

## 木製風力発電機教材の実践

メタデータ	言語: ja 出版者: 静岡大学教育学部 公開日: 2013-04-16 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 鄭, 基浩, 政谷, 泰俊 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10297/7203">http://hdl.handle.net/10297/7203</a>

# 木製風力発電機教材の実践

技術教育講座 鄭基浩 政谷泰俊

## 1. はじめに

産業革命以降、エネルギー需要の増加による環境問題やエネルギー資源枯渇問題が懸念され、太陽光や風力といった再生可能な自然エネルギーの利用が注目されている。また、CO<sub>2</sub>の排出量を削減する目的から、陸上で最大の炭素貯蔵庫である木材を循環的に利用する取り組みもなされつつある。学校教育においては平成20年の学習指導要領改訂により、技術・家庭科の技術分野(以後、技術科と呼ぶ)において「技術と社会や環境とのかかわりについて理解を深め」と目標に示され、技術科における環境教育の必要性が非常に高まっている。また、内容についても「材料と加工」、「エネルギー変換」、「生物育成」、「情報」の4つの必修内容で構成されることとなり、技術科において様々な分野における知識や技能をより幅広く身につけることが必須となった。現行の学習指導要領の下では「技術とものづくり」において、本立ての製作やマルチラックの製作等が行われ、木材加工に主眼を置いてきた。しかし、上述した背景より、これからは長年実施されてきた従来の木材加工教育に、より科学的・環境的観点を取り入れ、かつ時代に即した木材加工教育が必要であると考えている。また、現代の技術はある分野のみで成り立つものではなく、様々な分野が混在して成り立っている。このような生活と密接に関わる、複雑で多様な技術を学ぶには、図1に示すように、技術科において、複数の内容が有機的に結びつけられる学習が必要であるといえる。

本研究ではこれらの背景から、技術的・科学的及び環境的な学習が可能な複合教材の提案を目的とし、竹を活用した木製風力発電機教材を開発した。また、静岡北中学校における実践によって技術科教材の有用性の検証を行った。

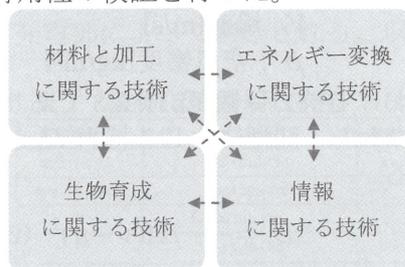


図1 技術科における各内容の結びつき

## 2. 木製風力発電機教材の開発

### 2.1 設計

#### 2.1.1 デザインコンセプト

本教材のデザインには「垂直軸抗力形風車」を採用した。水平軸揚力型風車と垂直軸抗力形風車のデザインを図2に示す。

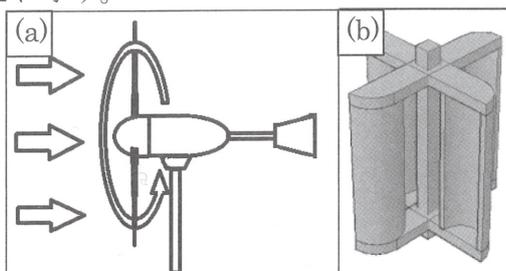


図2 水平軸揚力形風車(a)と垂直軸抗力形風車(b)のデザイン

抗力形風車は弱風でも高いトルクを発生し、加えて低速回転であるため、加工精度による回転への影響が少ないことや安全面において優れている。また、回転メカニズムも単純であるため、中学生にとっても理解が容易であると考えられる。また、本教材には竹資源

の有効利用及び竹の円形に着目し、羽に利用することとした。竹は半分に割るだけで抗力形風車の羽となり、製作も容易である。

### 2.1.2 回転理論

垂直軸抗力形風車におけるトルク発生メカニズムを図3に示す。

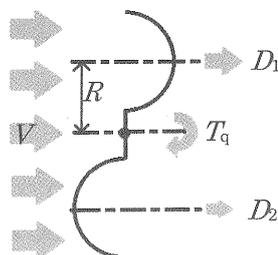


図1 抗力形風車のトルク発生メカニズム

抗力形風車は自由回転できるようにピン固定された中心軸から羽の中央の距離（回転半径） $R$ [mm]の位置に取り付けられた、互いに逆向きの羽が風を受けることによって、凹型の羽において抗力  $D_1$ [N]、凸型の羽において抗力  $D_2$ [N]が発生する。この時、 $D_1$ 、 $D_2$ 間におけるモーメントの差により回転軸にトルク  $T_q$ が発生し、風車は回転する。

