

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月11日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22310044

研究課題名（和文）

極小規模水力発電を可能にする新規エコ水車の開発

研究課題名（英文）

Development of eco water turbine adoptable for extremely low head

研究代表者

池田 敏彦（IKEDA TOSHIHIKO）

信州大学・工学部・特任教授

研究者番号：60021010

研究成果の概要（和文）：落差 2m 未満の極低落差の水力エネルギーを利用して高効率に発電できる超小型エコ水車の開発を目的とした。本研究では、タービンと導水部形状、タービン表面の高機能化に着目し、発電効率向上研究に取り組んだ。滝用水車のタービン形状として、衝動型と貫流型を検討し、貫流型の方が高効率であり、運転可能な回転数範囲が広いことがわかった。次に、滝用水車の導水方法に曲面状の流路の使用を検討し、流量変化時においても水流落下位置を一定とでき、安定した発電が可能となった。最後に、サボニウスランナのブレード表面に親水性あるいは撥水性を付与した場合の発電効率を調べた。その結果、有意な差は認められず、ブレード表面性状は水車性能に顕著な影響を与えないことがわかった。

研究成果の概要（英文）：It aimed at developing eco small water turbine that it was possible generate power with high efficiency from hydraulic energy of extremely low head, less than 2 m. It was especially focused on shape of blade and channel, sophisticated blade surface and investigated for improvement of turbine performance. Two kinds of turbines, waterfall type turbine and Savonius turbine, were tested. As a consequence for waterfall type turbine the cross flow shaped runner shows better performance under wider range of rotation speed than that of the impulse runner. The curved shaped channel was shown to be effective in control of waterfall position, and then it was possible for stable generation. The performance test adopted hydrophilic or hydrophobic blades on Savonius runner was not observed significant difference.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	10,500,000	3,150,000	13,650,000
2011 年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2012 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
総計	14,800,000	4,440,000	19,240,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：流体機械

## 1. 研究開始当初の背景

日本の水力エネルギーのうち、未利用ポテ

ンシャルは農業用水などの極低落差地点に集中しており、そのような地点に設置して高

効率に発電できる水車タービンの実用化例は極めて少ない。発電出力に限られる極低落差地点においては、設置コストに見合うだけの発電量を得ることは容易ではなく、できるだけ単純構造の水車で、高効率かつ高耐久性運転を可能にする努力が行われている。これは、導入費用に対する発電出力の増加および維持管理費用や設備更新費用の抑制を図ることで経済性を成り立たせ、ナノ/ピコクラスの水車発電機の導入に促進につなげるためである。

## 2. 研究の目的

極低落差を利用するナノ/ピコクラスの水車の研究において、市場ニーズに見合う水車効率、耐久性および経済性を実現することが重要課題の一つである。本研究ではタービン形状、導水方法、水車ブレード表面の高機能化に着目した。農業用水路への適用を想定し、落差工で発電する滝用水車と低落差の開水路に沈めて発電するサボニウス水車を対象として選択した。流体機械の基本概念に加え、化学系ものづくりのアプローチからも水車性能の向上を図った。

## 3. 研究の方法

まず、滝用水車の性能試験により、ランナ形状、導水方法と出力特性との関係性を評価した。滝用水車の実験設備は図1に示すように人工水路で実施した。滝用水車用の供試ランナを図2に示す。本研究では、衝動型と貫流型の2種類のランナ形状を対象とした。両ランナの直径は200mm、幅は250mmに揃えている。また、流量変化時の水流落下位置を固定するために、曲面状の流路で導水する方法を検討した。曲面状の流路は四部円と平板が正接する形とし、落差工端から四分円が始まるように設置した。

次に、ブレード表面の高機能化と水車の出力特性との関係性を評価した。評価には、サボニウス水車用のランナを選定した。サボニウス水車の実験設備を図3に、供試ランナ形状を図4に示す。実験は回流水槽中で実施した。サボニウス水車は進みブレード凹面と戻りブレードの凸面との抗力差が主な駆動力となっており、特に戻りブレード凸面側への上流からの流れの衝突は回転を阻害するトルクを発生する。したがって、ブレード凸面側を高機能化することで、流体摩擦によるせん断応力の状況が変化して、水車の出力特性に影響が現れると予想した。翼表面の高機能化には、PET樹脂シート(厚さ50 $\mu$ m)表面に微細凹凸を形成してFAS17を導入した超撥水性シート(水滴接触角:約150 $^{\circ}$ )およびPET樹脂表面に微細凹凸のみを形成した親水性シート(水滴接触角:約30 $^{\circ}$ )を作成し、それらをブレード凸面に貼り付けた場合の

