

山間降雪地域における小電力発電機器の最適化を通じた エネルギー教育の推進

岐阜県立飛騨神岡高等学校 工業技術系列 教諭

川上 登

1. はじめに

昨今の災害や環境問題、戦争によるエネルギー危機から非常用電源を準備したり、自家発電設備を設置しようとする動きが世間一般にも出始めている。限られたエネルギーを有効に使うためには、効率の良い発電ができることが求められる。そのためには小電力発電設備を地域の気候風土に適した形状にすることや、設置場所や設置方法を工夫していくことが非常に大切である。

本研究は小電力発電によるエネルギーの地産地消をテーマとし、山間降雪地域における有効な小電力発電の方法を探り、その活用を通じて地域の活力を維持することをめざして開始した。2022年度は設置角度を変えた4枚の太陽光パネルと風力発電機を設置し、その発電電圧の比較を始めた。しかし、風力発電機が思うように回らないことから2023年度は風力発電機の特性を調べるとともに、発電量を増やすために風車の形状について研究をすすめ、模型を使った比較実験を実施した。2024年度は風車形状の研究を継続するとともに、太陽光パネルの発電電力の計測に取り組んだ。

これらの活動は工業技術系列の生徒の授業・実習内で行うとともに、総合学科の系列をまたいだ探究活動の中で実施した。これらの活動を通じて、エネルギーに関する意識を高めるとともに、工業を学んでいない生徒たちに工業技術の有用性を伝える試みを行った。

2. 山間降雪地域における太陽光パネルの適切な設置角度

2023年2月～2024年2月までの1年間、本校のグラウンドわきに設置した4枚の太陽光パネルを用いて、その設置角度とパネルの向きの違いがどれほど出力端開放電圧に影響を与えるかを調べた。

図1に設置姿勢を示す。左から水平面に対し 60° の縦置き、 90° の横置き、 90° の縦置き、 36° の縦置きとしている。一番右のパネルは学校所在地の緯度 36.1° に合わせており、一番左のパネルの 60° は冬至の時の太陽高度を想定して設定した。中央の2枚は水平面に対し垂直に設置しているが設置方法を変えた。雪面反射の影響もあることから、縦横の設置方法で変化するかを調べるためである。



図1. 設置姿勢を変えた太陽光パネル

計測は2023年2月10日から始めた。探究活動の中で製作した回路を活用し、探究活動を始めた生徒が卒業後も1年間を通じ10分間隔でパネルの出力端開放電圧を計測した。同時に気温、湿度、気圧の化も計測して記録した。計測回路のバッテリー切れや、I2C通信異常で延べ3日のデータの欠落があるが、年間を通じて太陽光パネルの開放端電圧を計測し続けることができた。

