

平成 30 年 5 月 11 日現在

機関番号：55502

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K07656

研究課題名(和文) 潮流発電技術を応用した農業用水路に設置の小水力発電システムによる地域再生の実現

研究課題名(英文) Realization of regional regeneration by small hydroelectric power generator attached to the agriculture irrigation canal applied by tidal stream generator

研究代表者

北風 裕教 (Kitakaze, Hironori)

大島商船高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：70342558

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)：人口の過疎化や少子高齢化が進む地域では、街路灯の維持費が減少方向にある。また、街灯も撤去されている。街路灯のない地域では、高齢者がつまずき夜間に転倒する事故が起きており、骨折のため高齢者は寝たきりで認知症が進み、そのまま死亡するケースもある。我々の研究グループは、電気代を極力抑えて街路灯を維持できるかどうかを検討している。これを実現するために、マイクロ水力発電を開発しており、発電した電気を使用して照明街路灯を検討している。研究の結果、ダリウス翼に窪みを与えることで我々はタービンの翼形状のより効率的なモデルを提案することができた。そして、トルクの改善を目指した実システムを開発することができた。

研究成果の概要(英文)：In the area with depopulation and declining birthrate and aging population, street lights maintenance cost is decreasing. Furthermore, street lights are also being removed. In the area without street light, an accident has happens which causes elderly to stumbles and falls over during the night. Due to fractures, elderly is bedridden and there are cases where dementia advances and dies. Our research group is studying whether it is possible to maintain the street light by suppressing the electricity bill as much as possible. In order to implement this, we have been developing a micro-hydroelectric power generator. We are considering lighting street lights using this generated electricity. As a result of the study, we were able to propose a more efficient model of the blade shape of the turbine by giving a hollow to the Darrieus blade. And we were able to develop the actual system aiming at improvement of torque.

研究分野：地域環境工学・計画学

キーワード：マイクロ水力発電 潮流発電 ダリウス翼 サボニウス翼 自然エネルギー

1. 研究開始当初の背景

近年、高齢化が進む日本ではバリアフリーの環境が求められている。しかしながら、国や県から割り振られる予算は産業規模や人口などに比例するため、過疎化・少子高齢化が進む地域では、道路の舗装や街灯の整備ではなく、撤去や回収などの縮小方向に進んでいる。街灯が少ない地域では、高齢者が夜間の外出中に段差につまずき転倒するケースが少なくない。骨折が引き金となり、寝たきり状態となり、痴呆が進んで亡くなってしまう場合もある。

これらの問題を解決するためには、過疎化地域においても十分な街灯を設置する必要がある。しかしながら、設置費用だけでなく、電気の使用量および維持費が国や地方の財政を圧迫するため、実現が難しい状況にある。

一方で、現在過疎化や少子高齢化が進む地域は、農業など一次産業で生計を立てる世帯が多い地域でもある。高齢化に加え人材不足により田畑を維持できない状況に陥っているが、水源の確保と下流までの河川と農業用水路に関しては十分に整備されている。よって、水の自然エネルギーの確保については、水利権に関する利害関係の問題をクリアできれば比較的容易に得ることができる。

一方、全国に設置される小水力発電システムは、速度エネルギーを利用するタイプ、圧力エネルギーを利用するタイプ、そして水の重さを利用するタイプなど様々であるが、その多くが大規模工事を要する 경우가多く、設置費用の問題も残る。

我々の研究グループでは、従来の潮流発電技術を応用して農業用水路や河川などの低速流れにおいても発電が可能となる小水力発電システムの開発を進めてきた。しかし、これまで開発してきたシステムは重量が数十キログラム以上で、寸法も 3.5m<sup>3</sup> 以上の筐体であり、容易に持ち運びや設置を実現することは困難であった。また、水車部は抗力で回転力を得るサボニウス翼と、揚力によって回転力を得るダリウス翼の混合型水車を多段構造にした形状であった。サボニウス翼は、自起動性は高いが流速が上昇するにつれて、翼自身が流れに対して抵抗となり、効率を著しく低下させる要因となっていた。さらに、従来システムは、回流水槽実験装置を利用して安定した理想の流れによる実験のみであり、実環境の実験は行われてはいなかった。実際の農業用水路など安定しない状況下での発電実験も求められていた。

2. 研究の目的

潮流発電システムを農業用水路に活用して電気の安定供給を実現することで過疎化、少子高齢化地域において夜間でも無料で LED 電灯をとることができる仕組みについて検討する。過疎化地域における道路の暗闇問題を解決し、安心して生活を送れる生活基盤を整えるユニバーサルデザインの仕組

