

風車のはたらきを指導する教材・教具の開発

吉田 誠*

松山 宗弘**

Makoto Yoshida*

Munehiro Matsuyama**

奈良教育大学大学院教育学研究科教職開発講座* 松原市立松原第三中学校**

School of Professional Development in Education, Nara University of Education*

Matsubara Municipal Matsubara Daisan Junior High School**

1. はじめに

中学校技術・家庭科の学習指導要領¹⁾では、「エネルギー変換に関する技術」領域の指導において、主として「エネルギー変換の方法や力の伝達のしくみ」を指導することとしている。ところがこの領域は、学習内容が豊富な割に指導時間数の確保が難しい。そのため、グループによる探究型学習が比較的容易にでき、環境に関する学習内容も指導できる風力発電が題材として取りあげられることが多い。

風力発電を題材にした授業は、第48回全国中学校技術・家庭科研究会大会での北川²⁾の研究授業のように、生徒に風車に取り付ける羽根の形状や枚数を自由に考案させ、製作した風車を発電機に取り付けて風車を回し、その発電量を測定させる実験中心の指導をすることが多い。しかし、このような指導では、①発電のしくみや風車の回転数と発電量の関連性などの指導が必要となる。②実際の風力発電では主に高回転、低トルクの揚力型風車³⁾が利用されているが、生徒が製作する風車の形状は、低回転、高トルクの抗力型風車であり、生徒に誤った知識を伝える恐れがある。③風力発電用の揚力型風車は、形状が複雑なため生徒は製作できない。等の問題がある。そのため、風力を電力に変換する指導よりも、風力を動力に変換する指導にする方が問題点は少ないと思われ、生徒への教育効果も大きいと考える。

そこで本研究では、エネルギー変換や動力伝達のしくみが容易に理解でき、エネルギー変換に関する技術史学習の要素を含む抗力型風車の教材と、風力発電の学習内容に発展させることが可能な抗力型風車（動力用風車）と揚力型風車（発電用風車）の機能が理解できる教材・教具の開発を行うこととする。

2. 提示用抗力型風車

2.1. 揚水用風車

抗力型風車は、現代でも製粉や揚水の動力用として使用されているが、風車を利用して製粉するしく

みは水車と同じである。製粉用の水車の教材開発は、木村ら³⁾の報告があるため、本研究では揚水のしくみが理解できる提示用の抗力型風車を開発する。

生徒がよく知っている揚水用風車は、教科書⁴⁾にも掲載されているオランダ型風車であるが、全体形状や動力伝達機構、ポンプ形状が複雑なため、模型化することは困難と判断した。そこで、国内で揚水用風車が使用されていたことはあまり知られていないが、大阪府堺市の石津地区で昭和30年代前半まで畑の灌漑用として350基程度使用されていた風車（以後、石津風車）を提示用教材として模型化する。

石津風車は、高さ約3mの支持塔上部に固定されたリングプレート上に、直径約2.4mの6枚の風車羽根、自動的に風向を調整する2枚のV字型の翼が取り付けられた機台が置かれ、機台全体が風向に対して回転できる構造になっている。風車の回転は、回転軸のクランクにより上下運動に変換され、支持塔基部に設置された手押しポンプを作動させて揚水するしくみになっている。

動力伝達部以外は全て木製で、全体の構造や動力伝達部に用いられている機構が比較的簡単なため、模型化しやすく、生徒の理解も得やすいと判断する。

2.2. 石津風車の模型

石津風車の模型を製作する際の条件を、①すべて市販の材料で製作



写真1 石津風車のレプリカ

する。②中学校の技術教室にある設備や工具のみで製作する。③技術教室の工作机上で提示できる大きにする。④微風でも風車が回転し揚水する。とした。しかし、実物の石津風車の詳細図を見つ

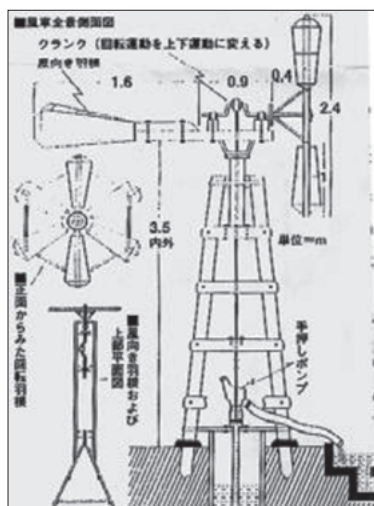


図1 石津風車の略図

ることができなかつたため、堺市の大泉緑地公園内にある石津風車のレプリカや、花畑⁵⁾の略図を参考に製作図を作成する(写真1、図1)。

製作する石津風車の模型は実物の約1/10とし、支持塔の高さは約250mm、風車の直径は約220mmと270mmの2種類とする(図2)。

大泉緑地公園に設置されている石津風車のレプリカの観察から、木部の材質は杉と推察されるが、模型では強度を考慮してすべてヒノキ材を使用する。また、金属部は主にアルミニウムと黄銅を使用する。

