

ナノ水力発電機の製作

(アルキメデススクリー型と全天候対応型発電機の開発)

Production of nano hydroelectric generator

(Development of Archimedes screw type and all-weather generator)

石村健志 (大阪府立城東工科高等学校, Kenji Ishimura)

○大園阜仁 (大阪府立城東工科高等学校, Haruto Ozono) ※

○龍石悠雅 (大阪府立城東工科高等学校, Yuga Tatsuishi) ※

○新田峻己 (大阪府立城東工科高等学校, Syunki Nitta) ※

○松本唯希 (大阪府立城東工科高等学校, Yuki Matsumoto) ※

○三芳叶真 (大阪府立城東工科高等学校, Toma Miyoshi) ※

1 はじめに

昨年1月1日に発生し、最大停電戸数が約4万戸に上った能登半島地震。約9割が復旧したのは約1カ月後と大きく遅れた。半島先端に位置する珠洲市や輪島市を中心に、細い山間道で繋がれた街は孤立していた。土砂崩れや薙ぎ倒された樹木に電柱が折り曲げられ、電力と合わせて通信の復旧も時間を要した。今や日本の生活における電力と通信は、単なるライフラインではなく、人と人が繋がる心のケア・豊かさを維持するために切り離せられない。

我々は、災害発生による停電や電力が不足する場所で、いつでも使用可能な小型の水力発電機を製作・開発してきた。また、普段使いとしてキャンプなどのアウトドアにでも持ち運び使用ができることを目指し、3DCADでモデリング設計し3Dプリンタを中心に製作した。2年間における様々な取り組みを経て製作した2つのタイプを紹介する。

市場調査



図1 生徒による市場調査の様子

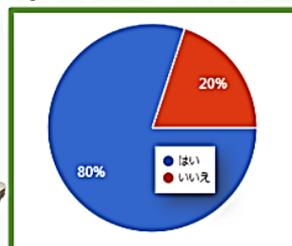
1.1 市場調査

昨年度、本校近くにオープンしたばかりのショッピングモール内にあるアウトドアショップのご協力のもと、生徒自ら話しかけ商品紹介とともにナノ水力発電機についての市場調査を実施した(図1)。

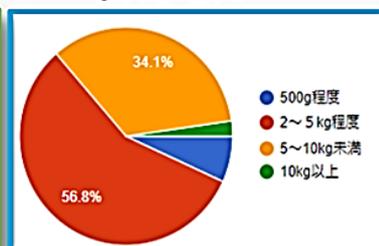
調査の結果を図2にまとめた。サイズは150mm角の全長300mmに収まり、2~5kgの重さまでとしたもので、スマートフォンやLED照明などに利用したいという声を多くいただくことができた。



Q.左のサイズで使用しますか？



Q.持ち運ぶ重さは？



1.1. 小型発電機を使用する場合の利用シーンを選んでください

36件の回答

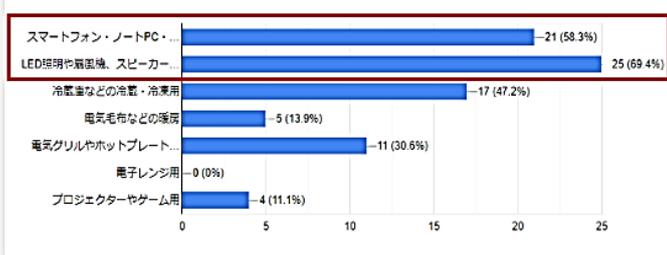


図2 市場調査の結果 (一部)

2 2タイプの発電機

2.1 アルキメデススクリー型

我々は、前年度よりアルキメデススクリーを用いた発電機を研究してきた。アルキメデススクリーは、回転軸を中心に螺旋状の羽（ブレード）が設けられており、昔から水を汲み上げる揚水や定量的に物を流していく要素として使われてきた。今回は水の流れに対して回転させる水力発電に用いるにあたって、低落差、低流量においても回転力を得られる特徴を利用したいと考えた。