一般に抗力  $D$ は以下のように示される。<sup>4)</sup>

$$D = \frac{1}{2} C_D \rho A V^2 \quad (1)$$

$C_D$  : 抗力係数[N]

$A$  : 羽の投影面積[m<sup>2</sup>]

$V$  : 風速[m/s]

$\rho$  : 空気密度[kg/m<sup>3</sup>]

また、凹型(半円筒)の羽における抗力係数  $C_D$  は 2.3 であり、凸型(半円筒)の羽における抗力係数  $C_D$  は 1.2 である。すなわち、凹型に生じる抗力  $D_1$  と凸型に生じる抗力  $D_2$  はそれぞれ式(2)(3)のように表わされる。

$$D_1 = \frac{2.3}{2} \rho A (v-u)^2 \quad (2)$$

$$D_2 = \frac{1.2}{2} \rho A (v+u)^2 \quad (3)$$

$u$  : 羽の回転周速度[m/s]

風車が回転している時、凹型の羽は風から逃げていく方向に回転し、逆に凸型の羽は風に向かっていく方向に回転するため、式(2)(3)において風速はそれぞれ  $v-u$ 、 $v+u$  となる。また、風車の回転トルク  $T_q$  は凹凸の抗力差  $D$  と風車の回転半径  $R$  との積によって求められ、式(4)のように表わされる。

$$T_q = (D_1 - D_2)R \quad (4)$$

$R$  : 回転の中心から羽の中央までの距離[mm]

式(4)に式(2)(3)をそれぞれ代入すると式(5)を導出することができる。

$$T_q = \frac{1}{2} \{ 2.3(v-u)^2 - 1.2(v+u)^2 \} \rho A R \quad (5)$$

### 2.1.3 始動理論

風車部における風車の始動トルク  $T_{q\text{-initial}}$  は風車の羽の回転周速度  $u=0$  と仮定すると、式(6)のように算定できる。

$$T_{q\text{-initial}} = \frac{1.1}{2} \rho A v^2 R \quad (6)$$

垂直軸風車は垂直に設けられた軸受部において摩擦抵抗  $R_f$  が生じる。そのため風車部の起動力  $T_{q-windmill}$  は式(7)のように表わされる。

$$T_{q-windmill} = T_{q-initial} - R_f \quad (7)$$

一方、発電部において、発電機のコギング及び風車部から発電部へ動力を伝達するプーリーによる抵抗要素  $R_g$  が生じる。そのため、風車部の起動力が発電部の抵抗要素より大きくなる風速で回転が始まる。

図4は、本教材における風車部の起動力  $T_{q-windmil}$  と各プーリー比における発電部の抵抗要素  $R_g$  の相関関係を示す。いずれのプーリー比においても、風車部の起動力  $T_{q-windmill}$  が発電部の抵抗要素  $R_g$  を上回る風速が始動風速となる。ただし、プーリーとベルトにおける摩擦等の抵抗要素は無視する。

