

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K15220

研究課題名（和文）未利用水力を活用したマイクログリッドを実現させる開水路で発電する新たな水車開発

研究課題名（英文）Development of a new hydraulic turbine in open channel flow to realize a microgrid utilizing unused hydro energy source

研究代表者

片山 雄介（Katayama, Yusuke）

九州大学・工学研究院・助教

研究者番号：20778815

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：農業用水路等の既存インフラに潜在する未利用水力エネルギーの有効活用を可能にするサボニウス形水車の開発を行った。従来風車として利用されてきたサボニウス形ランナを開水路流れに適応するために、水車軸を水平に寝かせた状態で水路内に没水させて運転する設置方法を提案した。サボニウス形ランナの自由表面からの距離がトルク特性に大きく影響を及ぼし、水位などの水流状況ごとに最適な水車設置条件が存在することを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本国内には総延長が40万kmもの農業用水路が張り巡らされているが、そのほとんどが田畑へ水を供給する役割にのみ使用される。この未利用水力エネルギーを有効活用することは、持続可能な開発目標（SDGs）に合致する。本研究がターゲットとする極低落差領域の各地点におけるエネルギー規模は非常に小さいため、水車性能だけでなく経済性やメンテナンス性までも考慮する必要がある。構造や発電原理が簡易なサボニウス形水車の開発は、農業DXやIoT化を加速させ、日本の農業の発展に貢献できる。

研究成果の概要（英文）：In this research, Savonius type hydraulic turbine operating in open channel flow was developed. the turbine enables effective utilization of unused hydropower energy latent in existing infrastructure such as agricultural and irrigational channels. We proposed an installation method in which the turbine axis is horizontal in order to adapt the Savonius type hydraulic turbine, which has been used as a vertical axis, to the open channel flow. It was clarified that the distance from the free surface of the Savonius type hydraulic turbine greatly affects the torque characteristics, and that there are suitable installation conditions for each water flow condition such as water level.

研究分野：流体工学

キーワード：サボニウス形水車 開水路 マイクロ水力 出力特性 自由表面流れ

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

近年、従来の大規模集中型発電では震災等による発電システムの脆弱性が顕在化し、エネルギーの地産地消を実現する小規模分散型発電が注目を集めている。日本には総延長 40 万キロメートルといわれる農業用水路が存在している。また、スマート農業の普及による農地における電力使用が加速すると推測され、農業用水路のような発電目的以外の既存設備に潜在する未利用水力エネルギーの利用は、農業界においても期待が高まっている。しかしながら、農業用水路等の極低落差領域の水車は確立されておらず、この領域における水車開発は、未利用水力エネルギー利用への一助となる。これまで極低落差に特化した水力発電技術として、ダリウス形水車、相反転水車、二重反転形水車、らせん水車などの研究開発がなされている。これらの水車は少なからず設置時に水路への土木工事を必要とするため、申請者らは経済性やメンテナンス性の観点から、“流れに置いただけ”な水車として、2 枚の円弧状ブレードを互い違いに配置したサボニウス形を水車ランナに用いたサボニウス形水車の研究を手掛けてきた。

サボニウス形は風車として数多く研究開発はなされているが、水車としての利用実績は極めて少なく、自由表面や水路壁が水車性能に影響を与えることで、従来の風車研究成果を適用できない場合が多い。極低落差領域、特に開水路に適応させるためには自由表面と水路底面を考慮した水車ランナ周りの流れ場と水車特性の関係解明は必須である。また、実用化に向け、水車の性能向上は不可欠であり、さらに水路中を浮遊する塵埃対策も講じる必要がある。

2. 研究の目的

サボニウス形は風車としての研究開発は長らく行われてきたが、水車としての利用実績は極めて少なく、一様流中にランナを設置することを仮定した従来の風車や潮流による研究成果は適用できない場合が多い。そこで、本研究では自由表面流れや水路壁の境界層といった開水路特有の流れがサボニウス形水車の性能に及ぼす影響を解明することを目的とする。特に、極低落差領域の開水路では、水流状況（流速や水位）および水車の運転状況（回転数や設置高さ）により、水流の水車ランナへの流入量や水車ランナの上流と下流における水位差も変化する。それぞれの条件下で、自由表面と水車ランナとの干渉がサボニウス形ランナ周りの流れ場にどのように影響を及ぼすかに着目し、トルク発生メカニズムを明らかにする。また、その結果を踏まえ、トルクが増大する水流制御方法を抽出し、さらなる性能向上を目的とする。

3. 研究の方法

(1) 水流状況の違いが水車性能へ与える影響評価：サボニウス形水車の開水路での水車性能を明らかにするために、水位や流速などの水流状況を変化させ、サボニウス形水車の自由表面および流路底面からの距離をパラメータとしトルク特性を明らかにする。回転数を変化させ水車ランナへのトルクを計測し、同時に水車ランナ上流下流の水位も測定することで水車の堰上げ効果の影響を評価する。

