

令和元年6月1日現在

機関番号：37102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06980

研究課題名(和文) 低コスト高効率ポータブル型ダリウス水車の営農用傾斜水路への適用と設置指針の確立

研究課題名(英文) Application and installation of low cost and high efficiency portable type Darrius hydro turbine to inclined agricultural waterway

研究代表者

松下 大介 (Matsushita, Daisuke)

九州産業大学・理工学部・准教授

研究者番号：60284535

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：平地から山手にかけて多く存在する営農用傾斜小水路に設置できる、独立電源用途のポータブル型ダリウス水車を開発した。傾斜水路においては水車を没水させるために下流堰を必要とするが、溢水を避けるためには高性能な水車が必要となる。本研究ではダリウス水車が上流側で高性能となる特性を利用し、下流堰を設置せずに高効率な上流側のみ没水状態とする設置コンセプトにより性能向上を実現した。また水車とマッチングのよい防水型コアレス型発電機を開発し、水車システムの低コスト化と高性能化を進めた。いくつかのフィールドテストを経て、小電力用途の電力供給システムとして実用化へ向けた進展があったといえる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

翼位置により効率の異なるクロスフロー水車の特徴を生かし、比較的低効率な小水力において、設置コンセプトの工夫により実用化へ向けた高効率化と低コスト化を実現したところに学術的意義があると考えられる。また、普及の進みが遅い小水力への1つのアプリケーションを提示し、主に農村地域における水源の有効利用とエネルギー有効利用への啓蒙効果を持つところに社会的意義があると考えられる。

研究成果の概要(英文)：A portable Darrius hydro turbine that can be installed on an inclined small agricultural waterway, which exists in many sites near urban areas. In the inclined waterway, the downstream weir is required to immerse the hydro turbine. In order to avoid flooding, however, a high performance hydro turbine is required. Darrius hydro turbine shows the good performance on the upstream side of the runner, so the concept that setting only the highly efficient upstream side in a submerged condition without installing the downstream weir is effective.

A waterproof type coreless generator also is developed that matches well with the Darrius hydro turbine, and promoted cost reduction and high performance of the whole hydro turbine system. After several field tests, it has been made for practical use as a power supply system for small power applications.

研究分野：流体工学

キーワード：再生可能エネルギー 未利用エネルギー 小水力 ダリウス水車 性能向上 低コスト化

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

小水力発電は再生可能エネルギーの中でも、太陽光や風力と比較して、出力の時間変動周期が長いこと、電力平滑化に有効な発電方法である。一方で、水利権や工事コストの問題があり、都市近郊部での有効利用に克服すべき課題は多い。

現実的に利用しやすい小水力源としては、平地に近い立地で電力需要地近傍で発電できる営農用水路が考えられる。しかしながら、このような極低落差条件下では最適な水車形状がない。研究代表者らはこの極低落差領域に適応できる高性能ダリウス形水車を開発し、上流堰にノズルを設置することで、効率向上と構造簡易化を実現した。

さらに、複数個所でのフィールド試験結果から、性能向上のみならず、流量変動やゴミ流下などの現実的に直面する課題についても対応を検討してきた。この試験において、降雨時や営農用水など多くの流量変化要因のため、独立電源として利用する場合に、安定した電力供給を行うことが困難であることが明らかになった。また、このような水路においては、落差を確保するために水車の一部を水面より高い位置で空転させる必要が生じている。この点において水路設計において、営農用水路の設計の際には傾斜と想定流量から水路高さを決定しており、例えば水車の様な流れの障害物となる機器の設置は想定していない。

水車効率は落差（上下水位差）に対する出力で定義されるため、性能の低い水車では上流水位上昇に伴い容易に溢水してしまう。よって、小水路への水車設置には高効率の水車の選定が必須となる。