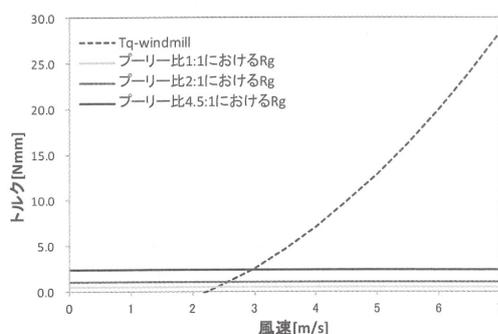


図2 風車部の起動力と発電部の抵抗要素の関係

## 2.2 材料及び製作

製作に使用した材料を表1に、設計図と完成写真を図5に示す。

本教材は風車部、風車枠部、発電部によって構成される。以下、順に詳細を述べる。

表1 製作に使用した材料

	供試材料	寸法(mm)	数量
風車部	板材 (キリ)	35×215×15	4
	角材 (ヒノキ)	20×20×280	1
	竹	φ70×200	2
	釘	φ3.05×65	2
風車枠部	板材 (キリ)	30×500×15	4
	板材 (キリ)	30×300×15	4
	真鍮パイプ	φ6×30	2
	ワッシャー	M3	2
発電部	板材	30×50×15	1
	両ネジシャフト	TAMIYA 製	2
	発電機	XiKIT XGM-RA	1
	プーリーセット	TAMIYA プーリー(L)セット	1

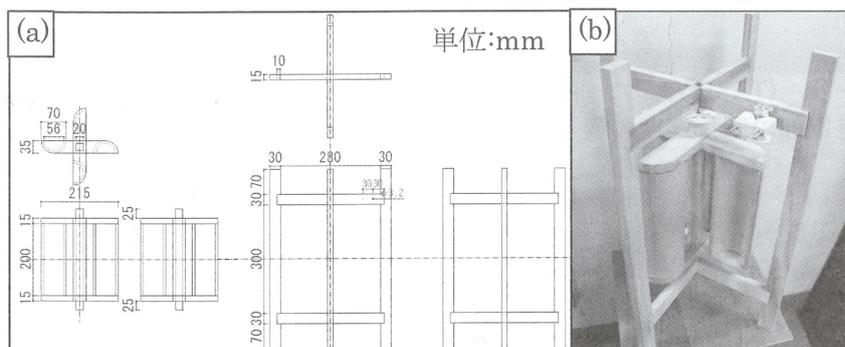


図5 木製風力発電機教材の設計図(a)と完成写真(b)

### 2.2.1 風車部

風車部は風向きの影響を少なくするため羽を4枚とした。また、竹2本を半分に割るだけであるため、加工が簡単で、材料に無駄が生じないことも利点である。竹と板材の接合については中学生が簡単に接合できるように、接着剤で接合している。回転軸には角材を使用し、上下から釘で留めた。摩擦軽減のため、真鍮パイプを風車枠の軸受部に挿入し、回転軸である角材と風車枠の接点部分にはワッシャー(M3)を2枚挿入し、グリースを注した。製作した風車部とワッシャーを利用した軸受を図6に示す。

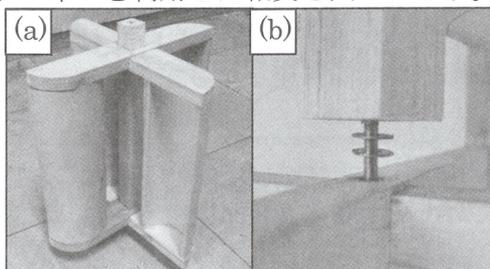


図6 風力発電機の風車部(a)とその軸受部(b)

### 2.2.2 風車枠部

製作した風車枠と風車枠の接合部を図7に示す。図5(b)(c)のような接合部は技術科において使用される基本的な木工具で製作可能である。木材加工教材の接合部は接着剤または、釘などによる接合を用いることが多い。これらを用いた接合方法は比較的簡単に接合が可能で、生徒の作業負担を増加させない利点がある。また、接着剤と接合具を組み合わせることで、精度が低い切断面においてもある程度の接合強度が期待できるのも利点である。

一方、日本古来の木造建築物などの構造体の接合部には伝統的手法による木材同士の接合(継手や仕口)が用いられている。これらの伝統的な技術や生活の中に生きる技術を学ぶことは近年の教育的課題から必要であると考えられる。そのため、伝統的接合方法を知る第一歩として、本教材の接合部には十字相欠き継ぎをはじめとした木材同士による接合を用いた。また、木材同士の接合を用いることによって、様々な木材加工具を用いた加工を経験することで、加工技能の向上につながると考えられる。

