

螺旋水車による小水力発電についての研究

岩手県立一関第一高等学校理数科 3年 物理 2班
小野寺拓馬 角地久遠 岸田康平 宮野航成

要約

雨樋発電とは、雨のときに雨樋に流れる雨水でタービンを回して発電するというものである。本研究では雨樋発電の可能性を明らかにするため、鉛直に設置した小規模の螺旋水車の上方から水を流し、発電を行った。実験では水平軸と螺旋水車の羽根がなす角度が 25 度、35 度、40 度の螺旋水車を用いた。実験した結果 40 度の螺旋水車の発電効率が最も高かったが、総合効率は 0.0031 と実用的なものとはならなかった。

<キーワード> 小水力発電 螺旋水車 発電効率

Abstract

Rain gutter power generation is to generate electricity by turning the turbine with rainwater flowing into the gutter when it rains. In this study, in order to clarify the possibility of rain gutter power generation, we ran water from above a small spiral water wheel installed vertically to generate electricity. In the experiment, we used spiral water wheels with angles of 25 degrees, 35 degrees, and 40 degrees between the horizontal axis and the blades of the ones. As a result, the power generation efficiency of the 40 degrees spiral water wheel was the highest, but the total efficiency was 0.0031, and it was not practical.

Rain gutter power generation...雨樋発電
the horizontal axis...水平軸
the total efficiency...総合効率

spiral water wheel...螺旋水車
the power generation efficiency...発電効率

1 はじめに

(1) 研究動機

現在再生可能エネルギーの利用による二酸化炭素排出量実質ゼロを目標とする取り組みが行われている。水力発電は太陽光や風力と同じように二酸化炭素を排出しない発電方法だ。身近でできる小水力発電として、雨樋発電について知った。家庭では雨による水量が少ないため現段階では困難があるが、学校や体育館のような大きな施設では活用できると考えた。落下する水を利用して螺旋水車を回したときどの程度発電できるか強い興味を持ち、研究を始めた。

(2) 先行研究

瀧本ら(2014)では落差工に適した発電用螺旋水車の動力特性を調べるために、以下のような実験を行った。水流 $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$ 、落差 3.2m の条件下で、羽根の枚数 3~4 枚の上部と下部で角度の異なる 2 段階構造の螺旋水車を用いたときの発電効率を調べた。用いた螺旋水車の条件は

- ・羽根上部角度...13~45 度
- ・羽根下部角度...13~45 度
- ・羽根枚数...3~4 枚
- ・ドラム長...350, 360, 500 [mm]

- ・ドラム直径...216, 335, 350, 380, 390, 400, 420 [mm]
 - ・水車羽根外径...500, 700 [mm]
- の範囲で、計 20 種類である。これらの条件を図 1 に示す。

羽根の角度が 20~30 度の範囲のとき発電量は大きくなり、羽根上部角度 28 度、羽根下部角度 18 度、羽根の枚数 4 枚、ドラム長 350 mm、ドラム直径 350 mm、水車羽根外径 500 mm の構造で発

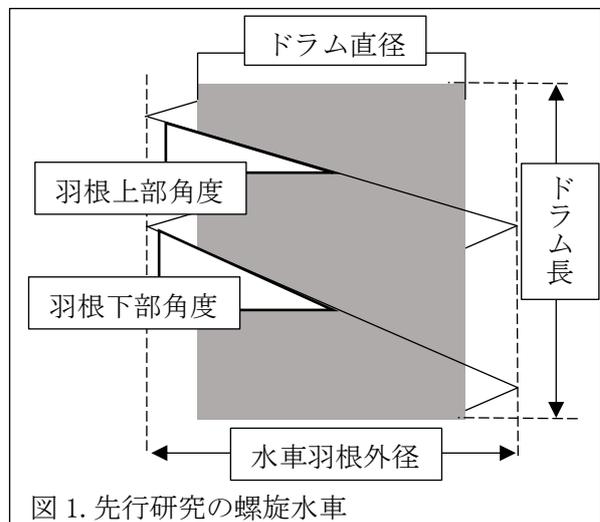


図 1. 先行研究の螺旋水車

電効率が 70%と最大になることを報告している。発電効率は、発電に用いられた水のエネルギーが電気に変換される割合のことである(瀧本ら, 2014)。

(3) 方針

私達は羽根の角度に注目し、羽根の枚数 1 枚の螺旋水車の総合効率が最大になる角度を調べることにした。

2 実験方法

螺旋水車の最大発電効率を調べるために以下の方法で実験装置を作った。実験装置の略図は図 2 のとおりである。塩化ビニルパイプ 1m × φ 11.6 cm を用いることで雨樋の排水管を再現した。また、羽根の枚数 3, 4 枚の螺旋水車を製作することは私たちの技術では不可能だったため 1 枚の螺旋水車を製作することにした。

