

ピコ水力発電システム用らせん水車の製作

○鈴木和司^{A)}、岡村鉄兵^{B)}、水野 勇^{B)}、高野雅夫^{C)}

^{A)} 教育・研究技術支援室 装置開発技術系

^{B)} 株式会社篠田製作所

^{C)} 大学院環境学研究科地球環境システム講座

1 はじめに

らせん水車は今から 90 年程前、富山平野を中心に農作業などの動力源として使用されていた小型水車である。特徴としては傾斜 20 度ほどの農業用水路にそのままはめ込むように取り付け、滑車とロープで脱穀や糶摺りなどの農業用機械に動力を伝えていた。可搬性が良く、不要な時は納屋に保管していた。また水流に含まれるある程度の大きさの落ち葉や木片など異物による障害に強く、さらに落差 1 メートル以下から運転が可能である。このような点が豊富な水量の河川に恵まれている富山平野に適していた。^[1]

らせん水車は内軸に数枚の羽をらせん状に巻き付けた特徴的な形をしている。富山県立大学にある実験用らせん水車を写真 1 に示す。



写真 1 富山県立大にある実験用らせん水車
(当時の 1/2 サイズのモデルで直径 450mm、全長 1m、
水は左側から右側に流れ水車が回転する)

自然エネルギー利用発電のうち水力発電は風力や太陽光発電に比べ 24 時間安定した出力が得やすい発電方式である。日本には大小様々な多くの河川が身近に存在するが図 1 に示すように低落差・低流量を利用した高効率のマイクロ水力発電システムはいまだ製品化されていないのが現状である。

日本国内でのらせん水車は 1900 年頃から一気に広まり最盛期には全国で一万基ほども稼動していたが、1930 年頃から、石油による発動機が普及していくと急速にその数を減らし 1960 年代には大半が廃止された。しかしながら 1990 年代以降、自然エネルギー利用の機運が高まり、マイクロ・ピコ

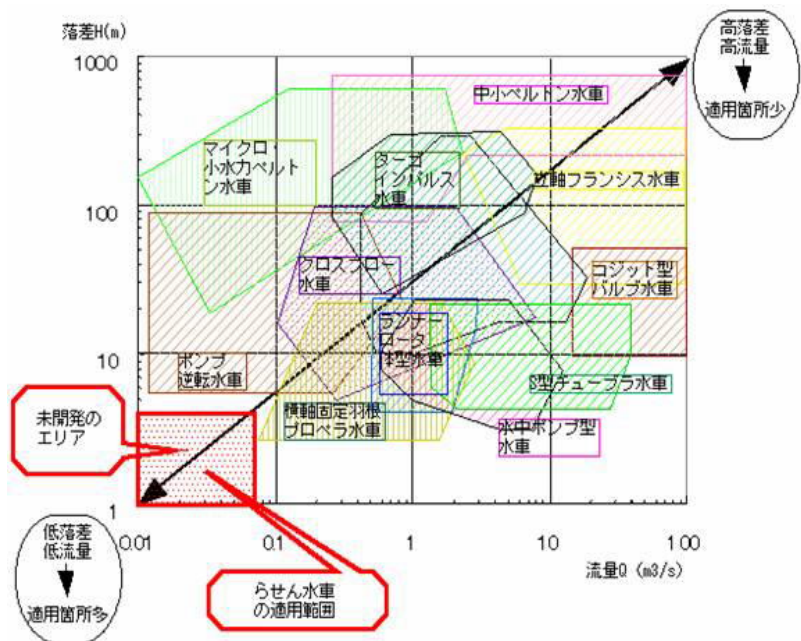


図 1 らせん水車の適用範囲^[2]

水力発電用の水車として再び注目されるようになった。

世界の国々でも自然エネルギーの応用としてらせん水車による発電が使用されており、例としてドイツでは写真2のような3mほどの大直径の水車を用いて発電を行っている。

今回は、発電用水車としての利用可能性を検証する目的のため、実際の農業用水路に設置するタイプの水車を設計・製作、発電試験および結果をまとめて報告する。



写真2 ドイツのらせん水車
(Ritz-Atro GmbH 社製, 出力: 45kW
流量: 2,800l/sec, 落差: 2.38m)