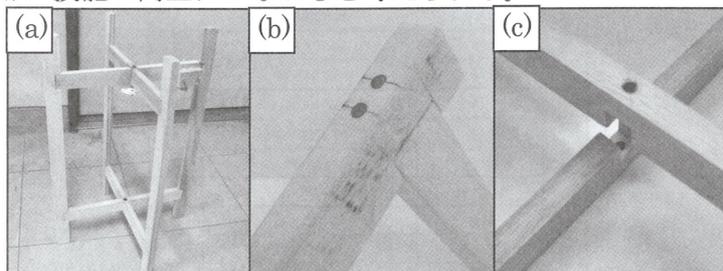


図7 風力発電機の風車枠部(a)と接合部(b)(c)

### 2.2.3 発電部

本教材に用いた発電機は、図8(a)に示すような教材用小型発電機(XiKIT XGM-RA)である。また、風車と発電機間の動力伝達には、図6(b)に示すように、加工精度が動作に影響しにくいプーリー(TAMIYA プーリー(L)セット)を使用した。このプーリー比を変えることによって、発電部の回転速度の変更が可能である。

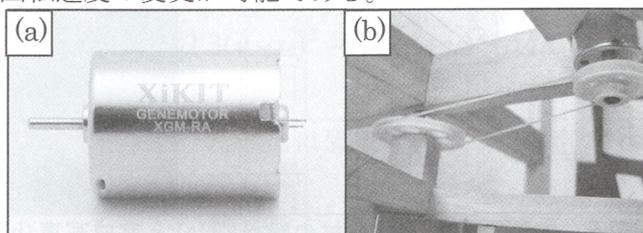


図8 使用した発電機(a)とプーリー(b)

### 3. 中学校における授業実践

本教材の有用性の検証を行うため、静岡北中学校 1 年生 2 クラスにおいて授業実践を行った。概要を以下に示す。

[実践校] 静岡北中学校

[日時] 平成 23 年 5 月～平成 24 年 2 月 毎週木曜日 1 時間 (計 23 時間)

[学年] 1 年生 2 クラス (61 名)

[授業] 技術・家庭科

#### 3.1 授業内容

授業内容計画を表 2 に示す。以下、授業ごとの詳細について順に述べる。

表 2 授業内容の計画

授業内容	時間
1.環境問題と木材の循環的利用価値	1
2.風車枠の製作	
・木材の特徴と道具について学ぼう	2
・木材にけがきをしよう	2
・風車の枠を製作しよう	6
3.風車部の設計及び製作	
・風力発電について知ろう	1
・考えたアイデアを表わそう	1～2
・風車を製作しよう	4
4.動力伝達の学習	1
5.発電部の製作及び組み立て	1
6.エネルギー変換についてのまとめ	1
1 時間は 50 分	計 21

##### 3.1.1 環境問題と木材の循環的利用価値

この段階では全体の導入として、地球温暖化やエネルギー枯渇問題について取り上げる。これらの問題に伴って、現在取り組まれている木材の循環的利用及び新エネルギーを利用した発電方法などについて学習し、環境的観点からの木材及びエネルギー利用についてのイメージをつかむ。授業中の生徒の様子を図 9 に示す。



図 9 授業中の様子

##### 3.1.2 風車枠の製作

この段階は基本的な木材加工について学ぶ段階であり、風車枠を統一された部品図に基づいて全員が製作する。これにより、効率良く、生徒が木材加工について学習できる。風車枠の製作目的は基本的な技能の習得であるため、製作難易度はさほど高くない。授業中の生徒の様子を図 10 に示す。

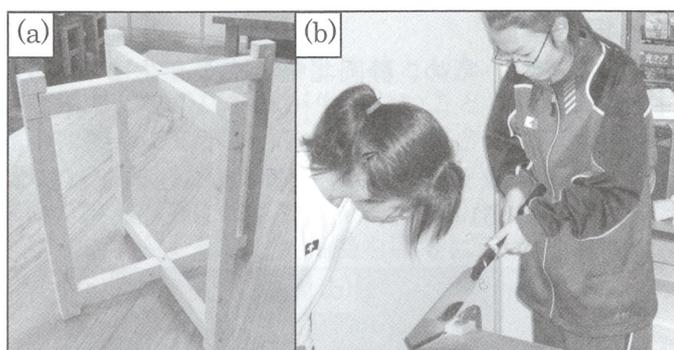


図 10 生徒が製作した風車枠(a)と作業中の様子(b)

