

下敷きを用いた風力発電教材の開発

井上 貞行

早稲田大学高等学院 inoko1978@yahoo.co.jp

キーワード：エネルギー教育，再生可能エネルギー，風力発電機，物づくり

(受付：2021年1月19日)

I. はじめに

2015年の9月，第70回国連総会において，「国連持続可能な開発サミット」が開催され，「我々の世界を変革する：持続可能な開発のための2030アジェンダ」が採択された。アジェンダは17の目標と169のターゲットからなる「持続可能な開発目標（SDGs）」の束である。これらの目標は，先進国，開発途上国がともに取り組むべき国際社会全体の目標として採択されている。SDGsの中に，「目標7. すべての人々の，安価かつ信頼できる持続可能な近代的エネルギーへのアクセスを確保する」とあり，目標7.2ではより具体的に「2030年までに，世界のエネルギーミックスにおける再生可能エネルギーの割合を大幅に拡大させる」とされ，日本をはじめとする世界各国において再生可能エネルギーの普及，拡大がめざされている（国際連合広報センター）。学校教育においてもその達成を図るための役割が求められているが，再生可能エネルギーを教科で扱う機会がそもそも少なく，また風力発電についての教材も十分ではない。

本研究では，エネルギー教育の一環として水平軸風車を取り上げ，生徒が自分の手で手軽に工夫して作ることができ，風力発電のブレードの形と発電効率について実感的に理解できる教材の開発を行った。

1. 教材観

エネルギー教育における風力発電装置については，飯野（2020）や井筒（2019）等の実践によって教材が開発されている。これらの実践の大きな特徴は①身近な物を用いて教材を作成していること。②サボニウス型のような垂直軸型の発電装置であることである。しかし，これらの研究で開発されている教材は身近な物を用いているが，3Dプリンターを用いていることや，部品の点数や開発工程が多い等の特徴が挙げられる。

本研究では，材料として③下敷きのみを用いて④水平軸型の風車を作成し，より簡便に教育現場で生徒自身が自分たちの手で様々な工夫ができる教材の作成をめざした。その際に，教材に期待される性能としては以下の3点が挙げられる。

- 1) 風力発電の発電効率が羽の形状によって変わることをわかりやすく示すために，入力変数（ブレードの長さや枚数等）を変えたときに出力変数（発電電圧）の変化の大きいこと。
- 2) 想定される風力によって最適なブレードの形状が変わることが実験的に示されること。
- 3) 安全でかつ，生徒にとっても加工しやすく，短時間で結果が出ること。

以上の性能を本教材が持つかどうかを検証するために以下の実験を行った。

II. 実験装置及び測定方法

1. ブレードの製作

ブレード製作に使用した材料は以下の通りである。

〔材料〕下敷き（三菱鉛筆：uni, 下敷き：透明）、カッター、ハサミ、定規、筆記具、電気ドリル

〔製作〕下敷きに半径 4cm, 6cm, 8cm の円を描き、その中心に半径 1cm の円を描いた（図 1）。半径 1cm の円にあわせてブレード幅を設定し羽（以下、ブレードと呼ぶ）を作成した。下敷きを材料に選択したのは、ハサミで切ることができ、生徒が加工することが容易なためである。また、図 1 の太線部分に切れ込みを入れ、ブレードを半分に折り曲げ約 45°の角度をつけた。その後、電気ドリルを用いて中心部に 2mm の穴をあけ軸受けとした（図 2）。

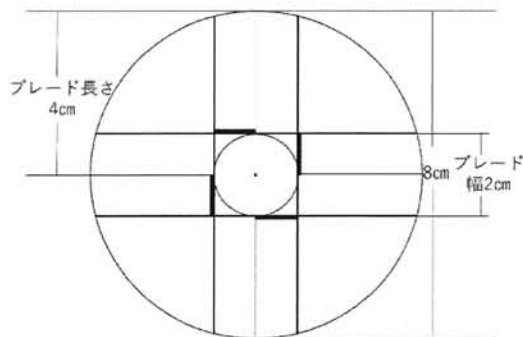


図 1 ブレード設計図 (4cm)