2 発電システムの設計

2.1 駆動系および発電機

ピコ水力発電システムは、らせん水車の発生するトルクを増速機により回転数を上げ発電機に伝え発電するものである。図2はピコ水力発電システム組立図である。図2において上部の平面図は、左側がらせん水車部、右側が増速機および発電機部である。外枠は等辺山形鋼(50X50X6)を用い、駆動軸の材質はS45Cを使用した。

増速機は回転時に滑りのないタイミングベルトを使用し、1.5倍と2倍の2段階で増速し、最終増速比を3倍とした。回転軸方向のプーリーの位置合わせはプーリー固定ネジにより行う。

発電機は、身近にあるものとして自動車用オルタネータおよび風車用発電機を検討した。

オルタネータは1500rpm以上の回転速度が必要であり、発電機に必要な増速を施すとトルクが不足するため今回のらせん水車発電には不向きであることがわかった。

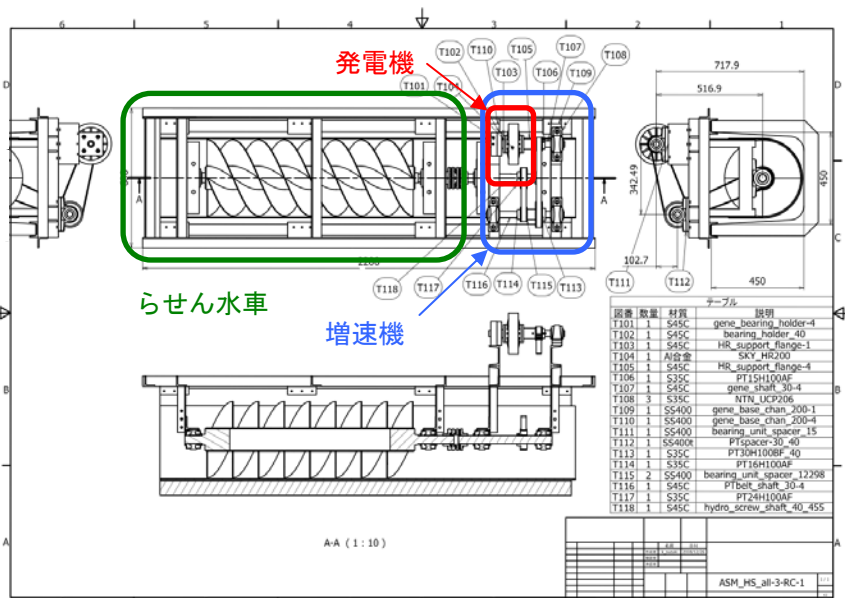


図2 ピコ水力発電システム組立図

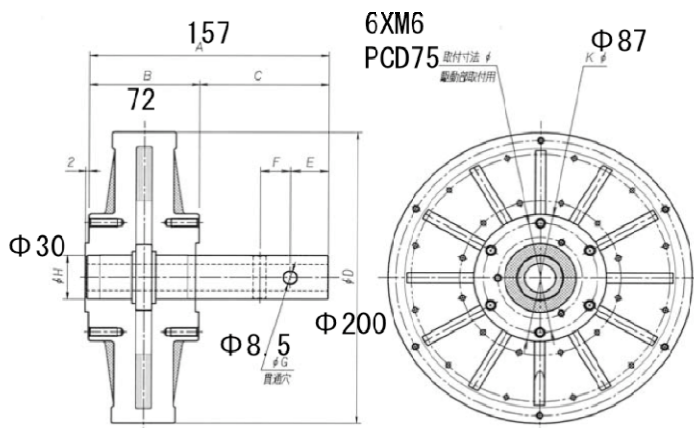


図3 風力発電用多極発電機
(SKY-HR200, スカイ電子社製)

他方、風車用発電機は、極数が多く低速回転での発電も可能である。そのため大きさ・コストなども考慮し、図3のような定格出力 200W (350rpm 時) の風力発電用多極発電機(SKY-HR200, (株)スカイ電子製)を選択した。

各軸の軸受けは水車部に耐水性の良い樹脂製ピローブロック (直径 40mm, UKB522-SD, 鹿島化学金属社製) を使用し、増速機および発電機部には標準形ベアリングユニット (直径 30mm, UCP206, NTN 社製) を使用した。各軸の軸調整は軸受け取り付け用長穴および高さ調整用敷板により行う。

2.2 らせん水車の最適設計

今回は名古屋大学大学院環境学研究科地球環境システム講座の岡村 (当時修士課程, 現在篠田製作所) が構築した力学モデル (以下岡村モデルと称する) をもとに, 実験水路に最適となるらせん水車の設計を行った。^[3]

