

## 風力発電の教材化に関して

ものづくり大学製造技能工芸学科 堀 聡

### 6.3.1 はじめに

2003年3月、東京お台場に東京臨海風力発電所『東京風ぐるま』が完成したこともあり、風力発電は一般の人々の関心を特に集めている。風力発電は次の理由から高校生の興味を引く科学・技術テーマである。

地球環境に良いシステムである。

風車は、目で見て直感的に理解でき、その動作を実感できる。

電力は身近に利用されている。

そして、風力発電を利用して、次のような分野の知識を具体的に指導できる。また、科学技術に関する興味を持たせることができる。

気象に関する興味と理解の増大。

- ・風はどのくらい吹いているのか？
  - ・どのような地形・気象条件で風は強く吹くか？
- 電気・機械技術への興味と理解の増大。
- ・風のエネルギーはどのくらいなのか？
  - ・羽根はどのくらい風エネルギーを取り出せるのか？
  - ・発電機の仕組みと工夫はどのようなものか？
  - ・生活で利用している電力はどれくらいか？

環境問題と経済性への興味と理解の増大。

- ・風力発電はどのくらい地球環境に貢献するのか？
- ・風力発電はビジネスとして成立するのか？

このような知識を教え、科学技術に対する興味を増大させるのには、風力発電システムに関して次の点を特徴とする教材を用意することが有効と考える。

#### 電気関連の基礎知識

風力発電の基礎知識では羽根や制御機構だけでなく、発電やその電力利用の電気回路に関する内容を盛り込む。通常、電気関連の知識は物理で学習する。しかし、その内容は基礎的であり、高校生が普段利用しているパソコンや携帯電話などの電気・電子技術とは大きく乖離している。そのため、多くの高校生にとって、高等学校「物理」における「電気」に関する学習内容は、身近ではなく興味を持ち難い。風力発電は、発電や応用電子回路の体験をする良い機会を与える。

#### インターネット利用の調査分析

風力発電の環境への貢献や、Wind Firm 会社の投資・回収ビジネス計画などを課題として生徒に与え、インターネット上に豊富にある関連基礎データを利用して、レポートとしてまとめさせる。これらは、地球環境や経済・ビジネスに興味を持っている生徒にとって、取り組み甲斐がある課題と考えられる。

#### 風力発電の工作・利用体験

ペットボトルや模型用モータを使って風力発電機を実際に作る体験は面白く、遊び感覚で風力発電の原理を理解できる。また、小型風力発電機を学校又は自宅で利用し、結果を分析する体験は、風力発電の有効性の判断、利用用途の発案などに関連付けら

れる。

### 6.3.2 基礎知識を教室で教える

#### 6.3.2.1 風力発電と環境問題

高校生は環境問題、とくに地球温暖化や CO<sub>2</sub> ガスに関しては関心が高い。そこで、日本全体では、どのくらい発電し、発電のためにどのくらい CO<sub>2</sub> ガスを排出しているかを知ってもらう。普段、無意識に使っている電力量を知り、その電力量が如何に大きいかを身体的に理解してもらう。

Step 1. 電力の単位や定義を説明する。

表 6.4 電気の学習の復習

身近な電力	ちょっと復習
瞬間電力	$W[W] = V[V] \times I[A]$
電力	$P[Whr] = W[W] \times t[hr]$
1ワット	$1[W] = 1[J/s]$
1カロリー	$1[cal] = 4.2[J] = 1[Ws]$
接頭語	k: 10 <sup>3</sup> , M:10 <sup>6</sup> , G:10 <sup>9</sup> , T:10 <sup>12</sup>

Step 2. 日本の発電総量とそれがどのくらい環境に負荷をかけているか。

日本の発電総量は 8000 億 kWh=800TWh である。電力の使用端 CO<sub>2</sub> 排出原単位が 0.37kg-CO<sub>2</sub>/kWh である。これは、日本の CO<sub>2</sub> 総排出量の 23%に当たり、大きな環境負荷である。

表 6.5 基礎知識：発電と二酸化炭素

発電と CO <sub>2</sub> (1999 年度)	
日本の総発電量	8000 億 kWh = 800 TWh
使用端 CO <sub>2</sub> 排出原単位	0.37 kg CO <sub>2</sub> /kWh
CO <sub>2</sub> 総排出量	3.02 億 t-CO <sub>2</sub> (23%)
自然エネルギーによる発電	風力、水力、太陽、地熱、波、バイオマス