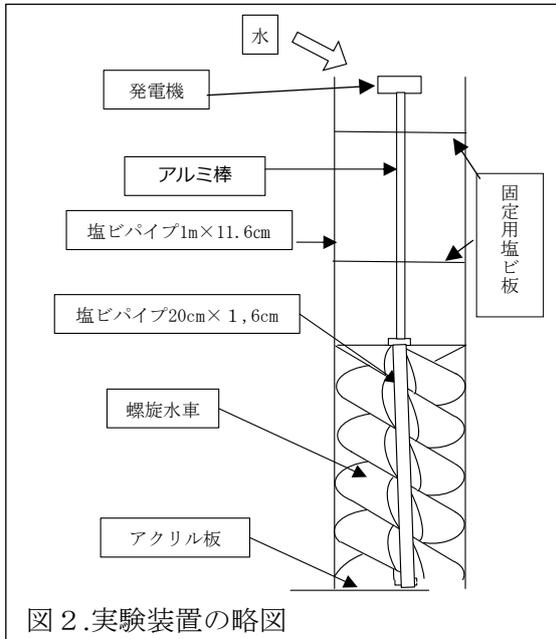


図 2. 実験装置の略図

(1) 実験装置の材料

- ▶ 塩化ビニルパイプ (以下, 塩ビパイプ)
1m × φ 11.6 cm, 20 cm × φ 1.6 cm
- ▶ アルミ棒 … 1m × φ 4 mm
- ▶ ワッシャー … 内径 5 mm
- ▶ 紙粘土 ▶ グルーガン
- ▶ FRP 用ポリベスト主剤 ▶ ガラスマット
- ▶ FRP 用ポリベスト硬化剤 ▶ 瞬間接着剤
- ▶ 塩化ビニル板 (以下, 塩ビ板) 厚さ 1.0mm
- ▶ ゴム栓 φ 2.0 cm ▶ ビニールテープ

(2) 実験装置の製作

(2-1) 実験装置の外側の製作

① 塩ビ板を幅 2 cm, 長さ約 15 cm と幅 2 cm, 長さが外枠の塩ビパイプの直径に合うものをそれぞれ 1 つずつ製作した。

② ①で製作した両方の塩ビ板の中心にアルミ棒を通すための穴を開けた。その穴に合うようにワッシャーを塩ビ板の表裏両方に瞬間接着剤で固定した。(図 3)

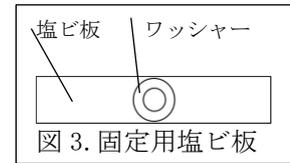
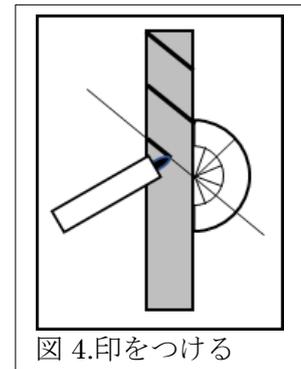


図 3. 固定用塩ビ板

③ 直径 11.6 cm の塩ビパイプの端から 50 cm のところに穴をあけ, 長さ 15 cm の固定用塩ビ板を入れた。長さを直径に合わせた固定用塩ビ板は塩ビパイプの端に固定した。そのためにそれぞれの塩ビ板の穴が塩ビパイプの中心に合うようにし, アルミ棒が垂直に通すことができるように確認した後にグルーガンで固定した。隙間はビニールテープで塞いだ。

(2-2) 螺旋水車の製作

④ 螺旋水車の軸となる 20cm の塩ビパイプに, 任意の角度をつけるためそれぞれの螺旋水車に 25 度から 40 度の線をペンで引いた。(図 4)



⑤ 羽根の土台に使うために, 塩ビ板上辺 5 mm 下辺 15 mm 高さ 5 cm の台形状に切り抜いた。

⑥ 塩ビパイプの印に合うように, ⑤で製作した塩ビ板を紙粘土で固定し, 固まるまで 1 日乾燥させた。(図 5)



⑦ ⑥で固定した塩ビ板の上にガラスマットを敷いた後, 上から FRP 用ポリベスト樹脂を刷毛で塗った後ポリベスト硬化剤を塗り 1 日乾燥させた。(図 6)