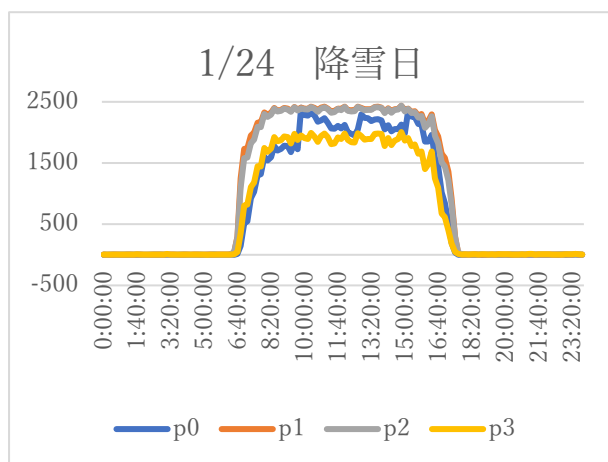


図2．出力端開放電圧の日周変化

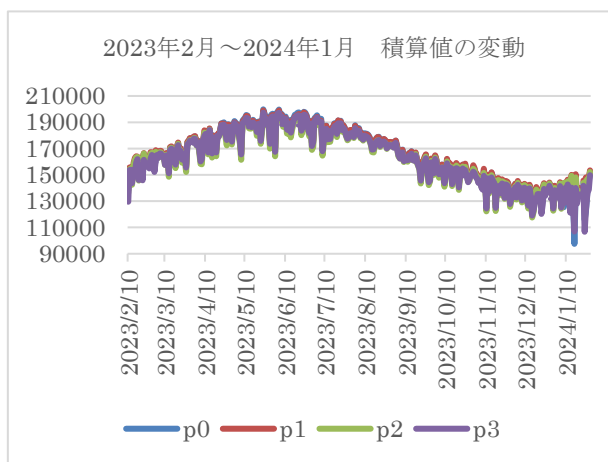


図3．電圧積算値の年周変化

図2のグラフは真冬の降雪時のデータである。p0が60°縦置き、p1が90°横置き、p2が90°縦置き、p3が36°縦置きのパネルである。降雪時には90°設置のパネルのほうが出力電圧が大きい。

図3は計測した1年間の積算値の変動である。おおむね日照時間に影響を受けているが、天候の影響もあり、梅雨前の5月末あたりが最大で、最小は積雪のある1月末から2月初旬であった。

年間を通して積算した出力端開放電圧積算値は、90°横置きのパネルが最も多い値となり、次いで60°縦置き、90°縦置き、36°縦置きと続いた。その差は1.7%とわずかであった。

2024年6月より電力積算量を比較している。年間を通じた計測が終了していないので結論は出せないが、2025年1月の段階では、60°設置のパネルの積算量が最も多い、降雪時における発電量が90°に設置したパネルのほうが有利なため、今後90°設置のパネルの積算量が増えることが予測できる。また、36°設置のパネルが最も少なくなると予測できる。

3. 風力発電機の特性試験

2023年2月に設置した風力発電機が風の強い日であってもあまり回転していないことなどから、風力発電機の特性そのものを実験で求める必要が出た。購入した市販の風力発電機は、その特性を示すマニュアル類がなく、定格400Wと記載してあるが、回転数や電流、電圧値は不明であった。そこで生徒は発電機の特性を調べ、風力発電機からバッテリー充電に適した直流電圧を得るための回転数を求めるとともに、定格電力を得るための回転数の推定を実施した。

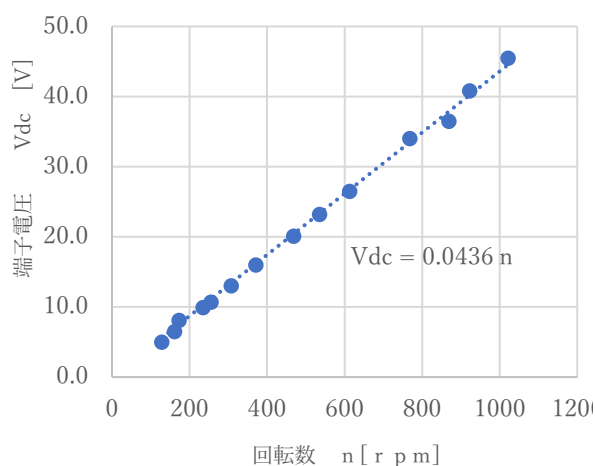


図4．風力発電機の無負荷特性

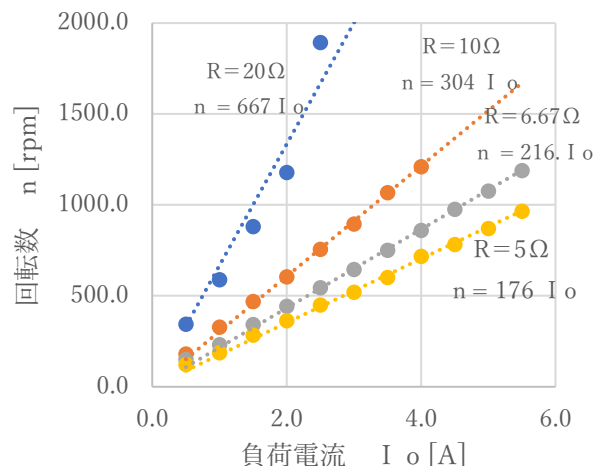


図5．風力発電機の負荷特性

図4は無負荷特性のグラフである。グラフの電圧は整流した後の直流電圧である。この特性の近似式から12V バッテリーに充電可能な電圧12～14.5V程度を得るための回転数は275～333[rpm]であることがわかった。それ以上の回転数となった時は、PWMにより平均電圧を下げるなどの措置がある。