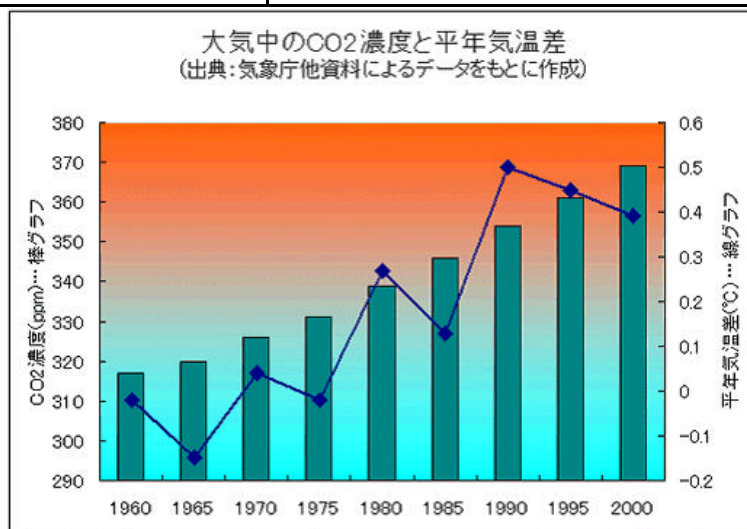


図 6.7 CO<sub>2</sub> と気温の関係 ( <http://www.jccca.org/> )

Step-3 身近な電力使用。

32 インチ TV は、待機電力 2W、使用時 220W である。このテレビを毎日 4 時間見ると 0.44kWh の電力消費となり、0.33kg の CO<sub>2</sub> を排出していることとなる。二酸化炭素排出量は、0.37[kg-CO<sub>2</sub>/kWh] であり、家庭電力料金は、21 円/kWh である。年間消費電力は 5000kWh = 1850 kg-CO<sub>2</sub> となる。

表 6.6 身近な電力：家電品

	待機電力[W]	消費電力[W]
32 インチ TV	2	220
デスクトップ PC	1	123
PS2	-	50

Step-5 人力発電機の体験。

手回し発電機と自転車発電機の発電量は、それぞれ 0.1W、50W 程度である。これらの体験から 32 インチ TV の電力消費量が以下に大きいか、身体的に理解できる。



図 6.8 人力発電機の例（左：手回し発電機、右：自転車発電機）

6.3.2.2 風力発電システムの基礎

風力発電の記事やカタログを理解するのに必要な基礎知識を紹介する。

Step-1 風力発電システムの概要・部位名

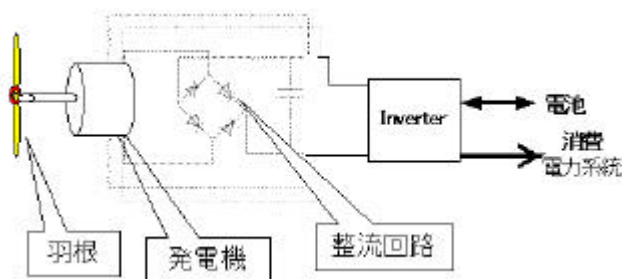


図 6.9 風力発電のシステム



図 6.10 風力発電機の部位の名称

Step-2 様々な風車の形と特徴

垂直軸型（ダリウス型）は風向に依存しない。そして、点検も容易である。水平軸

型（プロペラ型）は安定した風の場合、発電容量が大きい。また、羽根は抵抗型と揚力型に分類することもできる。

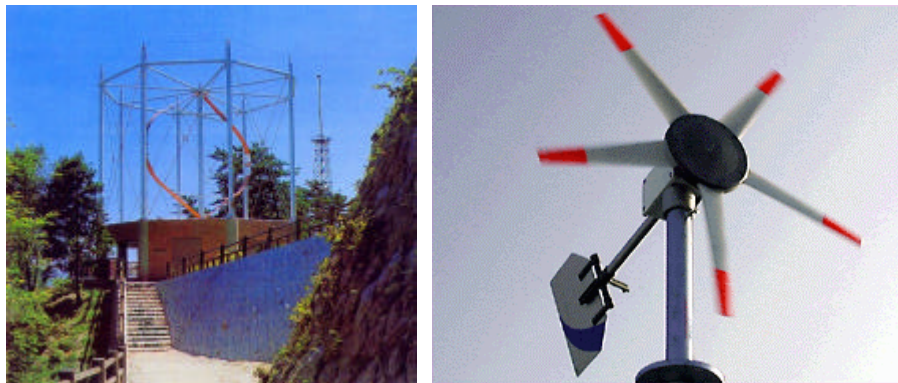


図 6.11 風車の形（左：ダリウス型、右：プロペラ型）

風力発電機から取り出される風エネルギーは次式で表現できる。

$$P = \frac{1}{2} \rho V^3 A \eta$$

ここで、 $\rho$  は空気の密度で  $1.2 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ 、 $V$  は風速 (m/s)、 $A$  は受風面積 ( $\text{m}^2$ )、 $\eta$  は効率であり最大で 60% である。