また、今年度は、引き続き小型化を目指し、誰もが普段よく手にし、持ち歩いているペットボトルに入れ込むことに挑戦することとした。そのためのアルキメデススクリーの小型化、形状について研究してきたことについて紹介する。

2.2 全天候対応型

今年度は、さらにもう1つのテーマとして新しい形の水力発電を目指し検討してきた。最終的には、水力を軸にした複数の発電方法を搭載した全天候型発電機（WHIST）の製作に至った。水力以外に風力、太陽光、温度差の発電方法を組み込むことで、水の流れがない、太陽が出ていないなど、複数の状況や場所においても発電することを目標にした。

3 アルキメデススクリー型水力発電機の開発

3.1 スクリューの流体シミュレーション

アルキメデススクリーは、金属加工などで製作するとすると、困難を極める。予実験では、本校近くの平均流速 0.3m/s の小川にて、塩ビ管を軸に丸く切り抜いた数枚のクリアファイルを繋ぎ、スクリーを製作したが、上手く回転力を得られなかった。

効率よく回転するスクリーを製作するため、予実験同様の直径 125mm、軸からの角度(ブレード角度)75°、ピッチ 30mm、全長約 270mm のブレードをモデリングし流体シミュレーションを行った。

図4は軸中央断面におけるブレード内の流速分布図とベクトルを表す。ブレード間で渦が発生し流れが滞留する様子が示されており、回転力を与える水平なベクトルがブレード間に存在せず、予実験では回転を得られなかったと考えられる。

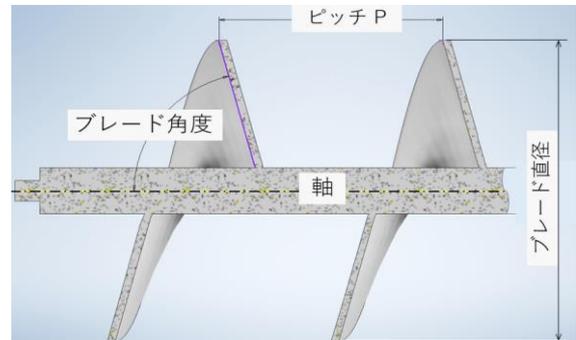


図3 スクリューの各部名称

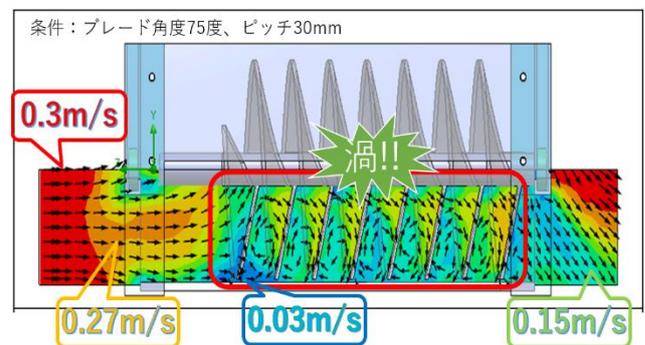


図4 流速の分布図とベクトル

| 平均流速 | ピッチ | | | | | 各角度の平均流速 | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|
| | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | | |
| 角度 | 45 | 0.196 | 0.216 | 0.226 | 0.230 | 0.230 | 0.220 |
| | 60 | 0.191 | 0.214 | 0.225 | 0.225 | 0.229 | 0.217 |
| | | 75 | 0.197 | 0.211 | 0.217 | 0.222 | 0.229 |
| | 90 | 0.199 | 0.209 | 0.215 | 0.219 | 0.230 | 0.214 |
| 各ピッチの平均流速 | 0.196 | 0.213 | 0.221 | 0.224 | 0.230 | 0.217 | |