水車の出力特性を評価した。回流水槽中の平均流速は0.8m/sの一定とし、ランナ直径に基づくレイノルズ数は約 $10^5$ である。

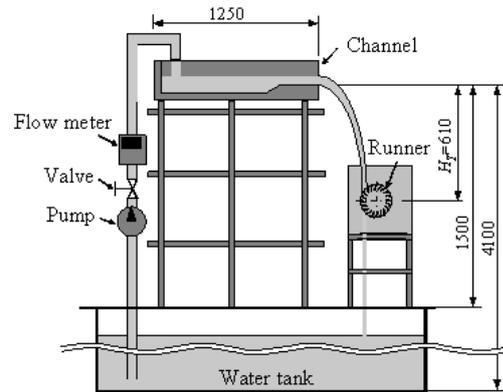


図1 滝用水車実験装置

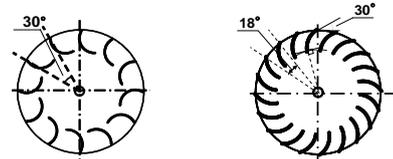
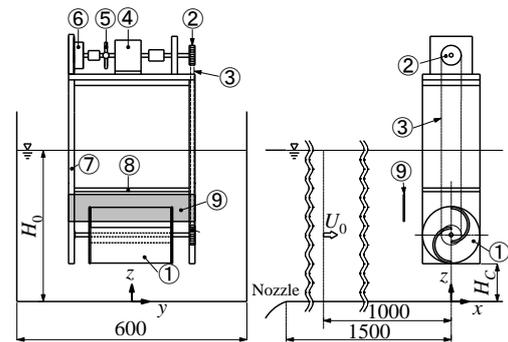


図2 滝用水車ランナ(左:衝動型、右:貫流型)



- ① Savoniusrunner    ② Pulley    ③ Belt
- ④ Torque meter    ⑤ Rotatiometer    ⑥ Load
- ⑦ Side plate    ⑧ Upper plate    ⑨ Shield plat

図3 サボニウス水車実験装置

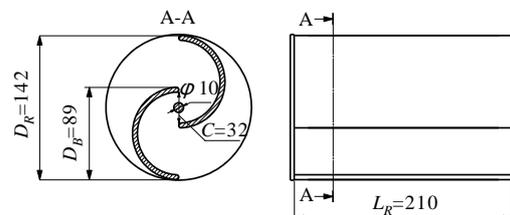


図4 サボニウスランナ

## 4. 研究成果

滝用水車用のランナ形状と出力特性との

関係を図 5 に示す。ここでは、流量と最大出力係数との関係を示している。横軸が流量  $Q$ 、縦軸がそれぞれの設定流量時の最大出力係数  $C_{Pmax}$  である。すべての流量範囲において、貫流型の  $C_{Pmax}$  が衝動ランナの  $C_{Pmax}$  よりも高く、全流量域で平均すると 20 % 高い結果となった。また、両ランナともに流量が小さいときに  $C_{Pmax}$  値が小さくなる傾向が見られた。この原因を究明するために、ランナ内部の水流挙動の可視化を実施した。 $C_{Pmax}$  時の可視化画像例を図 6 に示す。衝動型において、ランナ内部へ水流の滞留が認められ、ブレード凸面に沿ってランナ外部へと流出する流れが見られる。この流れは明らかに回転を阻害している。それに対して、貫流型ではそのような流れは観察されない。以上の結果より、滝用水車用のランナには貫流型の方が適していることが明らかとなった。

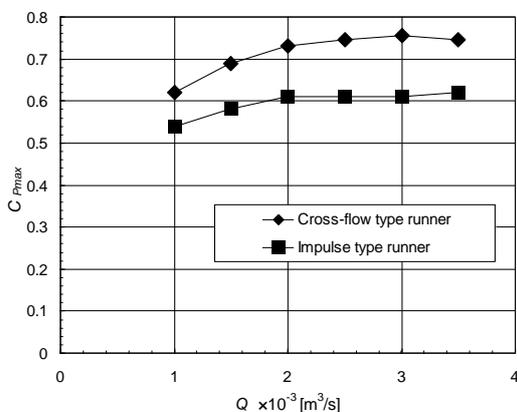


図 5 滝用水車用ランナ形状と最大出力係数との関係

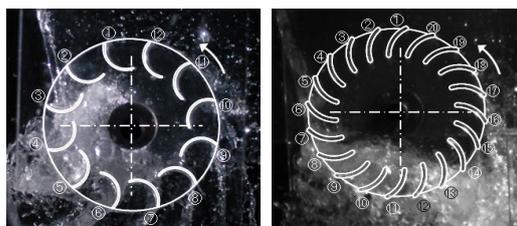


図 6 滝用水車用ランナ内部の水流挙動 (左：衝動型、右：貫流型)