⑧ 羽根を外側の塩ビパイプに入るようにハサミで切り, 調整した。(図 7)

以上の工程で製作した螺旋水車の質量は下の表のとおりである。紙粘土を使用した螺旋水車の質量は後に比較材料となる。



図 7.調整後

表 1. 製作した螺旋水車の質量(紙粘土)

角度	25 度	30 度	35 度	40 度
質量(g)	257.1	224.4	203.4	183.5

完成した螺旋水車を(2)の(2-1)で製作した実験装置の外側には取り付けずに、アルミ棒につけて下にアクリル板を敷き、上から水を流したところ、40 度以外の螺旋水車は回転しなかった。また、40 度の螺旋水車は回転する速さはかなり遅かった。小林卓郎ら(2015)は、「水車の質量が小さいほど摩擦が小さくなり回りやすいことがわかった。」と述べている(小林卓郎ら, 2015)。ここから私たちは回転しなかった原因は螺旋水車の質量が大きかったからだと考えた。そこで螺旋水車が回転し実験を行えるよう次の工程を行った。

(2-3) 螺旋水車の改良

⑨粘土を取り羽根、塩ビパイプを二つに分け、それぞれ水で洗って紙粘土を洗い落した。

⑩塩ビパイプの印と羽根が合うように、グルーガンを用いて固定した。

以上の工程によって螺旋水車の改良を行った。グルーガンで補強した後の螺旋水車の質量は下の表のとおりである。

表 2. 製作した螺旋水車の質量(グルーガン)

角度	25 度	30 度	35 度	40 度
質量(g)	146.0	118.8	102.8	101.8

螺旋水車の改良によって螺旋水車は回転したが、30 度の螺旋水車は土台が曲がり羽根が凹んでしまったため正しい角度の螺旋水車ではなくなり、実験を行うことができなかった。

(2-4) 装置の外部と螺旋水車の合体

⑪螺旋水車とアルミ棒を固定した。この時、アルミ棒と塩ビパイプの太さは合わないためアルミ棒にビニールテープを巻き、塩ビパイプにきつくはまるようにした。(図 8)

⑫中心がずれることを防ぐためにそれぞれの穴に合うように加工した市販のゴム栓をはめた。

以上の工程で実験装置を完成させた。完成した実験装置は図 9 のとおりである。

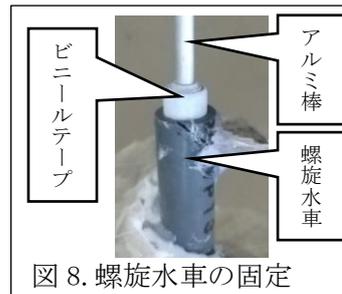


図 8. 螺旋水車の固定

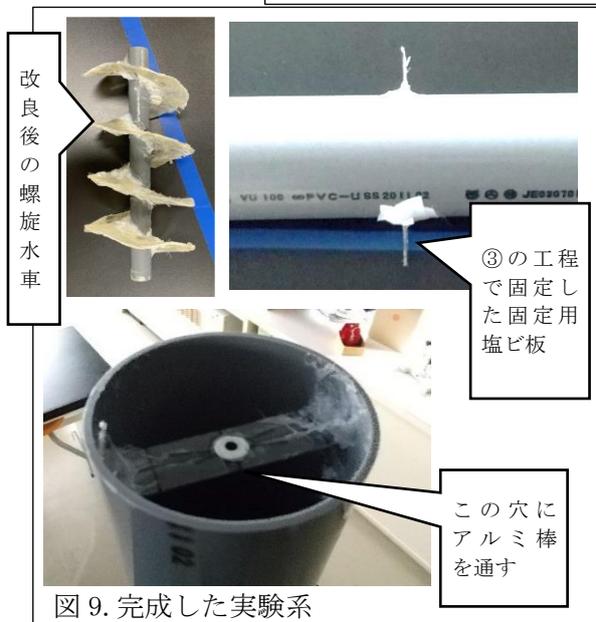


図 9. 完成した実験系

3 実験 1

(1) 実験方法

1. 0m×11.6cm の外側の塩ビパイプの端とバケツの底が同じ高さなるようにし水をため、そこから実験装置の上方へ電動灯油ポンプ(0.0002m³/s)を用いて水を流し、直接螺旋水車に当たるようにした。そして電流と電圧を株式会社ナリカ製の EASYSENSE の電流センサ 1A、電圧センサ 10V を用いてそれぞれ別に 30 秒間計測した。給水能力 0.0002m³/s は降水量 5.0 mm の時 12m 四方の範囲に降る雨の量と等しい。