※ 各流速はシミュレーション3回の平均値

渦の発生領域

最大平均流速

図5 ブレード条件による流速一覧

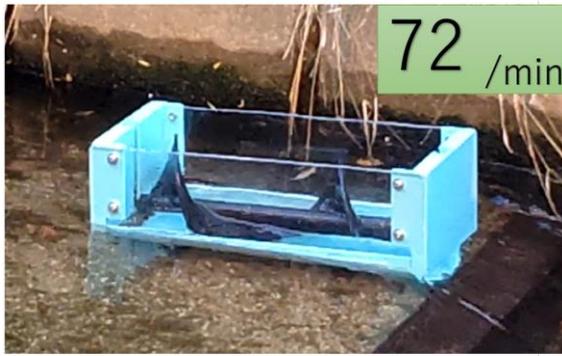


図6 小川での実験の様子（左が川底に置いた状態，右は10°傾けた状態）

引き続き、ブレード角度とピッチを変数とした複数の条件におけるシミュレーションを行った結果を図2にまとめた。大小違いはあるが、渦は、発生領域（□青枠）が広く、黄色く示した最大流速域においてもブレード角度45°と60°に見受けられた。

3.2 アルキメデススクリー型の実験

渦による影響について最小限に調査するため、最大平均流速を得られているピッチ150mmにおいて、渦が生じるブレード角度45°と、渦のない角度90°に絞り、3Dプリンタでブレードを製作した。

2つのブレードを再度小川で実験（図6）を行った結果、図7の通り、回転数の違いが現れた。ブレード軸（本体）と水平の傾き角を軸傾斜としている。川底に置いた状態は水平からの角度が極めて小さく0°とし、小川の中に一部存在する小さな落差に10°傾けて設置したものとを比較した。

軸傾斜に関係なく、図5において渦が生じるブレード角度45°よりも90°が回転数を多く得られていることから、上記3.1の通り、渦が生じることはブレードを押し水平方向のベクトルが弱く、回転力を得られないと言える。ブレード角度90°におけるピッチP150mmとブレード直径D125mmを、最適比とするなら $P/D=1.2$ となる。

また、10°の軸傾斜を与えることで回転数が約2倍に増えたことは、低落差ではあるものの位置エネルギーによる影響が大きいと考えられる。

3.3 ペットボトル型発電機の実験

普段から持ち運びやすい大きさであるペットボトルサイズに収まるようアルキメデススクリーを製作した。これまでブレードは1枚であったが、重量バランスと水の流れをより多く受けられるよう3枚に改良し、ペットボトルに収めた実験機を図9に示す。最適比 $P/D=1.2$ を用い、ブレードは角度90°、直径50mm、ピッチ40mmで製作。しかし、実験ではペットボトルの形状と柔らかさが要因として、ペットボトルがブレードに触れ回転を妨げていた。また、ペットボトル内に入った水が出口から上手く排出されず内部で滞留していることが分かった。2つの問題を解決するため、ペットボトルを外して再度、実験を行った結果、非常に速い回転を得られたが、発電量としては7.5mWと微弱な発電となった。

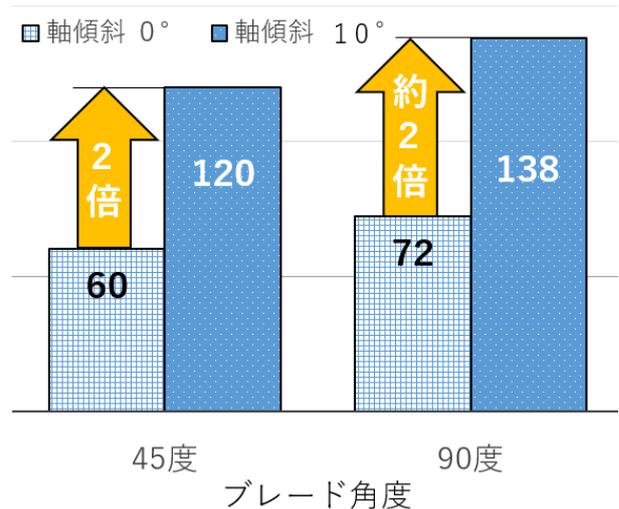
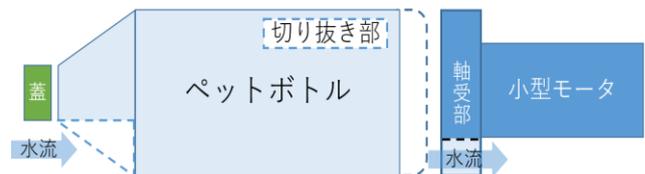