(2) ランナ周りの流れ場の解明

自由表面や水路底面と水車との相互作用が流れ場に与える影響に着目し、色素注入法によりランナ周りの流れ場を可視化する。また、ランナ周りの速度分布を PIV (Particle Image Velocimetry: 粒子画像流速測定法) により取得し、流れ場とトルク発生との関係について明らかにする。

4. 研究成果

矩形開水路にサボニウス形水車を水平に設置し、その自由表面からの距離および流路底面からの距離が水車の起動特性と出力特性に及ぼす影響を水位などの水流状況を変化させて実験的に調査した。いかにその主な研究成果を示す。

(1) 起動特性（静止トルク）に及ぼす水車設置位置の影響

回転方向に関係なく、すべての水車設置条件で同様の傾向がみられる。静止トルクは回転角 50°~60° 付近で最大となり、姿勢角度 160°~170° 付近で最小の値になる。姿勢角度 160°~170° 付近では回転トルクは負の値を取り、水車ランナがこの角度領域では単独で始動できないことを明らかにした。この傾向は風車の研究で観察されたものとほぼ同じであり、実用化を考えた際、この負のトルク発生の問題を解決する必要がある。過去の風車の研究では、位相の異なる多段型ランナやランナ上流にガイドを設置する方法を採用することにより負のトルク領域を排除した例があり、開水路に設置したサボニウス形水車にも有効であると考えられる。

水車設置位置の起動特性への影響はランナの姿勢角度により大きく異なり、60° では大きく 170° では小さくなる。姿勢角度が 60° のときは水位の影響も顕著であり、水位が低くなると静止トルクが増加する。

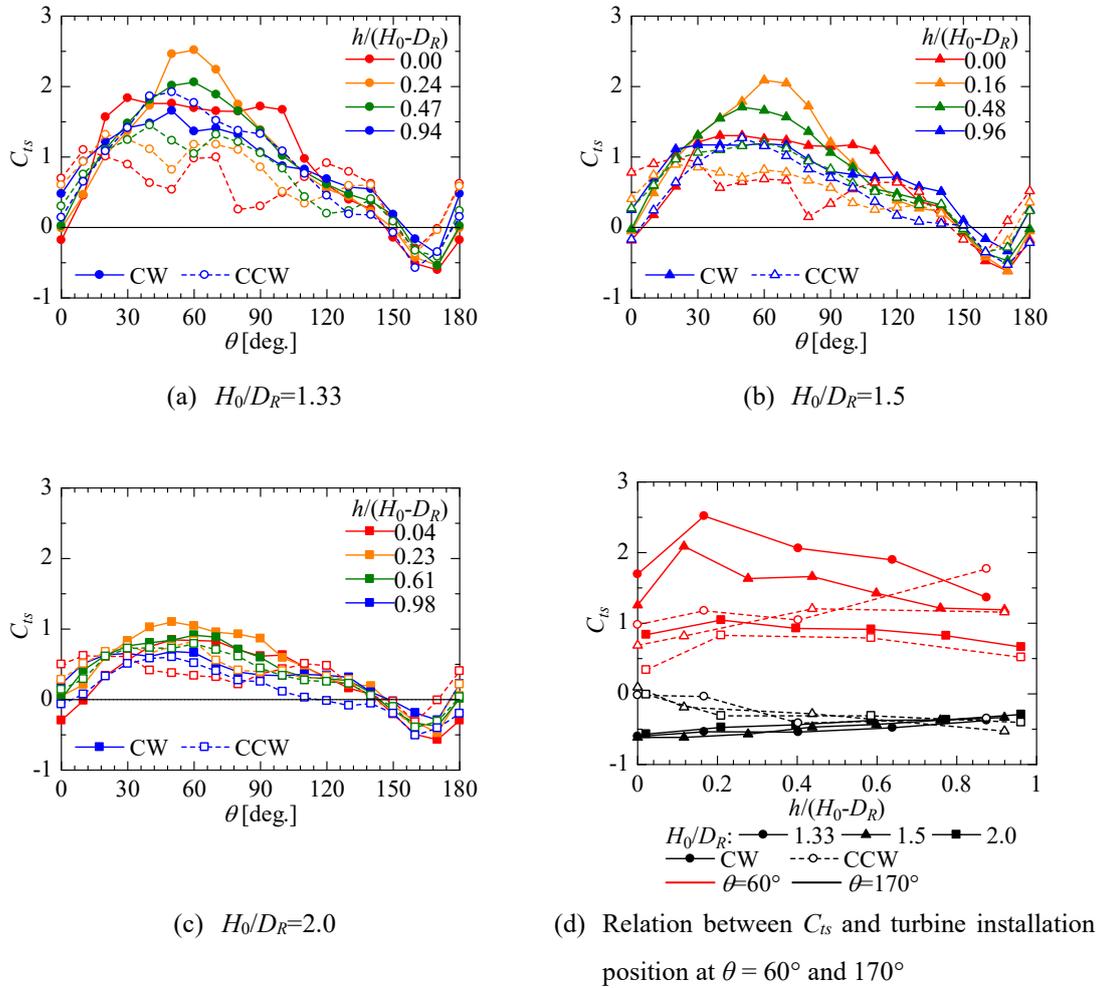


Figure 1. Static torque coefficient at each turbine installation position.