みを確立させる。また、高専教育の基盤となる『ものづくり教育』において、農業用水路の発電機と LED 電灯、それらの制御システムを作り、地域に設置して学生は教育面で、住民は環境整備面で、お互いメリットのある仕組みづくりを実現し、地域再生に学生教育（学生自身）が密接に関係する社会を目指す。

3. 研究の方法

マイクロ水力発電機の効率向上及び小型化を目指すために、従来開発を進めてきた潮流発電システムを小型に改良する(図1)。発電機は表1に示すものとする。構造は錆に強いチタン製とし、軽量でありながら十分な強度を実現する。発電効率の向上のために、サボニウス翼とダリウス翼の混合型をやめて高回転時に抵抗となるサボニウス翼を取り除き、ダリウス翼のみとする。またその形状よりも、低速時に抗力が得られるように翼を加工して新型翼の開発を行う(図2)。開発した水車部は山口県大島郡で農業用水路としても利用される二級河川(三蒲川)に設置し、日中はバッテリーに蓄電し、夜間に LED 電灯を照らすことで、過疎化地域における夜間歩行の問題を解決する。この実環境におけるトルクと発電量について計測実験を試みる。

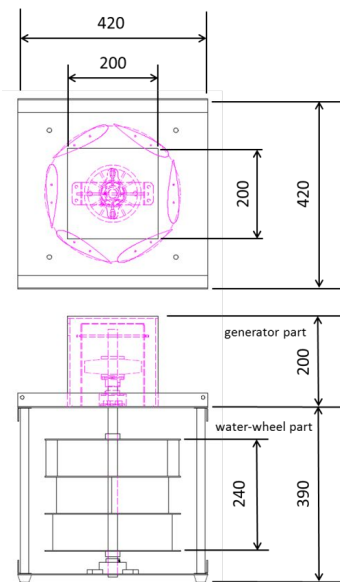


図1 . Design drawing of the Micro Hydroelectric power Generator System

表1 . The specification of the generator

Manufacturer	Sky-denshi Co.,Ltd.
Model	SKY-HR125
External dimension	125mm × 45mm
Structure	Permanent magnet type axial outer rotor type, coreless structure
Magnetic pole	24
Magnet material	Rare-earth magnet
Number of coils	18(6/3 phase)

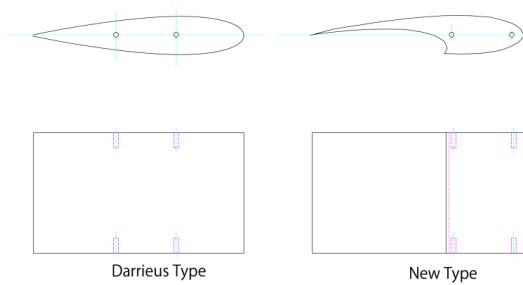


図 2 . Design drawing of the Darrieus type blade and the new type blade

#### 4 . 研究成果

抗力の向上のために、ダリウス翼の一部を図 2 のように改良する。流れを受けるヘッド部分よりも後方部分に窪みを付けて、水の流れ方向に対してヘッドが反対方向に向いた際に、窪み部分に抗力を受けやすい形状とする。本実験で用いた窪みは 3D-CAD による作成過程を容易にするために、NACA0018 型のヘッド部分と同形状でくり貫くことで作成した。抗力を受けつつも本来の NACA0018 型の揚力も維持できるようにしている。

新型モデルの性能評価のために、本校荒天航泊実験室にある回流水槽実験装置を用いて比較実験を行った。実験では各翼の基本性能を得るために、翼 1 枚のみの実験を行う。翼 1 枚を基盤に固定すると設置が不安定になるので、軸と対称になる位置に細い棒を固定する。流れ方向に対して、翼の角度の違いによる張力 (kg) の大きさを、流速を変化させた場合で計測した。計測した張力から、重力加速度  $9.81\text{m/s}^2$  と腕の長さ (0.1m) を乗じてトルクを算出した。また、各流速に対する回転数についても確認を行った。実験はダリウス翼と新型翼で行い、図 3 に示すように、流体の流れ方向に対して垂直方向に翼が配置される場合を角度  $0^\circ$  とし、 $30^\circ$  ずつ  $360^\circ$  まで増加させた場合を比較した。