次に、曲面状の流路による導水方法の実験結果を図 7 に示す。図中には、 $Rc=60mm$  と  $400mm$  の二種類の四分円曲率半径により製作した曲面状流路を使用した結果 (図中  $Rc=60, 400$ )、曲面状流路を用いずに水流を自由落下させて流量ごとにランナを最適位置に移動させた結果 (図中 adjust)、および曲面状流路を用いずに  $Q=3 \times 10^{-3} m^3/s$  時の水流落下位置にランナ位置を固定した結果 (図中 fix) を掲載している。"fix"時には、流量が最適流量から変化すると  $C_{Pmax}$  の値が大幅に低下し、ほとんど発電できない状況に陥るの

に対して、曲面状流路を使用するとランナ位置を固定したままでも比較的安定して発電できることが明らかとなった。また、曲面状流路使用時の結果において、小流量の場合には"adjust"時よりも  $C_{Pmax}$  が大幅に低下するものの、曲率半径が小さな" $Rc=60$ "時での最大  $C_{Pmax}$  の値は"adjust"時とほとんど一致した結果となっている。以上のことより、曲面状流路の使用により、流量変化時でも水流の落下位置を固定することができ、水車の出力特性を良好に維持できることが明らかとなった。

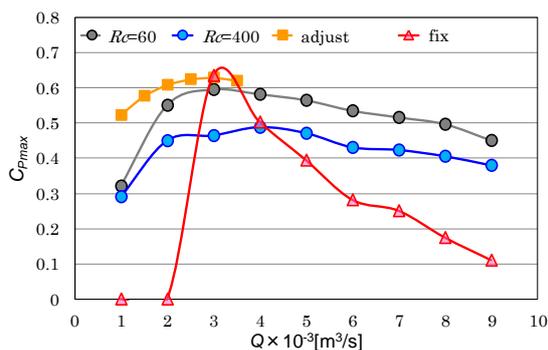


図 7 曲面状流路による水流方向制御結果

最後に、ランナ表面の高機能化と水車の出力特性との関係を調査した結果について述べる。実験結果を図 8 に示す。グラフの縦軸は出力係数の最大値であり、親水性シートまたは撥水性シートをブレード凸面に張り付けたサボニウスランナでの測定結果である。ブレード表面へのシートの貼り付け方が性能に影響する可能性があるため、実験はシートを毎回貼り直して、6 回ずつ実施した。いずれの場合も実験回によって最大出力係数値が大きく変化している。それぞれの場合の最大出力係数の平均値を算出すると、親水性と撥水性処理時でそれぞれ  $C_{Pmax}=0.258$  と  $C_{Pmax}=0.255$  となり約 1.2% の差であった。実験システムの測定精度と同程度の差であ

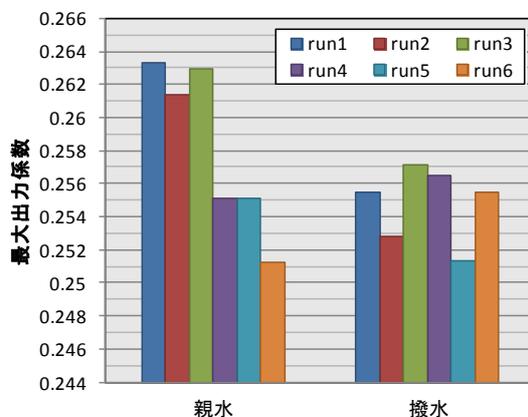


図 8 ブレード表面の高機能化時のサボニウス水車の出力特性計測結果

り、表面性能の違いによるものと判断できず、有意な差は認められなかった。以上の結果より、サボニウス水車ブレードの表面高機能化が水車の出力特性に顕著な影響を及ぼさなことが明らかとなった。

#### 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6件)

- ① 飯尾昭一郎、大池真悟、山崎正浩、木本海花、片山雄介、池田敏彦、滝用水車に関する研究(曲面流路を用いた水流方向制御の検討)、ターボ機械、査読有、40巻12号、2012、745-753
- ② 片山雄介、飯尾昭一郎、池田敏彦、流れの可視化によるサボニウス水車の性能に及ぼす遮へい板の影響解明、ターボ機械、査読有、40巻10号、2012、630-637
- ③ Shouichiro Iio、Yusuke Katayama、Fuminori Uchiyama、Eiichi Sato、Toshihiko Ikeda、Influence of Setting Condition on Characteristics of Savonius Hydraulic Turbine with a Shield Plate, Journal of Thermal Science、査読有、20(3)、2011、224-228  
DOI : 10.1007/s11630-011-0462-9
- ④ 大池真悟、山崎正浩、飯尾昭一郎、池田敏彦、滝用水車への貫流ランナの適用、ターボ機械、査読有、39巻3号、2011、177-183
- ⑤ 飯尾昭一郎、大池真悟、佐藤栄一、池田敏彦、環境融和型ナノ水車発電機の実証試験とその不具合事例、ターボ機械、査読有、39巻3号、2011、162-168
- ⑥ Toshihiko Ikeda、Shouichiro Iio、Kenji Tatsuno、Performance of nano-hydraulic turbine utilizing waterfalls, Renewable Energy、査読有、35(1)、2010、293-300  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2009.07.004>