$$C_{ts} = \frac{T_s}{\frac{1}{4}\rho D_R^2 L_R V_0^2}, \text{ where } C_{ts} \text{ is the static torque coefficient, } T_s \text{ is the torque in stationary condition, } \rho$$

is the density of the water, D_R is the runner diameter, L_R is the runner span length, V_0 is the flow velocity.

(2) 出力特性に及ぼす水車設置位置の影響

出力特性は水車設置位置に大きく影響を及ぼす。回転方向により好適設置位置が異なる。進みブレードが自由表面側にある回転条件のとき、自由表面から水車ランナまでの距離を h/D_R 、進みブレードが流路底面側にある回転条件のとき、流路底面から水車ランナまでの距離を h_c/D_R と定義すると、最大出力は0.1~0.2の間で得られる。この傾向は水位に関係なく得られる。

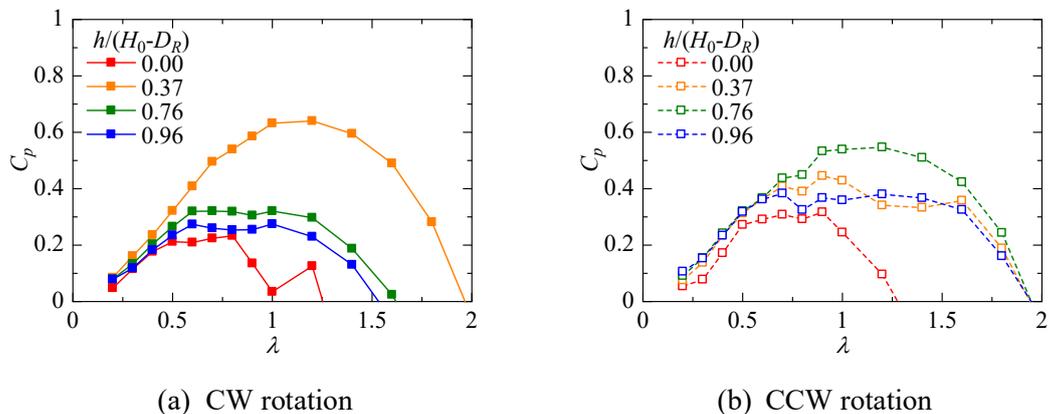
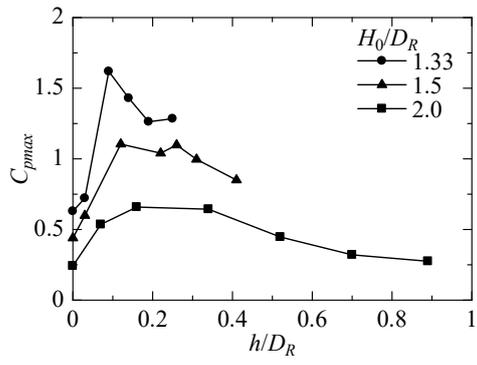
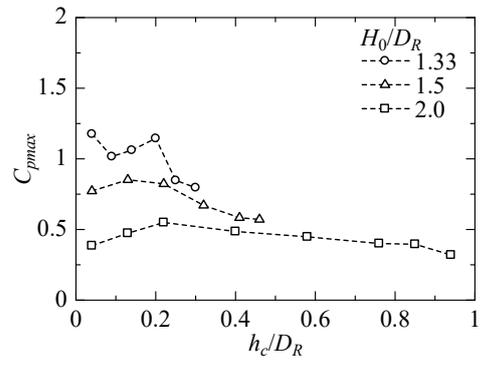


Figure 2. Power coefficient at each turbine installation position for $H_0/D_R=2.0$.



(a) CW rotation condition



(b) CCW rotation condition

Figure 3. Effect of distance from water surface for CW rotation condition and distance from bottom wall of channel for CCW rotation condition on C_{pmax} .

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 岡本雄飛
2. 発表標題 矩形短水路に水平に設置されたサボニウス形水車の設置高さが出力係数に及ぼす影響
3. 学会等名 日本機械学会九州支部第52回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yusuke Katayama
2. 発表標題 Influence of distance from water surface of a horizontally installed Savonius turbine in a rectangular open channel on turbine performance
3. 学会等名 The 16th Asian International Conference on Fluid Machinery (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 甲斐仁斗志
2. 発表標題 自由表面下に水平に設置されたサボニウス形水車のトルク特性とランナ周りの流れ場
3. 学会等名 日本機械学会九州支部第53回学生員卒業研究発表講演会
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
---------	---------