### Step-3 風力発電システムの性能

風速に対する発電量の出力特性グラフを用いて、Cut-in 風速、Cut-out 風速、定格出力などの定義を説明する。

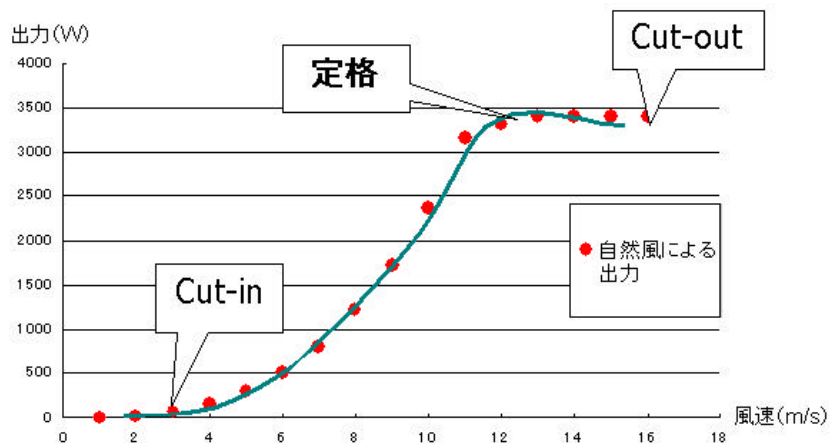


図 6.12 風力発電機の出力特性グラフ

### Step-4 日本の風況と風力発電立地

年間平均風速 5m/s 以上の地域が風力発電に適していると言われる。風況マップを示し、どのような場所で風が強いのか、また、それはなぜかを説明する。さらに現状の Wind Firm を紹介する。最後に、身近な場所の何処が、風力発電立地として適しているかを考えさせる。例えば、NEDO の風況マップを利用して、「どこに作ろうか?」「高さは?」などの演習を行う。

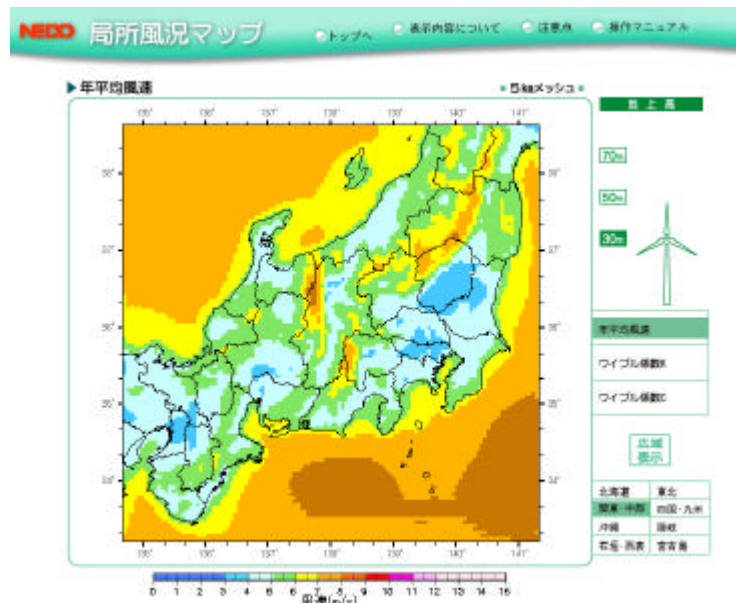


図 6.13 NEDO の風況マップ ( <http://www2.infoc.nedo.go.jp/nedo/index.html> )

### 6.3.2.3 発電システム

風力発電関連の本などでは、羽根や風力特性などについて詳しく述べられているが、発電機や電力回路部分に関する情報は少ない。そこで、発電機や電力回路部分に関する基礎知識を、高校物理程度の知識を前提に説明する。

#### Step-1 電磁誘導と発電機の仕組み

#### Step-2 発電機の種類

誘導発電機と直流発電機

#### Step-3 直流発電機から電力を取り出す

模型用直流モータは直流発電機として利用できる。これを用いて、豆電球を点灯したり充電する電子回路を紹介する。これら回路は簡単に作成できるので、教室で作らせることも可能である。

### 6.3.3 課題調査

インターネットに関連基礎データは豊富に存在する。情報が豊富な Web Site を紹介し、そこから得られるデータを加工することにより、次のような課題に対して回答・提案を考えさせる。

風力発電は、環境問題へ貢献するか？

発電による CO<sub>2</sub> 排出を削減するには、風力発電だけでなく、太陽光、地熱、水力などの自然エネルギー利用や原子力発電が考えられる。また、節電の実行も必要である。このような事を説明し、発電 CO<sub>2</sub> 削減のための方策を調査、立案させる。