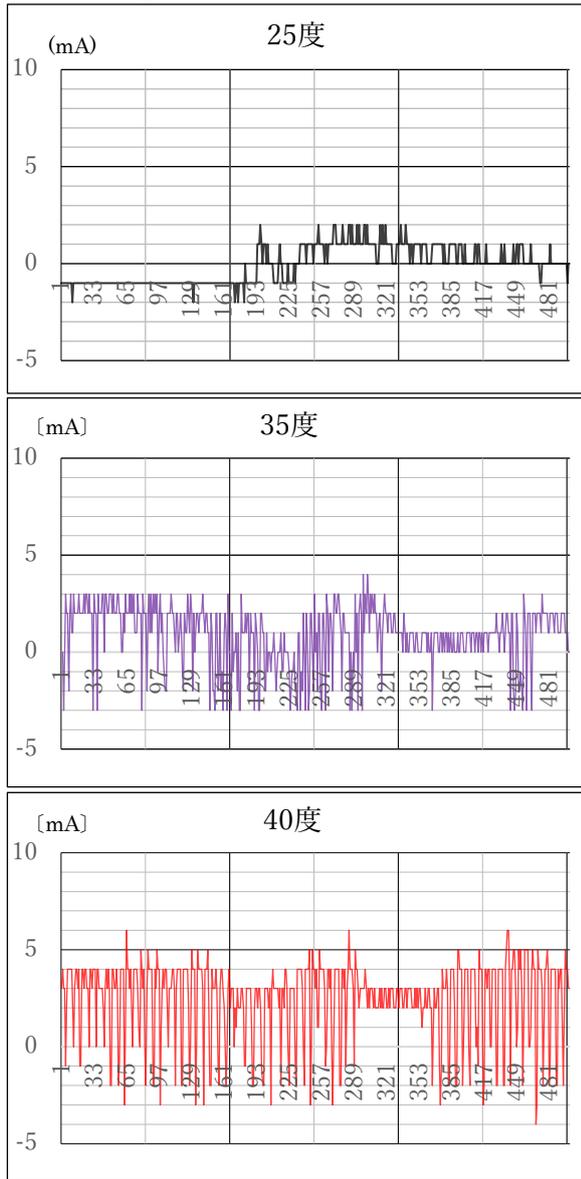
(2) 結果

実験 1 について、それぞれの角度の時の電流と電圧の 30 秒間の変化の推移をグラフに表す(グラフ 1, 2)。

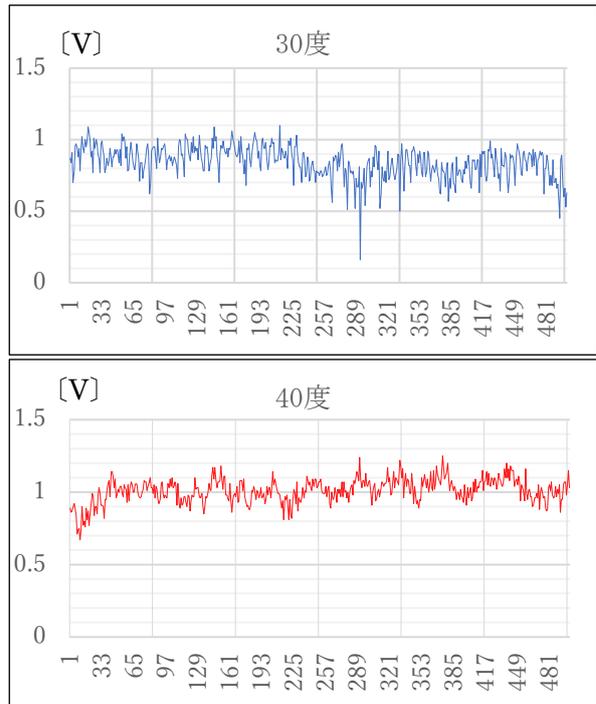
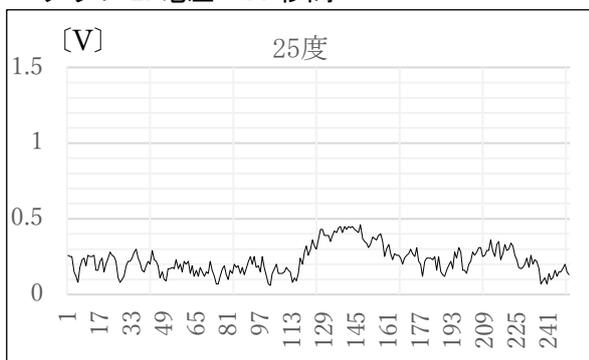
※電流の測定の際、何もしない状態でも EASYSENSE は -2mA の値を出していたためグラフではマイナスの値を出している。