図7 実験による回転速度の結果



蓋と軸受け部にベアリングを設け、スクリーを取り付けペットボトルと結合

図8 ペットボトル型水力発電機の構成



図9 ペットボトル型水力発電機の実験の様子



図 10 回転伝達方法



図 11 micro:bit を用いた温度計測の様子

3 全天候型発電機 (WHIST) の開発

3.1 外筒付きプロペラ

WHIST では、全長を縮めるため外側に筒を設けたプロペラを採用し、筒外周面から間接伝達による速度比 10 倍とした摩擦車方式を用いた (図 10)。また、プロペラ 2 号機は 1 号機より水流を受ける面を広げるため、羽をより傾けるよう設計を変更した。

3.2 micro:bit 用いた温度と電力の計測実験

WHIST には各発電機の制御を含め、ペルチェ素子に用いる温度および総発電量について micro:bit を用いて計測することに備え、予実験を行った。

micro:bit には、温度センサーが搭載されており、プログラムを組み込むことで気温等の温度計測が可能であったため、本校グラウンド横の陰りの少ない場所で予実験を行った。1 辺が 150mm の透明なケース内に、太陽光パネルとその下の陰になる所に micro:bit を置き、パネル下の温度を計測した結果を図 11 に示す。11 月頃ではあったが、最大で 40° を計測することに成功した。

また、電力の計測については、複数の発電機から得られる総電力量を得ようとしたが、上手く計測できなかった。調べた結果、micro:bit で計測できる電圧が 3.3V までであったため、全ての発電機で得られた発電量はそれよりも多く、安定した計測結果を得ることができないことがわかった。この結果より、本体に組み込むことを断念した。

3.3 全天候型での実験

外筒付きプロペラは水力及び風力として本体中央に設置、その他の発電機の取付位置を図 12 に示す。同小川の深さ約 160mm (プロペラが 4/5 浸かる程度) に置いて実験を行った (図 13)。その結果、最大電圧 7V、電流 40mA であった。また、その際は曇りであったため、曇りでの太陽光単体で計測すると 4.5V、80mA。パネルを塞ぎ温度差単体では 0.5V を得たが電流はほぼ得られなかった。これらの結果から水力単体では電圧 2V を算出。ただ、風力は回転を得られなかったため未計測とした (表 1)。結果、WHIST の総発電量としては 280mW を得られた。



図 12 各発電機の取付位置

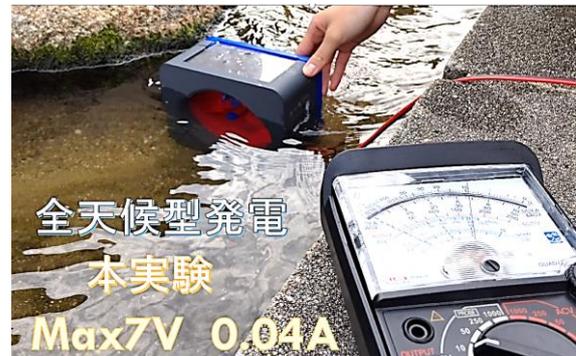


図 13 WHIST の実験の様子

表 1 全天候型発電機の発電量

| 発電種類 | 電圧[V] | 電流[mA] |
|---------|----------|--------|
| 温度差 | 0.5 | 1? |
| 太陽光(晴れ) | (6.0) | (60) |
| 太陽光(曇り) | 4.5 | 80 |
| 水力発電 | 2.0(算出値) | 未計測 |
| 風力 | 未計測 | 未計測 |
| 総発電量 | 7.0 | 40 |

4 まとめ

各発電量は微弱ではあるが、一部発電機の実験ではモバイルバッテリーが充電可能な電圧を得たことで、目標とした災害時や普段使いとしてスマートフォン等の充電に使用が可能であり、通信としてのライフライン復旧の一助に貢献できるのではないかと。