風力発電は、何処で使えるか？

日本では風力発電は、Wind Firm や離島発電、および、非常用発電機として利用されている。その実態を調査させ、自分たちの身近ではどのように利用するのが良いか提案させる。

### 儲かる風力発電システムの経営

東京臨海風力発電所『東京風ぐるま』級のWind Firmを作る場合、投資・回収の経営が成り立つかどうかを検証させる。また、Wind Firmが経済的に成り立つためには、どのような技術開発、コスト低減あるいは法律が有効か考えさせる。

### 6.3.4 風力発電の製作と利用

#### 6.3.4.1 さまざまな風力発電機を作ってみよう

ケント紙やスタイロフォームを使って各種羽根を作り比較体験させる。定量的な実験は困難であるが、回転具合や風向の変化への対応などの得失は容易に体験できる。例えば、風向の変化に対して、サボウスやダリウスなど縦型は強い。そして、ダリウスやプロペラの羽根は揚力断面を持つ必要があるなど体感できる。

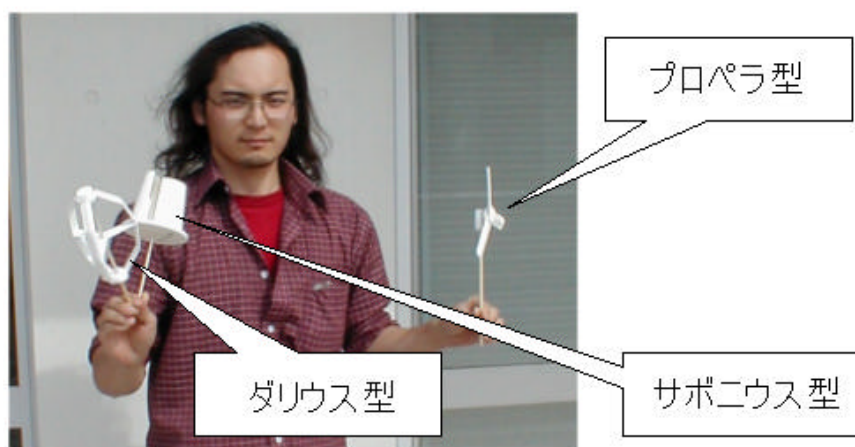


図 6.14 手作り風力発電機のいろいろ

#### 6.3.4.2 発電機回生回路の体験

風車に回生回路をつけるとどの程度のブレーキ効果がでるか試してみる。回生回路で回生抵抗を変え、一定の速度で回したときに停止するまでの時間を測定した。ここでは、人手で回しているのので、物理実験としてはいい加減である。しかし、回生抵抗の働きが感覚的に理解でき、よい体験であった。



図 6.15 回生抵抗器を利用した実験

表 6.7 回生回路の実験結果

回生抵抗値	停止までの時間	回したときの感想
0	54[秒]	重い.電流 2A,電圧 4V 位.
5	72[秒]	
(オープン)	104[秒]	軽い.電流 0 A,電圧 8 V 位.

#### 6.3.4.3 小型縦型風力発電機を自宅で使ってみよう

マンションのベランダにも設置できる縦型風力発電機を使って、自分たちの生活の場でどのくらい風力発電が可能か体験してみる。その時、風向風速計も一緒に設置する。次のような課題が考えられる。

一週間か一ヶ月ぐらい、風力・風向および発電量を計測して、発電効率をグラフにする。このデータから発電機の特性と改良箇所を考察する。

実際に得られた発電量から利用方法を考える。

例えば、「庭木への水やり装置」、「イルミネーション電源」などが考えれる。生徒の発案に対し、生徒自身では困難な電子回路設計や機械加工などは、大学生や学校が支援する体制が必要であろう。この自分の発想が具体的製品になると、発案者の生徒の満足度は高く、また、科学技術への関心と自信を持つことが出来る。2003年12月の風力発電に関する講演でも、夜間照明などを発想した生徒がいた。彼の思いつきを具体化できる体制が用意されれば、非常に有意義な教育となるであろう。

#### 6.3.5 参考文献

- 1) NEDO 風力発電導入ガイドブック 1996 (<http://www.nedo.go.jp/index.html>)
- 2) 松宮 “ここまできた風力発電” 工業調査会 1994.
- 3) 兵庫県中学生の総合学習成果報告  
(<http://www.sky.sannet.ne.jp/masaya-u/wind/>)
- 4) 電気事業連合会 (<http://www.fepec.or.jp/news/kankyoku2000/review.html>)
- 5) 全国地球温暖化防止活動推進センター (<http://www.jccca.org/>)
- 6) ものづくり大学 風力発電関連のページ  
(<http://www.iot.ac.jp/manu/hori2/rdmwig/mv100.html>)
- 7) NEDO 風況マップ (<http://www2.infoc.nedo.go.jp/nedo/index.html>)