図5は負荷特性を調べたものである。実験では発電機出力を整流した直流に抵抗負荷を接続し、負荷電流 I_o と回転数 n の関係を調べた。抵抗が小さくなり、負荷電流が大きくなるほど回転数があがらなくなることがわかる。図6は $R=5\Omega$ の時の回転数 n と出力端子電圧 V_o の関係をグラフにしたものである。 $P_o = V_o I_o$ として計算した出力をグラフにした。

生徒は実験で得られたデータをExcelに入力してグラフの作成をしたが、図5, 6のような近似式を表示させるように指導した。グラフの電流と電圧の近似式から、電力 P_o の近似式を求めて、その式から定格電力とされる400W時の回転数を求めた。負荷 $R=5\Omega$ の時は1560[rpm]であると推定できた。負荷が違うときも同様に算出させた。このようにして、風力発電機の回転数と電圧、電流、電力の関係を求めることができた。

この実験は電気系列の授業、電力技術の中で行った。風力発電機の軸とリンクしたハンドドリルを回転させて、回転数や電圧、電流を計測した。ハンドドリルを持つ生徒は、負荷の増大と共にトルクが上昇するのを体感していた。この実験において、必要な電圧を得るためにはかなり大きな回転数とトルクが必要であることがわかったため、弱い風でも回転しやすい風車の形状を検討する必要性を認識した。

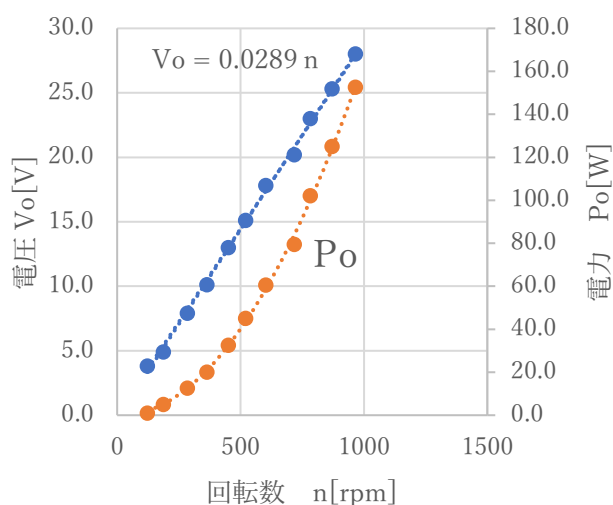


図6 $R=5\Omega$ の時の V_o と P_o の特性

4. クロスフロー風車の形状の比較実験

風力発電にプロペラ風車が使われることが多いが、これは効率が最も良いとされているからである。しかし、プロペラの羽根の形状は複雑であり、高校生が手作りをするにはハードルが高い。そこで、比較的形状がシンプルで、小水力発電にも活用されているクロスフロー型の風車を製作することにした。

最初に、模型によるフィンの取り付け角度の比較に取り組んだ。直径120mm、長さ200mm、フィン取り付け半径100mm、フィンの幅20mm、フィン枚数12枚の形状のクロスフロー風車を準備し、

