 2017)

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○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

直江伸至 (NAOE NOBUYUKI)

金沢工業高等専門学校・電気電子工学科・  
教授

研究者番号：00249781

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：

(4) 研究協力者

( )