※グラフの横軸の単位は 1=0.06 秒である。ただし「25 度 電圧」の横軸の単位は 1=0.12 秒である。

グラフ 1. 電流 30 秒間



グラフ 2. 電圧 30 秒間



私たちは発電効率を調べるために想定される電力と総合効率を用いて比較することにした。

想定される電力は、

$$\text{電力 } P \text{ [W]} = \text{電流 } I \text{ [A]} \times \text{電圧 } V \text{ [V]}$$

と表されるため、それぞれの電流電圧の平均値を掛ける事で想定される電力を求めることにした。また、糸魚川市生息環境向上技術検討業務(2009)によると、水力発電の発電出力(kW)は

$$\text{電力 } P \text{ [kW]} = 9.8 \times Q \text{ [m}^3\text{/s]} \times H_e \text{ [m]} \times \eta$$

P …発電設備の出力

9.8…係数(重力加速度×水の密度)

Q …流量

H_e …有効落差(総落差-損失落差)

η …効率(水車効率, 発電効率など)

と表すことができる(糸魚川市生息環境向上技術検討業務, 2009)。ここから、想定される総合効率は

$$\eta = P \text{ [kW]} \div (9.8 \times 0.0002 \text{ [m}^3\text{/s]} \times 0.8 \text{ [m]})$$

と表すことができる。発電出力にそれぞれの角度のときの想定される電力を代入することで総合効率を求めた。結果は下の表のとおりである。

表 3. 羽根の角度と電流・電圧の関係(平均)

角度	25 度	35 度	40 度
電流 [mA]	1.519	2.875	4.884
電圧 [V]	0.227	0.763	0.988
想定される電力 [mW]	0.345	2.194	4.825
総合効率	0.0002	0.0014	0.0031

※ゼロ点補正の分、電流は 2mA それぞれの平均に足している。

螺旋水車の角度が 40 度の時電圧電流それぞれ最大だった。

4 実験 2

実験 1 では 25 度のとき電流の値がマイナスになり他の角度のときとの比較が難しかったため、実験 2 を行うことにした。

(1) 実験方法

実験 1 と同様に、25 度、35 度、40 度の螺旋水車を実験装置に設置し 30 秒間上から水を流した時の回転数を調べた。

(2) 結果

実験 2 で計測したそれぞれの角度の時の 1, 2, 3 回目の回転数と平均回転数、平均回転速度は次の表のとおりである (表 4)。

表 4. 羽根の角度と回転数・回転速度の関係

羽根の角度	25 度	35 度	40 度
1 回目 [r]	35	88	103
2 回目 [r]	42	82	112
3 回目 [r]	38	79	115
平均 [r]	38.3	83	110
平均回転速度 [r/s]	1.27	2.77	3.67

5 実験 3

製作した実験装置が実用可能なのか調べるため次の実験を行った。

(1) 実験方法

実験装置に実験用発光ダイオードを接続して実際に点灯するか実験を行った。この時用いた螺旋水車は 40 度、水の流量は実験 1 と同様である。

(2) 結果

発光ダイオードは連続して点灯しなかった。また、点灯した際の光量はとても小さくスマートフォンで撮影できなかった。

6 考察

実験 1, 2 とともに 40 度が最大になった。

落下する水が螺旋水車に与える力 F [N] は、1 秒間に落下する水の質量 m [kg] と螺旋水車に対する落下する水の相対速度を v [m/s] とすると

$$F \text{ [N]} = mv \text{ [kg} \cdot \text{m/s}^2] \dots \text{①}$$

と表すことができる。また、1 秒間に落下する水の質量 m (kg) は水の密度 ρ [kg/m³] と体積流量 Q [m³/s] を用いて

$$m = \rho Q \text{ [kg/s]} \dots \text{②}$$

と表せるから①に②を代入して

$$F \text{ [N]} = \rho Qv \text{ [kg} \cdot \text{m/s}^2] \dots \text{③}$$

と落下する水が螺旋水車に与えた力を表すことができた。

東亜電機工業株式会社 (2007) は特許の中で落下する水が羽根に当たり、回転軸に垂直な方向に与えた力 F [N] をこのように考えていた。考えを単純にするために水が水車の羽根の各点に平均して衝突すると考え、水が各点で螺旋水車に与える力を F [N]、水の体積流量を Q [m³/s]、水の密度を ρ [kg/m³]、螺旋水車に対する落下する水の相対速度を v [m/s]、水平軸からの螺旋水車の角度を θ とする。③より、