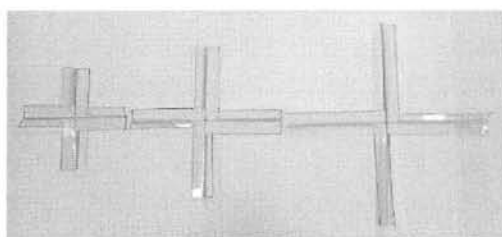


図 2 完成したブレード左から 4cm, 6cm, 8cm

2. 実験装置

計測に使用した計測機器は以下の通りである。

- ・ 風速計：環境メーター LM-9000（図 3）

0.4～30.0m/s 精度：±3%F.S.（風速 20m/s 以下）

- ・ オシロスコープ：OWON SDS1022（図 4）

バンド幅	20MHz
サンプルレート	100MS/s
チャンネル	2
Max Input Voltage	400V (PK - PK) (DC+AC, PK - PK)
DC Gain Accuracy	±3%
Input Impedance	1MΩ ± 2%, in parallel with 20pF±5pF
DC Accuracy (average)	Average≥16 : ±(3% reading + 0.05 div) for ΔV



図 3 風速計



図 4 オシロスコープ

また、測定に用いた機器は以下の通りである。

- ・ブロワー（家庭用ドライヤー）
品番：TID420
消費電力：1200W（DRY・TURBO ON）
- ・業務用扇風機
サイズ：800×670×1170～1332mm（可変式）
本体重量：約 6.0Kg
- ・モーター
Tamiya solar motor02 RF-500TB
- ・ブックスタンド
- ・メジャー
- ・板（木製）

3. 実験方法

板（木製）の端にモーターを取り付け（図5）、ブロワーで風を発生させ、ブレードに風を当て回転させることで電圧を発生させ、モーターで発生した電圧をオシロスコープで測定した。それらの概要を図6に示す。

発生する電流は、交流電流のため、発電電圧は正のピーク電圧から負のピーク電圧の差（ V_{pp} ）で示した。

図7に組み立てた実験装置の外観を示す。

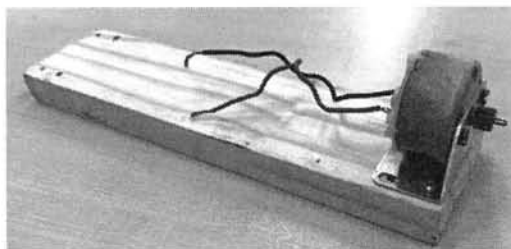


図5 モーター台

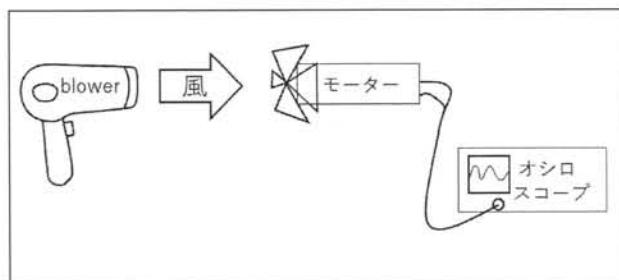


図6 実験概念図

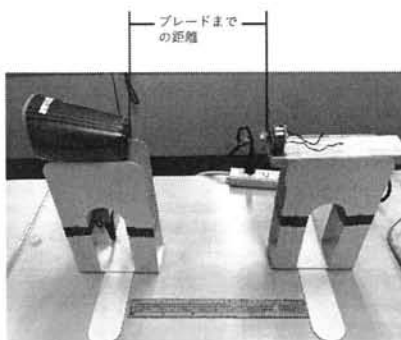


図7 実験装置の外観

[3-1 実験1]

ブロワーからブレードまでの距離を 20cm, 15cm, 10cm, 5cm と変化させ、それぞれの距離における風速を測定した。

また、そののち距離ごとにブレードの長さを変えて発電電圧を測定した。

[3-2 実験 2]

業務用扇風機からブレードまでの距離を 60cm, 20cm, 15cm, 10cm, 5cm と変化させ、それぞれの距離における風速を測定した。

また、そののちに距離ごとにブレードの長さを変えて発電電圧を測定した。

[3-3 実験 3]

ブレードの長さを 4cm と固定し、ブローアからブレードまでの距離を 20cm, 15cm, 10cm, 5cm と変化させ、ブレードの枚数を 1 枚から 4 枚と変化させることで発電電圧がどのように変化するかを測定した。

Ⅲ. 結果

3-1 実験 1 の結果

ブローアから 5cm, 10cm, 15cm, 20cm の距離における風速結果は、以下の通りである (表 1)。また、それぞれの距離においてブレードの長さ (大きさ) を変化させて測定した発電電圧の結果を表 2, 図 8 に示す。

表 1 実験 1 の結果 (風速)