設置場所の水路形状は内幅450mm高さ450mm長さ3mのコンクリート製U字溝であり, 14°の傾きを持ち, 水の流量は約 40L/sec である。

水車の羽根の外径はU字溝に入り可動可能な大きさにするため直径 370mm とした。

岡村モデルより最適な水車のらせん形状は, 外半径 185mm の条件により, 内半径 50.35mm, ピッチ 500mm とした。また, らせん部の全長は重量や製作・運搬の容易さを考慮し 1 m とした。

岡村モデルにより求められた発電機出力は 10W から 45W の間と予測される。

3 システム設置および発電実験

3.1 システム設置

発電実験はシステム設置場所の写真3に示すように岐阜県揖斐郡揖斐川町坂内にある農業用水路で行い, システム全体の製作および設置は株式会社篠田製作所が施工した。この農業用水路は山からの湧き水を堰により流れを止め導水しており, 水路途中の水量調整ゲートにより年間に渡りほぼ一定した水量が保たれ, 周囲の田畑で農業用水として使用している。

農業用水路に設置したピコ水力発電システムを写真4に示す。

写真5は写真4の上方白抜き矢印から見たもので増速機および発電機である。

当初発電システムを設置した時, ベルトとプーリーの間で異音が発生した。その原因は各回転軸の平行性により多少ベルトが軸方向に移動し, プーリーのフランジ部とベルトが擦れるためと考えられた。また長時間運転においてタイミングベルトがプーリーのフランジとの摩擦により破損を起こした。そのため現在はプーリーおよびベルトをVベルト用に変更し, 継続発電を行っている。



写真3 システム設置場所
(岐阜県揖斐郡揖斐川町坂内 2月中旬)

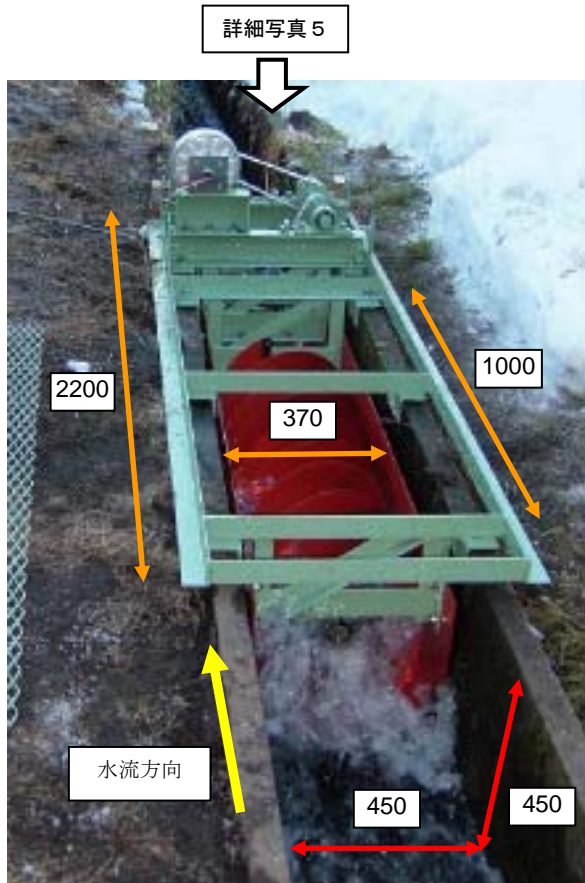


写真4 農業水路に設置されたピコ水力発電システム

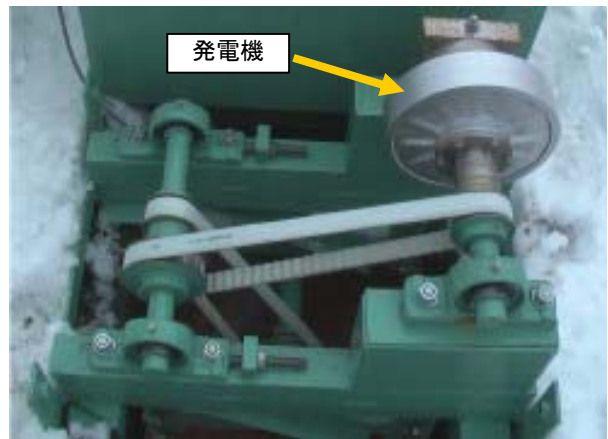


写真5 増速機および発電機
(写真2 上部矢印視野)