$$F \text{ [N]} = \rho Qv \text{ [kg} \cdot \text{m/s}^2] \dots \text{④}$$

力 F の螺旋水車の斜面に垂直な方向の分力 F_1 は、

$$F_1 \text{ [N]} = F \cos \theta \text{ [N]} \dots \text{⑤}$$

F_1 の回転軸に垂直な方向の分力 F_2 は、

$$F_2 \text{ [N]} = F_1 \sin \theta \text{ [N]} \dots \text{⑥}$$

とそれぞれ表すことができる。

④⑤⑥より落下する水が羽根を回転軸に垂直に押す力 F_2 を、

$$F_2 \text{ [N]} = \rho Qv \sin \theta \cos \theta \text{ [N]}$$

と表す。(東亜電気工業株式会社, 2007)

この考え方では、45 度の時 F_2 の値は最大になる。45 度に近い角度ほど値は大きくなるため、これは本実験で 40 度の時の値が最大になったことを支持することといえる。この力の関係は下の図に示すとおりである (図 10)。

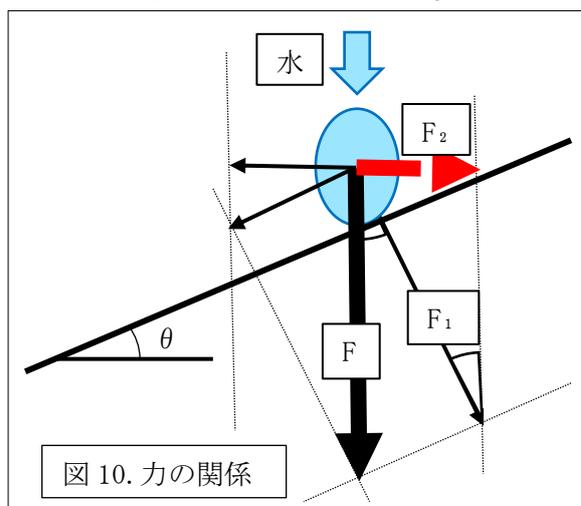


図 10. 力の関係

瀧本ら (2014) のさらに行った実験では、最も発電効率の高い螺旋水車を利用して水の流量を 0.05~0.15 [m³/s] の範囲の中で変えて 6 回

の実験を行い、水の流量が多くなるにつれて発電効率が高くなるという結果を得ていた(瀧本ら, 2014)。

7 結論

私たちの実験装置では、25 度、35 度、40 度の螺旋水車の中で 40 度のときに最大だった。

総合効率は 40 度の時最大で 0.0031 と値は小さく、実験 3 の結果からも実用には適していないと考えた。

水車の質量や流した水の水量などが異なったために、先行研究とは大幅に異なった結果を出した。

8 今後の展望

より多い水量での実験、別の流体や異物が入った場合の実験をする。

さらに角度の大きい角度の螺旋水車でも実験を行う。

全ての角度の螺旋水車の質量を一定にして実験を行い、より正確な比較を行う。

謝辞

本研究を行うにあたり、佐々木隆浩先生、佐々木修先生、柿木康児先生から様々なご指導ご鞭撻を賜りました。心より感謝申し上げます。

参考文献

- ・瀧本ら (2014) : マイクロ水力発電用螺旋水車の動力特性と効率化に関する研究, 農業農村工学会論文集, 82(2), 59-66. 2.
- ・塗料屋ペンちゃん: FRP ご使用方法
<http://www.p-penchan.com/use-frp.html>
(2021. 7)
- ・糸魚川市平成 21 年度生息環境向上技術検討業務(2009)
https://www.city.itoigawa.lg.jp/secure/16567/suiryoku_h2.pdf
(2021. 12. 12)
- ・東亜電機工業株式会社 (2007) : 螺旋水車の羽根, 特開 2007-154862 (2007. 6. 21)
- ・小林ら (2015) 螺旋水車を用いた家庭用小水力発電機の開発,
<https://gakusyu.shizuokac.ed.jp/science/sonota/ronnbunshu/h27/153194.pdf>
(2022. 2. 22)