[学会発表] (計13件)

- ① 片山雄介、飯尾昭一郎、池田敏彦、遮へい板を有するサボニウス水車の流れ場制御、日本機械学会北陸信越支部第50期総会講演会、2013年3月9日、福井。
- ② 我田元、大石修治、手嶋勝弥、ポリエステル繊維表面へのフッ素アバタイト結晶層の低温フラックスコーティング形成、バイオマテリアル学会シンポジウム 2012、2012年11月26日、宮城。
- ③ 我田元、大石修治、大橋直樹、勝又健一、岡田清、松下伸広、手嶋勝弥、水溶液法によるシードフリー基板上への酸化亜鉛層

の直接形成とその電気特性、表面技術協会第126回講演大会、2012年9月28日、北海道。

- ④ 木本海花、大池真悟、飯尾昭一郎、池田敏彦、開放型貫流ランナに関する研究(水流厚みと水車性能との関係評価)、第68回ターボ機械協会(沖縄)講演会、2012年9月20日、沖縄。
- ⑤ Yusuke Katayama、Shouichiro Iio、Toshihiko Ikeda、A flat shield plate effect on Savonius hydraulic turbine performance、9th European Fluid Mechanics Conference、2012年9月12日、ローマ。
- ⑥ 木本海花、大池真悟、飯尾昭一郎、池田敏彦、滝用水車の水流方向制御に関する検討(曲面流路形状と水車効率との関係)、2012年度日本機械学会年次大会、2012年9月12日、金沢。
- ⑦ 片山雄介、飯尾昭一郎、池田敏彦、サボニウス水車のブレード周りの流れ場制御、第67回ターボ機械協会総会講演会、2012年5月25日、東京。
- ⑧ M. Yamazaki、S. Ooike、S. Iio、T. Ikeda、Study on Open Cross-Flow Runner for Environmentally Friendly Nano Hydraulic Turbine utilizing Waterfall (Influence of Waterfall Thickness on the Runner Performance)、ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2011、2011年7月26日、浜松。
- ⑨ 武井基樹、手嶋勝弥、李先炯、大石修治、 $\text{Na}_2\text{O}-\text{MoO}_3$  フラックスからの  $\text{Na}_x\text{WO}_3$  結晶の育成、第5回日本フラックス成長研究発表会、2010年12月3日、長野。
- ⑩ Y. Katayama、S. Iio、E. Sato、T. Ikeda、Influence on Power Performance of Double-step Staggered Savonius Runner by using a Shield Plate、3rd Asian Joint Workshop on Thermophysics and Fluid Science 2010、2010年9月9日、松江。
- ⑪ Nobuhiro Hayashi、Aiko Tanaka、Shouichiro Iio、Eiichi Sato、Toshihiko Ikeda、Development of Open Type Cross-Flow Turbine utilizing Rapid and Shallow Stream (Investigation of Blade Angle and Installation Condition)、Renewable Energy 2010、2010年7月1日、横浜。
- ⑫ Yusuke Katayama、Fuminori Uchiyama、Shouichiro Iio、Eiichi Sato、Toshihiko Ikeda、Influence of Runner setting Condition on Performance of Nano-Hydraulic Savonius Turbine attached a Shield Plate、Renewable Energy 2010、2010年7月1日、横浜。

⑬Masahiro Yamazaki、Shingo Ooike、Shouichiro Iio、Eiichi Sato、Toshihiko Ikeda、Study on Environmentally Friendly Nano-Hydraulic Turbine Utilizing Waterfall (Effect of Flow Direction Control on Power Performance)、Renewable Energy 2010、2010年7月1日、横浜。

[その他]

ホームページ等

<http://soar-rd.shinshu-u.ac.jp/profile/ja.OChZhkh.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

池田 敏彦 (IKEDA TOSHIHIKO)

信州大学・工学部・特任教授

研究者番号：60021010

### (2) 研究分担者

大石 修治 (OISHI SHUJI)

信州大学・工学部・教授

研究者番号：50021027

手嶋 勝弥 (TESHIMA KATSUYA)

信州大学・工学部・教授

研究者番号：00402131

飯尾 昭一郎 (IIO SHOUICHIRO)

信州大学・工学部・准教授

研究者番号：80377647