ブレードまでの距離 (cm)	5	10	15	20
ブローアの風速 (km/h)	40.6	37.3	32.8	27.2

表 2 実験 1 の結果 (発電電圧 : mV)

ブレードまでの距離 (cm)	5	10	15	20
ブレード長 4cm	831	754	708	654
ブレード長 6cm	473	469	477	462
ブレード長 8cm	108	112	110	115

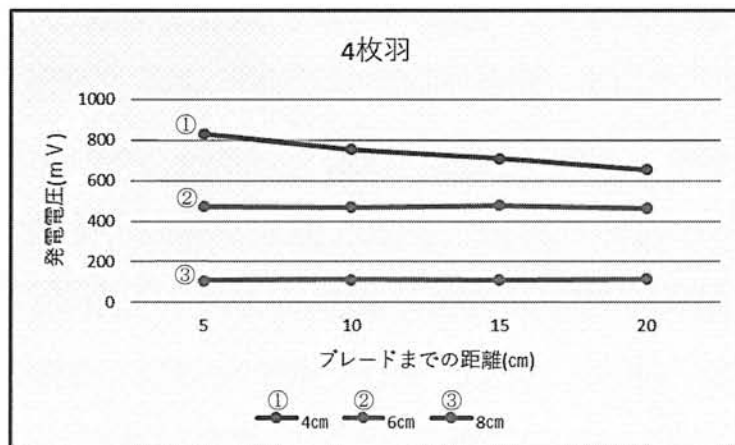


図 8 ブレードの長さ (大きさ) を変えたときの発電電圧

3-2 実験2の結果

実験2では、ブレードまでの距離を5cm, 10cm, 15cm, 20cm, 60cmと変化させ、それぞれの距離における業務用扇風機の風速結果は、以下の通りである（表3）。

また、それぞれの距離においてブレードの長さ（大きさ）を変化させて測定した発電電圧の結果を表4、図9に示す。

表3 実験2の結果（風速）

ブレードまでの距離（cm）	5	10	15	20	60
業務用扇風機の風速（km/h）	22.0	20.7	19.0	19.0	15.8

表4 実験2の結果（発電電圧：mV）

ブレードまでの距離（cm）	5	10	15	20	60
ブレード長4cm	562	554	554	531	300
ブレード長6cm	438	423	438	431	400
ブレード長8cm	169	162	177	146	138

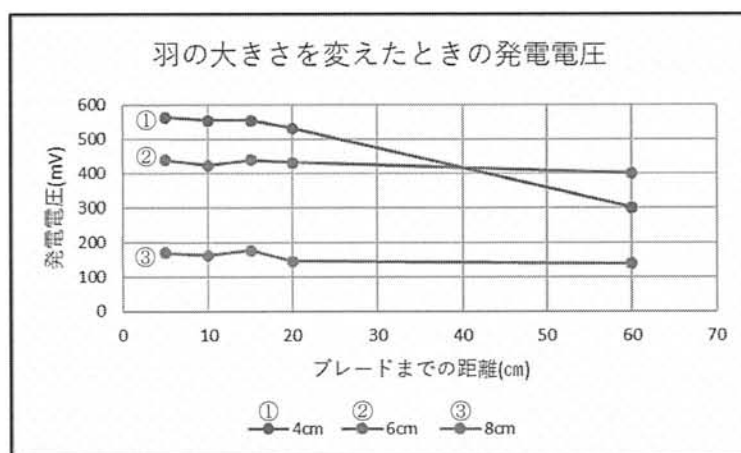


図9 業務用扇風機を用いた実験の発電電圧

3-1 実験3の結果

実験3では、ブレード枚数1枚～4枚までで、ブレードまでの距離を5cm, 10cm, 15cm, 20cmと変化させ、それぞれ測定したときの発電電圧の結果を表5、図10に示す。

表5 実験3の結果（発電電圧：mV）

ブレードまでの距離（cm）	5	10	15	20
ブレードの数1枚	431	431	415	423
ブレードの数2枚	862	823	754	677
ブレードの数3枚	1000	1000	904	846
ブレードの数4枚	831	754	708	654