写真6 発電測定器

発電機部での異音発生は、負荷抵抗の値により変化する事がわかった。

3.2 発電実験

発電実験は抵抗値を 10Ω から 70Ω まで、 10Ω 毎に切り替え、その時点での水車回転数、電圧および電流を測定した。

電圧および電流の測定のため岡村が自作した発電測定器を写真6に示す。

4 実験結果および応用例

発電システムを設置した農業用水路の流量は 46L/sec であった。

発電実験の結果は図4に示す。縦軸は電力出力、横軸は負荷抵抗値である。図内の丸点の線が実験値である。

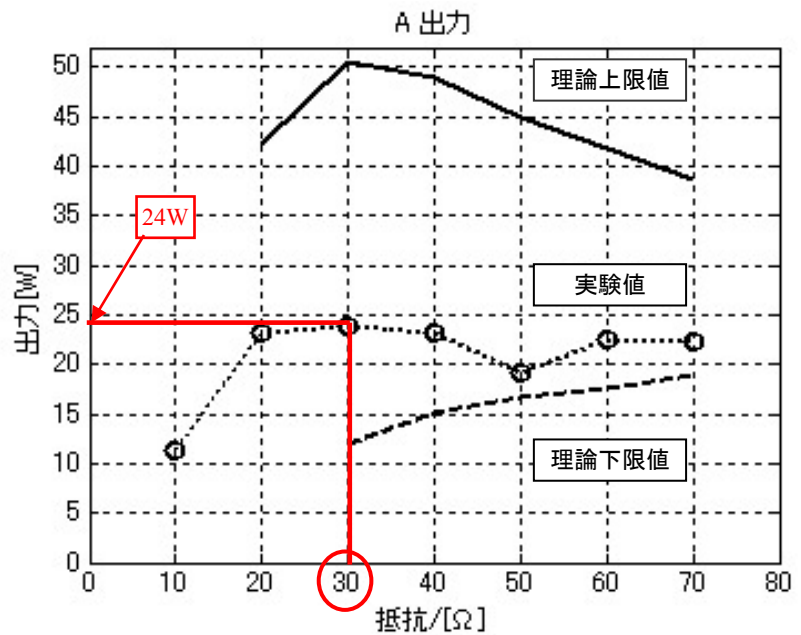


図4 水力発電実験結果

り、実線が岡村モデルから予測される理論値の上限値、点線が下限値である。今回の最大出力は負荷抵抗 30Ω の場合において $24W$ であり、発電効率は 22% であった。実験の結果は理論値の範囲内にすべて収まっている。

今回の発電した電力は、LED ランプ照明の電源として活用している。LED ランプは高輝度白色発光ダイオード 24 個を 1 セットにして点灯させている。LED 照明実験のようすを写真 7 に示す。LED は一個あたりの消費電力が約 $80mW$ であり、この場合の総消費電力は約 $2W$ である。

5 おわりに

らせん水車を用いた水力発電は原理および構造が簡単である。今回設計に使用した岡村モデルは、発電実験によりその有効性が実証された。しかし予測範囲の幅は大きく、水路の傾斜および流量、水車の形状、発電機の特長などにより変化する。したがって、水車内の水面状態を岡村モデルに組み込み、予測範囲を狭めていく必要がある。

今後の発電システムの普及には、コスト、可搬性、水車の重量などを考慮したより実用的な発電システムの設計が必要である。

今回使用した発電システムは隣接した住居の照明をまかなうことが可能であり、畑の害獣よけ用電気柵の電源、外灯などの使用法が考えられる。また、充電システムの導入により、一時的な大電力使用を可能とし、より多様な用途への活用が考えられる。

らせん水車を用いた本システムにより農業用水路での発電が可能であることが実証され、今後の中山間地域の地域再生および活性化に新たな展望が開かれるものと期待される。



写真 7 LED 照明実験

参考文献

- [1] 田中勇人, 『螺旋水車』, 1990. (自費出版)
- [2] 瀧本裕二, 新エネルギー創出に向けたマイクロ発電システム
(<http://www.pu-toyama.ac.jp/ES/senryaku/senryaku05/riyou030405.html>)
- [3] Okamura, T., 2008. Mechanics of Spiral Water Wheel and Application to Pico-hydro Electric Power Generation (大学院環境学研究科修士論文)