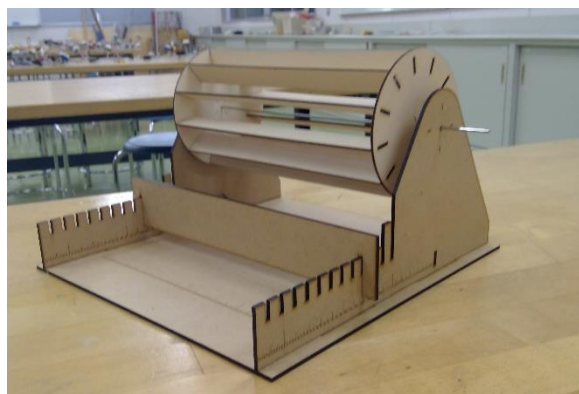


図7. クロスフロー水車模型

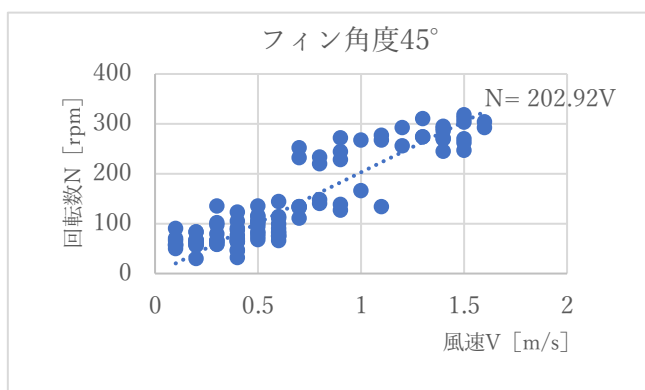


図8. 実験結果グラフ (45°)

フィンの取り付け角度を円周方向に対して 30° , 45° , 60° , 75° , 90° と変え、風速に対する回転数を比較することにした。

生徒は風車の部品の図面を CAD で製作した。そのデータを活用して 1.6mm のシナベニアからレーザー加工機で部品を切り出した。その部品を組み立てて、クロスフロー風車の模型を作成した（図 7）。

実験は 2023 年度の探究活動において、工業技術系列の生徒が中心となって実施した。扇風機から風を送り、風速計で風速を計測し、同時に回転計で回転を計測したので、図 8 のようにばらつきの多いデータとなった。比較の結果、フィン角度 45° の時、 $N=209.92V$ という関係となり、最も良かった。

5 縦軸型クロスフロー風車の製作

縦軸クロスフロー風車の良いところは、どの方向からの風に対しても回転できることである。そこで、2023 年度の探究活動において縦軸型のクロスフロー風車を機械系列の生徒が中心となった班で製作した。

2024 年度はエアコンのクロスフローファンを活用して、縦軸型クロスフロー風車を製作した。残念ながら、目標としていた微風による回転が達成できなかったが、生徒は自分たちの手で縦軸型クロスフロー風車を製作できたことで、身に付けてきた技術に自信を深めていた。

一方で、模型実験で設計した風車の大型化を図るための活動にも着手した。今年度はハブ部分の設計及び試作で終わってしまったが、3D-CAD による設計を実施したことで、生徒は技術を学ぶ喜びを感じている様子であった。



図 9. 縦軸型クロスフロー風車

9. まとめ

山間降雪地域における太陽光パネルの設置については 60° ～ 90° あたりが有利であり、特に降雪時期は積雪の影響が大きいため、 90° 設置のほうが有利であることが確認できた。また、一般的に設置されることの多い 30° 近辺では、年間を通じて不利になることが予想できた。降雪地域に適する風力発電方式についてはまだ研究途中であるが、クロスフロー風車の可能性をさらに研究していきたいと考えている。本研究を通じて、生徒たちがエネルギーの問題を考えると同時に、地域の活性化を考えながら活動できたことは大変有意義であった。また、授業で学んだことを活かすとともに、レーザー加工や 3D-CAD の活用などの発展的な学習ができたことも生徒にとって大変有意義であった。

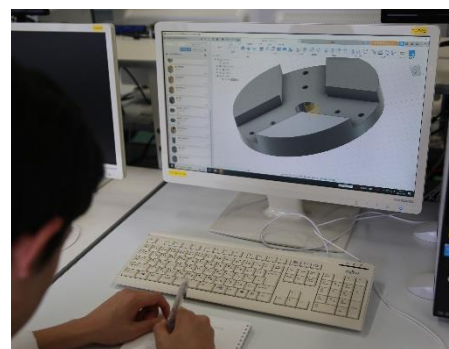


図 10. 3D-CAD による設計

謝辞

公益財団法人天野工業技術研究所研究助成金により多大なご支援を頂くことで、本研究を遂行することができました。心より厚く御礼申し上げます。