2. 研究の目的

本課題では、研究代表者らが開発してきたノズル付きダリウス形水車を用いて、(1)傾斜小水路に設置したダリウス形水車の性能向上と設計パラメータの最適化、(2)水車設置指針の確立および出力増のための多段設置と制御システムの開発、(3)流量変化に応じたシステムの最適制御、のそれぞれを低コストで実現することを目的とする。

(1)については、本課題の準備段階として、小水路に工具等なしで容易に設置できるポータブル型ダリウス形水車を開発した。プロトタイプ水車では営農用の小電力用途としても発電量が不足するため、ランナ構成部品の最適化、水車とマッチングのよい発電機の開発により性能向上を試みる。

(2)については、一般的に見て、営農用小水路は最大流量を想定した流路断面積により水路幅および高さを決定しており、水田への導水期間を除いては非常に低水位であることが多い。ダリウス形水車においてはランナ直上流部で落差が生じるため、傾斜水路における越水対策はこの部分のみで行えばよく、水路長に対する水車設置影響区間を非常に短くできる特徴がある。また、ダリウス形水車はほとんどの部品が二次元断面形状で構成されるため、他の形式の水車と比較して発電機や電力変換部分を除く部品の調達コストが低く抑えられるメリットがあり、水車の多段設置が現実的な出力増の手法となり得る。傾斜地においては下流堰を設置しなければランナの一部が非没水状態となるが、ダリウス形水車においては、ランナ下流側の性能が上流側に比べて極端に低いこと、下流部においては空転させる方が高効率となる。この設置コンセプトを利用した性能向上を試みる。

(3)については、流量変動に応じた部分負荷制御を確立する。本課題で検討している水車は、ダリウス形であり、高速回転で発電機とのマッチングを向上させる利点があるのと共に、低い自己起動性を含む低速における性能が低いことが欠点となる。これは、発電負荷の制御が重要な因子であることを示しており、水車が失速する前に負荷を減じる手法により、効率よく電力を利用できると考えられ、実験的手法によりこの制御の最適化を進める。

3. 研究の方法

本課題の推進は主に研究代表者により行われ、実験水路を用いた性能計測および制御実験に加え、フィールド試験における変動要因調査により設置コンセプトおよびシステム最適化を行う。まず従来型ダリウス水車の設計指針の適用範囲を修正し、傾斜小水路への設計指針を確立する。次に水車ランナ部における流動様相の性能への影響を調査する。その後、制御を含む異なる設置条件へ適応したダリウス水車の設計指針を確立する。また、部品形状などの最適化されたダリウス水車と、それとマッチングのよい発電機を開発し、低コスト・高性能な小水力発電システムを実現する。

まず、傾斜地におけるダリウス水車のランナが非没水となる条件において、ランナ形状および発電機構成の最適化を行い、周囲流れ場の制御によって性能向上を試みる。このような流れ場においては、液面位置を含むランナ性能を三次元的に捉える必要が生じる。過去の研究では2次元CFDにより翼とケーシング部分との干渉と性能の関係を調査しているが、これをもとにして、下流堰を設置せずランナの下流側が水面上に出る設置形態における発電特性を実験的に調査し、最適運転回転数の設計指針を見積もる。

また、発電機の構成要素を水車特性とのマッチングの面から最適化する。このことにより、水車システムの発電性能が向上する。

さらに、フィールドテストにより得られた運転・出力データを基にした、営農用傾斜小水路の規格および流量に応じた設置指針確立を目指す。

4. 研究成果

本課題の研究期間において、研究目的に応じた(1)ダリウス水車の構成部品および発電機開発による性能向上と低コスト化の実現、(2)設置コンセプトの確立と流れ場制御による性能向上、(3)水車システムにおける制御系の確立、を成果として挙げる。