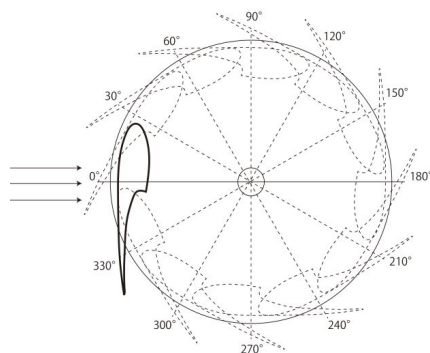


図 3 . Definition of the angle of the wing for the flow direction

##### (1)ダリウス翼 1 段 1 枚翼による結果

水の流れ方向に対して翼の角度の違いによるトルク値について、流速を  $0.5\text{m/s}$ 、 $1.0\text{m/s}$ 、 $1.5\text{m/s}$  の 3 通りに変化させた場合の結果を図 4 に示す。

この結果、水の流れ方向に対してダリウス

翼が  $60^\circ$  から  $210^\circ$  にかけてトルクがプラスに働き、流速が  $1.5\text{m/s}$  時の最大値が  $0.37\text{N}\cdot\text{m}$  となることが明らかとなった。発電機の無負荷時における回転数については、流速が上昇しても、全て  $0\text{rpm}$  であった。ダリウス翼は自起動性に乏しいため、人の手により初期駆動の補助をした場合、 $0.5\text{m/s}$  で  $0\text{rpm}$ 、 $1.0\text{m/s}$  で  $80\text{rpm}$ 、 $1.5\text{m/s}$  で  $130\text{rpm}$  の回転数を得ることができた。

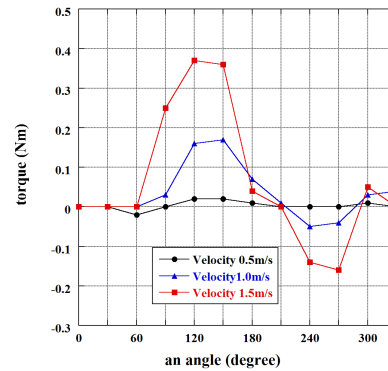


図 4 . Result of torque of the Darrieus type

##### (2) 新型翼 1 段 1 枚翼による結果

新型翼において、(1)と同様の実験を行った。流速を  $0.5\text{m/s}$ 、 $1.0\text{m/s}$ 、 $1.5\text{m/s}$  に変化させた場合の結果を図 5 に示す。

この結果、流れ方向に対して角度が  $60^\circ$  から  $240^\circ$  にかけてトルクがプラスに働き、流速が  $1.5\text{m/s}$  時の最大値が  $0.36\text{N}\cdot\text{m}$  となった。最大値はダリウス翼の場合とそれほど変わりがないと言える。また、 $270^\circ$  から  $375^\circ$  ( $15^\circ$ ) にかけて、トルクがプラスに働く傾向がみられ、その極大値は、 $0.34\text{N}\cdot\text{m}$  で非常に高いことが明らかとなった。逆に  $15^\circ$  から  $70^\circ$  にかけては、トルクがマイナスに働き、流速  $1.5\text{m/s}$  においては、最低値  $-0.23\text{N}\cdot\text{m}$  となった。発電機の無負荷時における回転数については、流速が上昇しても、全て  $0\text{rpm}$  であった。 $1.5\text{m/s}$  においては 4 回転後に負で働くトルクの影響により途中で失速し停止した。新型翼は全体的にトルクがダリウス翼よりも大きい、負のトルクも大きく影響してしまうことから、1 枚翼のみでは安定した回転に結びつかないことが明らかとなった。

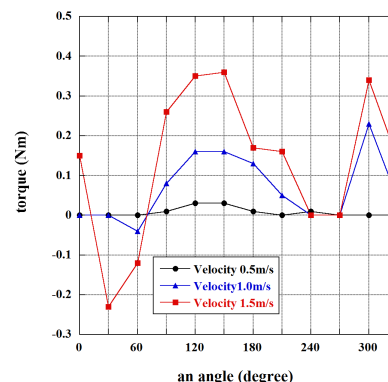


図 5 . Result of torque of the New type

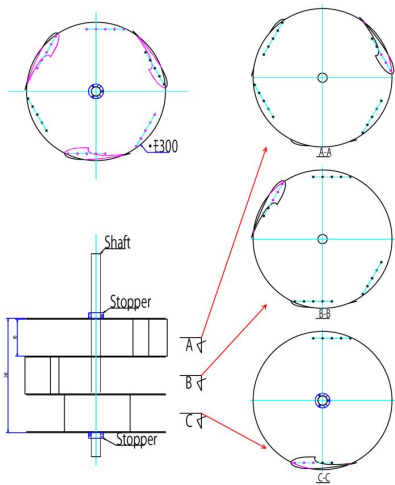


図 6 . Design drawing of the multi-level system's  
Third-level structure (1blade)