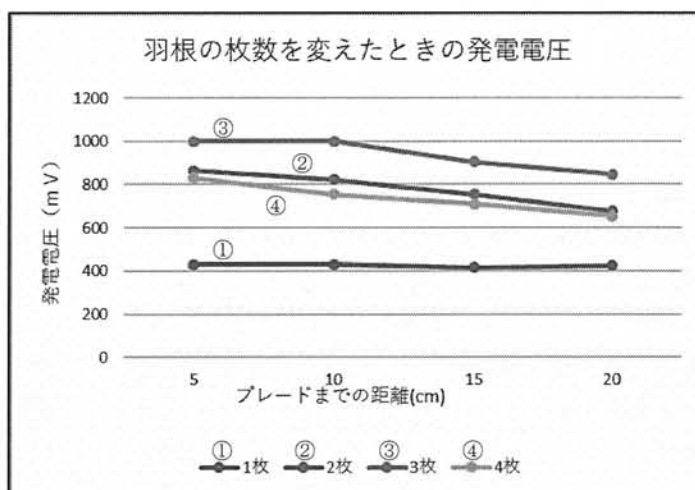


図10 ブレードの枚数を変えたときの発電電圧

IV. 考察

実験結果からの考察

実験1の結果より、どの風速においても4cmの長さのブレードが最も発電電圧が高く、その差はブレードまでの距離が近いほど大きくなることが分かった。このことから、実際に授業の中でブレードの長さによる差を示したい場合は、可能な限り風速を最大にできる条件を設定することが良いと考えられる。

実験2の結果より、風速がある一定以上の場合、ブレードの長さが短いほど発電電圧が高くなるが、風速を弱くした場合は、その関係が逆転することが示された。このことから、本教材は風速条件によって求められるブレードの形状を示すことが可能となった。

実験3の結果より、ブレードの枚数を変えた場合、ブレード数3枚のものが、どの距離においても発電電圧が高いことが明らかとなった。また、その発電電圧の差は、どの距離においてもそれほど変わらないことが示された。このことから、授業でブレードの枚数による発電電圧の差を示したい場合は、ある一定以上(27.2 km/h)の送風ができる条件が整えば、どの条件でも示すことができると考えられる。

期待される教材の性能についての考察

本研究では、教材の性能について3つの指標を検証することが可能となる。

その1は、実験1および実験3の結果より、ブレードの長さ(大きさ)、枚数によって十分に発電電圧が変わることを示すことができる。

その2は、実験2の結果より、想定される風力によって最適なブレード形状が変化することを示すことができる。

その3は、全体の実験準備は2時間以内で終わることができ、用いる準備物も身近な物で、さらに特殊工具を使うことなく、ハサミとカッターのみであることから、十分に実験授業内で実施可能な実験であることが示された。

V. まとめ

本研究では、有力な再生可能エネルギーの一つとされる風力発電について、生徒が実際に製作し、実験を行った風力発電のブレードの性質について学ぶことができる教材の開発を行った。以下に本研究の結果をまとめる。

- 1) 身近にある下敷きを用いて手軽に加工可能な風力発電装置を開発することができた。
- 2) 実験授業を行う際、風力発電の発電電圧が羽の形状によって異なることを本教材で示すことができることを明らかにした。
- 3) 水平軸型風力発電の発電電圧がブレードの長さ（大きさ）、風力、ブレードの枚数の条件でどのように異なるかを明らかにした。
- 4) 実験実習にあたっては、2時間以内で作成と測定までを行うことができることを示した。

以上の結果より、本研究は再生エネルギー、特に風力発電に関する授業において教材として十分に利用できるものと言える。今後は、実際の授業において本教材を活用し、生徒の活動の様子、反応を記録し、さらに効果的な教材の開発を行いたい。

謝辞

本研究を行うにあたり、早稲田大学高等学院事務、長瀬まさえ氏には実験装置の作成、測定方法の相談など多くの支援をいただいた。この場をかりて厚く感謝の意を表したい。

なお、本研究は早稲田大学特定課題研究助成費（研究基盤形成、課題番号 2020C-484）による研究成果の一部である。

文献

- 飯野誠也・川村康文（2020）「理数探究基礎の導入のための 2.0m 大風車風力発電機教材の 3D プリンターを用いた開発と実践. エネルギー環境教育, 14（2）, 37-44.
- 井筒紫苑・川村康文・二宮拓紀・飯野誠也（2019）3D プリンターを用いた卓上型サボニウス型風車風力発電機の開発と実践. エネルギー環境教育研究, 13（2）, 25-32.
- 国際連合広報センター：我々の世界を変革する 持続可能な開発のための 2030 アジェンダ
https://www.unic.or.jp/activities/economic_social_development/sustainable_development/2030agenda/（最終アクセス：2021.1.15）