

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：53302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K04118

研究課題名(和文) 落差・傾斜の緩やかな箇所を利用するリニアジェネレータ小水力発電システムの開発

研究課題名(英文) Development of a linear generator system for low head hydroelectric power

研究代表者

直江 伸至 (NAOE, NOBUYUKI)

国際高等専門学校・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) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、落差・傾斜の緩やかな河川・水路での小水力エネルギーを効率よく回収するために考案したリニアジェネレータシステムを開発することが目的である。小水力では大型水力とは異なり水量および落差が小さいために、発電方式や発電機本体に小水力用発電に適したものに必要がある。本発電システムは、振動翼とリニアジェネレータを機械的に連結することで、落差・傾斜の緩やかな河川・水路からの水力エネルギーを効率よく回収しようとするものである。実施内容は風流および水流によって上下運動する供試体を試作し、その特性を検討した。2種磁束並進構造のリニアジェネレータも試作・検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

落差・傾斜が緩やかな小規模河川・水路において、落差・水量不足から水車発電機を設置することが適さない場合がある。本システムは傾斜が緩やかな水路でも発電が可能であり、その構成には水車の代わりに上下振動出来る振動体を使用する。この振動体にリニアジェネレータを連結することで低速領域での特性を改善しようとするものである。本研究はこれらを機能的に組み合わせた効率的な発電システムを構築することを目指して実施した。

研究成果の概要(英文)：This study presents a linear generator system driven by flow-induced vibration for low head hydro power. The linear generator consists of a double-core stator and a translator. The excitation of linear generator is adjusted by magnets and excitation coils. The induced voltage of an output coils was confirmed using the trial experimental machine. Characteristics of the linear generator were analyzed with the finite element analysis. The flow-induced vibration system was tested by the water flow facility. The performance of a prototype apparatus was verified by experiments in the flow-induced vibration.

研究分野：電力工学・電気機器

キーワード：発電 風流 水流 渦励振 リニアジェネレータ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

原子力発電の運転休止による電力供給不安や CO₂ 排出などの環境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られている。現状では大規模な水力発電はかなり開発され、中規模な発電所改修が電力会社で進められている。一方、未利用な小エネルギー利用の観点から農業用水や小規模河川を対象とした小水力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。現状では未開発なポテンシャルを持つ河川が多く存在する。ここでは小規模河川を次の2種類に分類する。落差・傾斜が小さく、比較的ゆっくり流れている箇所、谷・尾根などの落差の大きい箇所に分ける。これらを一方式の発電システムでカバーすることは難しいと考えている。そこで、傾斜や落差に合わせた2方式の発電装置を河川特性に合わせて設置することで資源の有効活用できると考えるものである。発電装置は各々特性に合わせてものを設置し、これらの発電装置を有機的に繋いだ発電機群を構成することが重要である。今回の研究対象は落差・傾斜が小さい箇所に設置する振動翼トリニアジェネレータの組合せによる発電システムである。

2. 研究の目的

本研究は落差・傾斜の緩やかな河川・水路箇所、小水力のエネルギーを効率的な利用することを考えたりニアジェネレータシステムを開発することが目的である。研究の具体的な内容は、落差・傾斜の緩やかな河川・水路からエネルギーを得る方法として、水流および水量が小さな水力に適用できる振動翼トリニアジェネレータを連結した発電システムを開発することである。

3. 研究の方法

本研究では次の項目に分けて実施する。駆動力を供給する振動翼の試作とその特性、発電機としてコアレスリニアジェネレータを使用時における電磁界解析と最大出力、充電特性の算定、2種磁束並進構造リニアジェネレータの試作検討である。

流れで上下運動を発生する振動翼の試作とその特性

モデル用の風および水の流れで上下運動する円筒振動体を試作し、その上下移動量(振動量)および動作を画像より確認する。風流による実験装置の構築は、机上に設置可能な大きさとして供試振動の円筒の振動量を計測する。水流による実験では、施設内ある回流水槽を用い、供試円筒振動体の振動量を観察する。振動体の評価は、回流水槽で振動体が支障なく上下振動できるものとする。いずれの振動体とも試作する。