### (3) ダリウス翼と新型翼の比較考察

ダリウス翼は1枚翼では、自起動するだけのトルクは得られない。しかし、複数枚の組み合わせにより自機動性を高めることが可能であると考えられる。図 6 に、3 段構造で一番下の段の翼が流体の流れ方向に対して垂直方向に翼が配置される場合を  $0^\circ$  とし、 $30^\circ$  ずつ  $360^\circ$  まで増加させた場合のトルクについて比較した。3 段の多段混合型水車においてそれぞれの角度に対するトルクの平均を求めた場合、ダリウス翼で流速  $0.5\text{m/s}$  において  $0.00\text{N}\cdot\text{m}$  であり、 $1.0\text{m/s}$  で  $0.03\text{N}\cdot\text{m}$ 、そして  $1.5\text{m/s}$  においては、 $0.06\text{N}\cdot\text{m}$  であった。一方、新型翼では、流速  $0.5\text{m/s}$  において、 $0.01\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $1.0\text{m/s}$  において  $0.07\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $1.5\text{m/s}$  において  $0.13\text{N}\cdot\text{m}$  であった。これより、翼 1 枚では平均約 2.1 倍のトルクが得られることが明らかとなった。

また、図 4、図 5 の結果から新型翼を複数枚多段水車で組み合わせることによって、負のトルクを削除でき、ダリウス翼の多段水車よりも効果的な結果を得ることができると予想できる。新型翼 1 枚の 3 段構造を図 6 に示す。流速  $1.5\text{m/s}$  において、翼を  $120^\circ$  ずつ位相をずらして 3 段構造にした場合のダリウス翼と新型翼の理想値を図 7 に示す。この結果、どちらも負の成分はなくなり、ダリウス翼では平均  $0.19\text{N}\cdot\text{m}$  のトルクが得られ、新型翼では  $0.40\text{N}\cdot\text{m}$  と、ダリウス翼の約 2 倍のトルクが得られた。また、実際に回流水槽を用いた確認実験を実施した。流速  $1.5\text{m/s}$  の結果を図 8 に示す。この結果から、図 7 で予想した以上のトルクが、ダリウス翼と新型翼で得られた。予想では、新型翼においては、 $150^\circ$  で急激にトルクが下がるが、実際には  $150^\circ$  において下がることはなかった。しかし、 $60^\circ$  においては急激にトルクが下がる。また、 $270^\circ$  から  $300^\circ$  においても、一旦トルクが下がる傾向がみられたが、 $0.3\text{N}\cdot\text{m}$  以上の値であった。得られた回転数は、流速  $1.5\text{m/s}$  でダリウス翼では  $142\text{rpm}$ 、新型翼で

は  $82.5\text{rpm}$  であった。

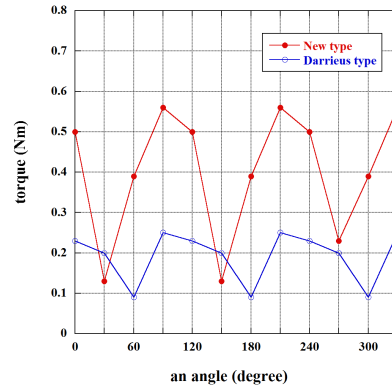


図 7 . The ideal Torque of the multi-level system's  
third-level structure (1 blade)

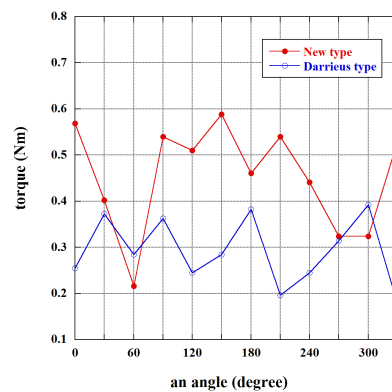


図 8 . The actual Torque of the multi-level system's  
third-level structure (1 blade)

### (4) 実環境における実験と結果

2017 年 4 月 19 日に、三蒲川において実験を試みた。2 日前に全国的な雨となり、周防大島町では局地的豪雨が発生したために流量も増加して 3 段構造の翼のうち、3 段目の中段まで水位が達した。流速は入り口付近で約  $0.6\text{m/s}$  であり、出口付近では約  $1.5\text{m/s}$  であった。この条件下におけるトルク実験の結果を図 9 に示す。