### 3.1.3 風車部の設計及び製作

エネルギーの変換方法に関する知識や風力発電機の種類と回転理論を生徒が理解した上で、一人一人が風車の設計をする。この段階においては生徒が設計から製作を自ら行うことによる創造力、加工技能、問題解決力の習得が目的となる。

### 3.1.4 動力伝達の学習・発電部の製作及び組み立て

枠及び風車部が完成した後、扇風機を用いて簡単な動作試験を実施し、製作した風車の動作確認をする。回転しない場合は問題を発見し、修正して、解決する問題解決力を育成する。風車完成後、動力伝達機構についての学習をする。本教材では動力伝達機構にプーリーを採用しているが、この段階ではプーリーのみならず、平歯車、ラック&ピニオンなどの様々な種類の機構とその伝達の原理を学習する。また、速度伝達比やトルク、回転速度の関係などの基本的な事項も学習する。その後、発電部を組み立てることで、風力発電機が完成する。完成した風力発電機を図 11 に示す。

### 3.1.5 エネルギー変換についてのまとめ

風力発電をはじめとした各種発電の変換効率などの特徴を具体的に学習し、自然エネルギーの有効利用について理解を深め、今後、自分たちの生活と発電方法をどのように工夫していくべきかを考え、エネルギー変換のまとめとする。



図 11 生徒が製作した風力発電機

## 3.2 アンケート調査

本教材が木材加工及びエネルギー変換、木材の循環的利用について学習する教材としての有効性を検証するために事前・事後アンケート調査を行った。アンケートの内容を表 3 に示す。

表3 アンケート調査の内容

Q1	木材を使ってもものづくりをすることは環境によいことだと思いますか理由を答えなさい 理由を答えなさい
Q2a	木材を加工する道具には何がありますか
Q2b	その道具を使う目的は何ですか
Q3	自然エネルギーの例を挙げ、その利用について簡単に説明して下さい

Q1については5段階尺度(1.強くそう思う 2.そう思う 3.どちらともいえない 4.思わない 5.全く思わない)で回答させた。加えて、その理由を記述式で回答させた。Q2aについては既知の木材加工具を記述させ、Q2bでは2aで挙げた道具の使用方法・目的について記述するよう指示した。Q3では自然エネルギーの例を挙げさせ、その利用方法について全て記述で回答させた。

Q1に関しては陸上で最大の炭素貯蔵庫である木材を循環的に利用することによって二酸化炭素の排出量を抑制する取り組みがなされる中、木材の使用に関して生徒が持つ意識や考えを調査することを目的とした。

Q2a、Q2bに関しては木材加工具の種類と使用方法及び目的を問うことで木材加工に関する知識の有無を調査した。

Q3では自然エネルギーについての生徒の興味関心や知識の有無を調査することを目的とした。

### 3.3 アンケート調査の結果

アンケートの結果を表4に示す。

表4 アンケート調査の結果

回答内容	事前			事後			前後差
	n=59	n=49	(%)	n=59	n=49	(%)	
<b>Q1</b>							
強くそう思う	1.7	14.3	12.6				
そう思う	15.3	38.8	23.5				
どちらともいえない	44.1	30.6	-13.5				
思わない	27.1	14.3	-12.8				
全く思わない	11.9	2.0	-9.8				
<b>Q1(回答理由)</b>							
A.環境に良い	13.0	51.7	38.6				
B.ものづくりができる	18.8	11.7	-7.2				
C.自然を大切にすべき	31.9	21.7	-10.2				
D.環境に悪い	36.2	15.0	-21.2				
<b>Q2a</b>							
のこぎり	93.2	95.9	2.7				
糸のこ	6.8	36.7	30.0				
げんのう	49.2	44.9	-4.3				
彫刻刀	22.0	0.0	-22.0				
チェーンソー	16.9	10.2	-6.7				
木づち	0.0	8.2	8.2				
のみ	3.4	42.9	39.5				
斧	6.8	0.0	-6.8				
かんな	22.0	12.2	-9.8				
ドリル	11.9	32.7	20.8				
やすり	15.3	55.1	39.8				
きり	3.4	57.1	53.8				
さしがね	0.0	12.2	12.2				
すじけびき	0.0	2.0	2.0				
なた	1.7	0.0	-1.7				
<b>Q3</b>							
風力	54.2	75.5	21.3				
太陽光	50.8	57.1	6.3				
太陽熱	0.0	2.0	2.0				
水力	10.2	36.7	26.6				
波力	0.0	2.0	2.0				
地熱	1.7	18.4	16.7				
火力	15.3	18.4	3.1				
原子力	3.4	6.1	2.7				
手回し	1.7	0.0	-1.7				
振動	1.7	0.0	-1.7				
その他	5.1	4.1	-1.0				
無回答	10.2	0.0	-10.2				