コアレスリニアジェネレータ

多極磁石を持ったリニアジェネレータにおいて、最大電力となる外部負荷抵抗値を計測する。負荷としては電子負荷または抵抗器を使用し、最大電力となる抵抗値を求める。また、電磁界解析 FEM を使用して、出力コイルの起電力波形のシミュレーションを実施する。

2種磁束並進構造リニアジェネレータ

モデル用の2種磁束並進構造リニアジェネレータを試作し、その動作を確認する。2種磁束は磁石と巻線による励磁で構成し、出力コイルで誘導電圧を観測する。

4. 研究成果

-1 風流用供試振動体の上下振動を発生する振動翼

円筒振動体は渦励振動によって運動する。円柱体を流れの中に置くとカルマン渦励振により垂直方向に作用する力が生じ、固有振動数と一致すると共振現象が生じる。カルマン渦列の流出周波数は流速にほぼ比例するため、その系の固有振動数が分かれば比較的容易に予想できる。しかしながら実際は円柱体が振動するため、流れが影響し渦励振動の予想が難しくなる。

風流による渦励振動による効果を確認するために実験装置を試作した。図1は実験で使用したアルミ製円筒振動実験装置の概略図を示す。円柱体の直径Dは40mm、長さLは140mmの円環で、アスペクト比L/Dは3.5である。供試体の両端には上下移動のためのガイドレールを挿入するための穴がけられている。ガイドレールは供試体が上下移動を補助するために取り付けられている。供試体は筐体から2本のバネによって吊り下げられている。バネは供試体がほぼ中央になるように長さを選定した。供試体はバネによって上下に自由に移動できる状態である。実験では供試体の中心部付近に風の流れを与えるために、筐体の前方に長方形の窓を持つ板を取り付けた。供試体の中心付近に風の流れを与えることで供試体後方にカルマン渦が発生すると考えた。窓の形状は長方形を基本として開口部を設けた。窓は10×120mm、20×120mm、10×60mmおよび十字型を用意した。風の流れは市販のプロアを用い、プロア口から窓までの距離を400mmとした。振動量は実験装置に貼られたスケールをビデオカメラで撮影した画像から読み取った。計測は

基準より上下の振動量を確認した。図2は窓幅 10×120mm としたときの基準から Z 軸上方向振れ幅、基準から Z 軸下方向および Z 軸振れ幅の計測結果を示す。全体に計測値にはゆらぎがあり、風が当たる初期状態に影響を受けると考えている。同図より Z 軸振れ幅は、最大 22mm、最小 9mm、平均 15.6mm であることが分かる。振動現象はバネ、供試体の物理定数により渦が周期的な変化により揚力も変動することによる。次に供試体の風圧を変更するためにプロアと供試体までの距離を変更した。本実験で使用したプロアは本体に風量などを変更する機能がないために距離を変更した。実験では距離を 500mm と 600mm について計測した。振動値は 500mm で 19.1mm、600mm で 19.2mm となった。ただし 600mm は振動量の分散が大きかった。

-2 水流用振動体

水流用の振動供試体について回流水槽を用いて実験を実施した。供試体は直径 $D=50$ mm アルミ製とバネ機構で試作した。この実験では供試体の浮力が不足していたため、数ミリの上下振動のみであった。そこで、改善策として浮力増のために、図3のような塩ビパイプ直径 $D=114$ mm に変更した。さらに供試体に受ける水流をスムーズにするための円板を付加した。その結果、供試体は流速 0.6 m/s 付近で起動し、流速を速めても振動を継続する結果が得られた。最大ストロークは設計値 50 mm を超える値を示した。また起動流速は運動方程式から求めた理論値と近い値で振動し、理論値と実測値のよい一致が見られた。

コアレスリニアジェネレータ

多極磁石を持ったリニアジェネレータにおいて、最大電力となるとき外部負荷抵抗値と充電特性を計測するために試作機を使用した。試作機は磁石固定子と巻線移動子をもつ構造である。固定子は 7 個の対向配列磁石からなる。移動子は 6 個のコイルが巻いてあり、コイル 1 個あたり 350 巻である。実験ではコイルに整流回路と平滑回路を接続し、出力電圧を計測した。平滑回路の構成には、 $4700 \mu\text{F}$ のキャパシタ 2 個と 1.5 mH のインダクタを組み合わせたものを製作し、リップル率で比較したところ、並列キャパシタ 2 個とインダクタで構成された回路で良好であった。図4は充電キャパシタの電圧を時刻ごとの値を示したものである。平滑回路付では安定しているが平滑回路なしでは電圧値がゆらいでいることが確認できる。図5は可変抵抗器または電子負荷の抵抗値を 10 から 200 まで変化させたときの出力特性（電力）を示す。この図から最大電力は 100 付近である。さらに電磁界解析有限要素法を使用して、出力コイルの起電力波形解析を実施した。解析値は実験機の機械的な機構による影響があり、若干の誤差はあるがほぼ実測値と良い近似が得られた。