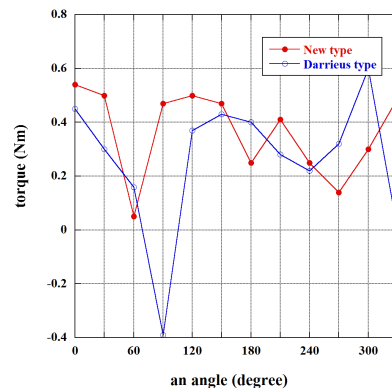


図 9 . The experimental result in high rate  
at the Migama river

この結果、ダリウス翼は  $90^\circ$  で順方向に対して逆方向の回転力が強く発生しており、そ

れがブレーキとなって安定した回転が得られなかった。これに対して、新型翼は60°で非常に弱いトルクとなるが、全体的に順方向の回転力となっていることが明らかとなった。ダリウス翼に比べて安定した回転が得られた。

これらの結果から、新型翼の多段型水車を用いれば、低速流れの河川においてもLEDライトを一定時間灯すことが可能なほどの発電量が得られることが示唆された。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2件)

(1) 北風裕教, 宮本文明, 綿野久美子, 砂田智裕, 堀義則, 本庄孝光: 農業用水路に設置したマイクロ水力発電システムのトルクの改善, 産業応用工学論文誌, Vol.6 No.1 (2018) pp.1-8 査読有

(2) 北風裕教, 村上秀隆, 堀義則: 潮流発電技術を用いた小水力発電システムの開発, 産業応用工学論文誌, Vol.4 No.1 (2016) pp.1-6 査読有

〔学会発表〕(計 10件)

(1) 岡部蒼太, 松村遼, 北風裕教: 深層学習を用いたカワウ認識システムの提案, 電子情報通信学会総合大会 D20-10 情報・システム後援会論文集2 pp.142 (2018)

(2) 永易克彰, 松村遼, 砂田智裕, 堀義則, 本庄孝光, 北風裕教: 農業用水路に設置したマイクロ水力発電による深層学習を用いた濁度情報取得システムの開発, 電子情報通信学会総合大会 ISS 特別企画 ISS-SP-029, p.144 (2018)

(3) 伊東萌樹, 松村遼, 北風裕教: 小水力発電装置を用いたカワウ検出システムの構築 -システム消費電力量と発電量についての考察-, 電子情報通信学会総合大会 ISS 特別企画 ISS-SP-039, p.154 (2018)

(4) 岡部蒼太, 砂田智裕, 堀義則, 本庄孝光, 北風裕教: 新型翼3段構造におけるマイクロ水力発電の開発と河川氾濫警告への応用, 電子情報通信学会総合大会 ISS 特別企画 ISS-SP-171, p.171 (2017)

(5) 綿野久美子, 北風裕教, 砂田智裕, 本庄孝光, 堀義則: ダリウス翼とサボニウス翼の混合型水車による小水力発電システムの開発, 日本高専学会年会 P203, pp.99-100 (2016)

(6) 宮本文明, 北風裕教, 砂田智裕, 本庄孝光, 堀義則: 回流水槽を用いた混合型水車の性能実験と実用化に向けての一考察, 日本高専学会年会 P205, pp.104-105 (2016)

(7) 北風裕教, 砂田智裕, 本庄孝光, 堀義則, 北村祐一: 小水力発電システムの開発とアマモ移植活動における地域再生活動の実践, 日本高専学会年会 C1-4, pp.23-24 (2016)

(8) 古川潤, 砂田智裕, 堀義則, 本庄孝光, 北風裕教: 潮流発電技術を用いた小水力発電システムの農業用水路に設置のための一

考察, 電子情報通信学会総合大会 ISS 特別企画 ISS-SP-158, p.158 (2016)

(9) 林鈴奈, 砂田智裕, 堀義則, 本庄孝光, 北風裕教: 多段混合型水車を応用した小水力発電システムの検証, 電子情報通信学会総合大会 ISS 特別企画 ISS-SP-157, p.157 (2016)

(10) 村上秀隆, 重本昌也, 堀義則, 北風裕教: 低速流れに対応可能な小水力発電システムの一考察, 日本高専学会年会, P208, pp.129-130 (2015)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

北風裕教 (KITAKAZE HIRONORI)

大島商船高等専門学校・情報工学科・准教授  
研究者番号: 70342558

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

砂田智裕 (SUNADA TOMOHIRO)

大島商船高等専門学校・技術支援センター・  
技術専門職員

堀義則 (HORI YOSHINORI)

大島商船高等専門学校・技術支援センター・  
技術専門職員

本庄孝光 (HONJYO TAKAMITSU)

大島商船高等専門学校・技術支援センター・  
技術専門職員