Q1は事前では肯定的意見が全体の17.0%であったのに対し、事後では53.1%に増加した。また、Q1の回答理由を5段階の回答に関わらず、4つに分類した。分類方法は、A「環境に良い」(木材の循環的利用または木材は製造時のエネルギー消費が金属等より少ないといった回答等)、B「木材はものづくりができる」、C「自然を大切にすべき」、D「環境に悪い」

(温暖化進行または理由を示さずに環境に悪いといった回答等)の4つである。結果より、肯定的意見を示す生徒が事前から事後にかけて38.6%増加し、その他の意見は減少した。これらのことから生徒が木材の循環的利用について理解し、木材使用に関する意識及び考えが変容したといえる。

Q2については事前ではのこぎりとげんのうに回答が集中していたが、事後ではのみ、やすり、きりなど、実際に使用した道具についての回答へと分散していることがわかる。また、一人当たりの回答数に関しても事前2.53個から事後4.10個に増加し、Q2bの使用目的及び方法に関しても正しく回答できていることから、本教材を用いた授業によって木材加工に関する知識が身に付いていることがわかった。

Q3に関してもQ2aと同様に事前で風力と太陽光に集中していた回答が、事後では風力、太陽光の回答数が増加するとともに、地熱や水力へと回答が分散している。また、無回答が0人となったことから、本教材を用いた授業によって生徒が自然エネルギーに関心を示し、知識を身につけることができたといえる。

### 3.4 検証結果の考察

Q1では事前、事後ともにどちらともいえないという回答が多く、その理由を分類すると、「自然や生物は大切にしなければならない」という意見が多く見られた。これは、マスメディアによって、「森林破壊」や「森林の減少」といったことが大々的に取り上げられるようになった時、それらが発展途上国における問題であること、また、人口増加に伴う無計画な伐採や開拓による弊害であることを正しく認識できていない生徒が多数存在すると推察できる。

Q2a・2bについては事前から事後にかけて、回答が実際に使用した道具へと分散し、一人当たりの回答数も段階的に増加した。Q2bの使用目的についても正しく回答できていることから、ものづくりのような実体験を伴う学習が知識を獲得する上で有効であると考えられる。

Q3では自然エネルギーについて正しく回答できている生徒がいる一方で、火力及び原子力エネルギーを自然エネルギーとして回答した生徒が増加した。これは、当該生徒の中で自然エネルギーの定義を誤って認識していたと考えられる。特に「火」は人工物ではないように思われ、「人工物でない、つまり自然だ」という構図が成り立っていたのではないかと推察できる。

## 4. まとめ

近年の環境問題の視点から木材の循環的利用及び自然エネルギーの有効利用に着目し、木材加工、エネルギー変換及び木材の循環的利用価値に関する複合的学習が可能な教材を開発・提案し、中学校における授業実践によって技術科教材としての有効性を検証した。その結果、以下の結論を得た。

1. 本教材の開発及び授業実践によって、本教材が基本的な木材加工工具で製作することが可能であることが明らかとなった。
2. 本教材を用いた授業実践に伴う2回のアンケート調査によって、授業前後での生徒の知識や考え方に変化があり、本教材が木材加工及びエネルギー変換、環境的観点からの木材の循環的利用について学習する教材として有効であることが明らかとなった。