(1)については、まず過去の研究における知見を元にピッチ円に沿ったそり翼および逆そり翼のランナを製作し、対称翼型との性能比較を行った。ここでは翼型の性能による効果よりも入口ノズル端との隙間の方が性能向上に寄与することから、従来の対称翼の方が高性能であることが分かった。ただし、翼のランナ外周側がピッチ円に沿う形状であれば性能向上が見込める可能性があり、今後の課題として翼型の修正を検討する価値があるといえる。次にランナ構造を傾斜水路に向けた設置コンセプトに合わせて見直し、上部片持ちとすることでランナ内から下方への流れの誘導が容易な形状とした。このことにより、ランナ上流部の高効率となる翼位置を通過した流体が下方へ排出される効果が増し、結果として高回転化と高効率化を実現した。

また、従来は市販の発電機を利用していたが、湿気環境においては発電機内の一部部品から錆が広がることとグリスが流出していくことが問題として明らかになった。小水力用途では完全な防水を行うことによる機械損失の増大が効率低下を招くため、本研究期間においてグリスレスベアリングを用いた防水発電機を開発した。コア数と巻線径の最適化および磁石の選定により市販の発電機よりダリウス水車とのマッチングのよい構成となった。このことにより低コスト化と軽量化も進み、営農用の小電力用途として実用レベルの発電システムとなった。

(2)については、傾斜水路に合わせた下流堰なしの設置コンセプトを利用し、水車設置角度および設置高さを最適化することにより、適正な設置角度と高さの選択によりランナの低効率翼位置をより非没水状態とすることができた。また、ランナ内部に障害物を設置することで流れをより下方へ誘導することができることを示し、適切な形状の障害物設置と設置高さの最適化により水車効率が16%増加する結果となった。この最適化された設置状態においては、小水力で問題となるごみの流下問題に対応する対策となるスクリーンの設置によって、水車直上流での流速減少が発電量低下に与える影響がごく僅かであることも示した。

(3)については、制御系回路を水車搭載可能なサイズにダウンサイジングし、さらに性能計測と制御におけるインターバル時の消費電力量を抑えることで省電力化を進めた。このことと発電性能向上の結果、発電時の電力のごく一部を消費して計測とシステム制御ができるようになった。またダリウス水車の欠点である自己起動性の問題への対応として、流量減少による回転数低減を監視し、停止に至る状態では電氣的負荷を減じて回転数を維持するシステムを構築した。このことにより、フィールドでの安定運転へつなげると考えられる。

以上の成果により、営農用傾斜小水路に適合したポータブル型ダリウス水車システムの実用化にむけた進展が見込めたと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1件)

松下大介, 岩本渉, 渡邊聡, 津田伸一, 菊川裕規, 古川明德, 傾斜側溝の浅水流におけるポータブルダリウス水車の水車性能に関する考察, ターボ機械, 査読有, 7pages, (校閲後掲載待ち), 2019.

〔学会発表〕(計 6件)

恵良俊甫, 新門義也, 松下大介, 古川明德, ポータブル型ダリウス水車の性能評価に関する研究, 第78回ターボ機械協会(富山)講演会, 6pages, 2017.

松下大介, 恵良俊甫, 新門義也, ポータブル型ダリウス水車の性能に関する研究, 日本機械学会九州支部久留米講演会, 3pages, 2017.

河野秀昭, 磯畑隆馬, 恵良俊甫, 松下大介, 極低落差におけるポータブル型ダリウス水車の設置コンセプトと性能に関する研究, 日本機械学会九州支部第71期総会・講演会, 2pages, 2018.

太田快陸, 大楠航平, 新門義也, 松下大介, ポータブル型ダリウス水車用発電機の開発, 日本機械学会九州支部第71期総会・講演会, 2pages, 2018.

D. Matsushita and A. Furukawa, Installation Concept of Portable type Darrieus Hydro Turbine in Inclined Open Waterway, GRE2018, Yokohama, 4pages, 2018.

S. Era, Y. Shinkado and D. Matsushita, Study on Power Performance of Portable type Darrieus Hydro Turbine, GRE2018, Yokohama, 4pages, 2018.

〔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：
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：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：
ローマ字氏名：
所属研究機関名：
部局名：
職名：
研究者番号（8桁）：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：
ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。