2 種磁束並進構造リニアジェネレータ

図6は磁石による励磁と巻線による励磁を兼用する 2 種磁束並進リニアジェネレータの試作機を示す。磁石と巻線による励磁状態での出力コイルの誘導電圧波形を実験的に観察した。移動子および固定子コアのギャップ近傍に磁石がない構造としたため、コギングトルクが小さくできた。これまでの研究によって小水力エネルギーを利用した駆動機構と発電機構の基本的な構造および特性を把握することができた。

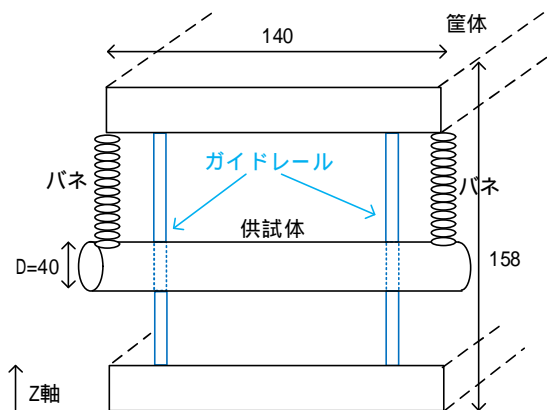


図1 円柱振動実験装置の概略図

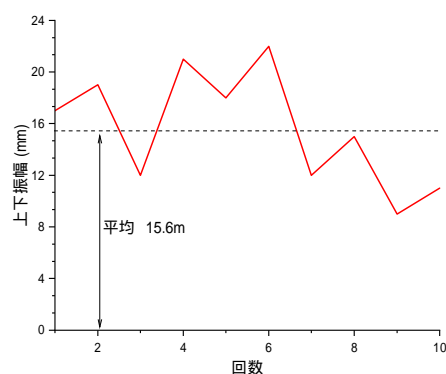


図2 基準から Z 軸振れ幅

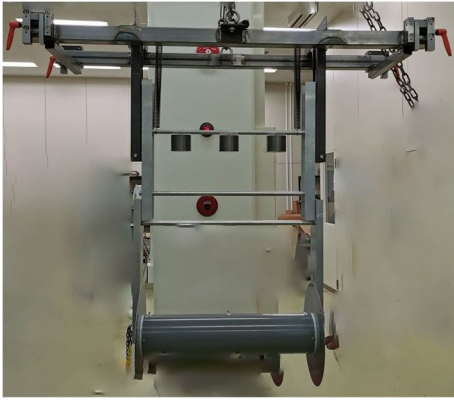


図3 水流用の振動供試体

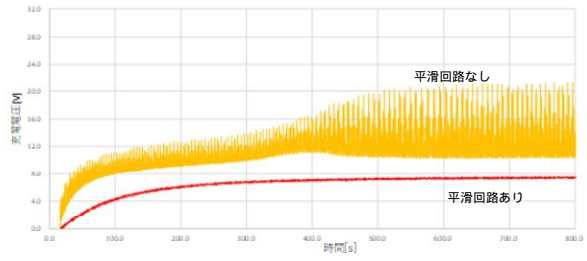


図4 充電電圧特性

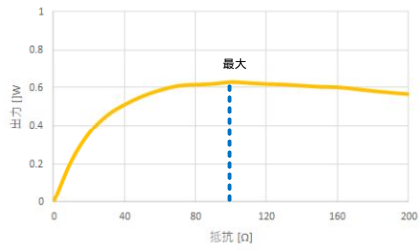


図5 最大出力



図6 2種磁束並進構造リニアジェネレータ

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 直江伸至
2. 発表標題 風の流れによる渦励振動発電装置
3. 学会等名 2022年電気設備学会全国大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------