風車羽根は、2mm厚材と5mm角材で製作する。風車羽根のハブへの取り付け角は12°にする。

機台は、2mm厚アルミニウム板で全体を構成し、接合部は全てネジ止めとする。自動風向調整用の翼は3mm厚とし、V字の広がり30°にする。

機台に取り付ける風車の軸受けは、T社製の模型用の外径8mmのボールベアリングを2個使用する。また、機台の回転軸には、一般機械用の外径12mmのボールベアリングを1個使用する。

石津風車の風車軸のクランクは、一本の棒材を加工してクランク部を構成しているが、ジグを利用してもφ3mmの黄銅棒をクランクの形に曲げられな



写真2 組み立てた石津風車の模型

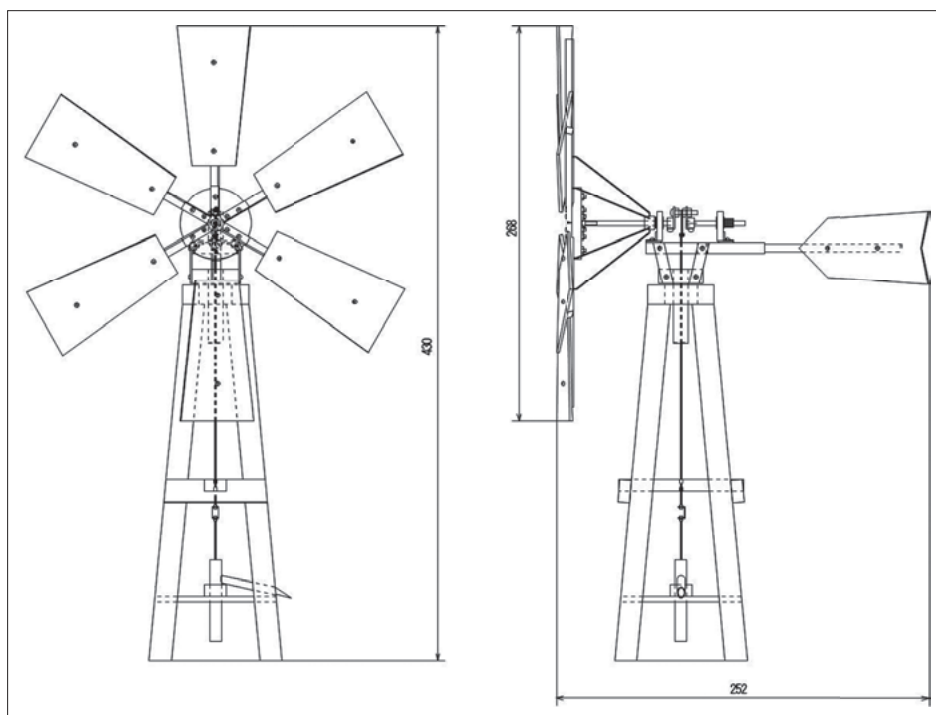


図2 石津風車模型の製作図

かったため、T社製の模型用のクランクを使用する。そのため、連接棒の往復運動距離は約22mmとなる。

揚水用ポンプは、内径7mmと4mmのアルミニウムパイプをエポキシ系接着剤で接合し、ポンプの本体と誘水路を成型する。弁やパッキン部は、1mm厚のゴム板と1.2mm厚のプラスチック板を使用する。

2.3. 石津風車の模型の揚水能力

模型の組み立て後、送風機として扇風機を用い、この模型の揚水能力を測定した。表1に測定結果を示す。

測定で用いた扇風機は、自然風に近い風が送風できる二重構造羽根を装着し機種を利用することも考えたが、高価であり、公立中学校の予算では購入できないと思われたため、一般家庭用の扇風機を利用することとした。しかし、一般家庭用の扇風機が送風する風は、羽根の形状の影響でねじれ状態になっており、測定中の風車の回転にムラが認められた。そのため、模型の前に自作した簡易整風器を置き測定することとした。また、風車の能力を測定する場合、送風機から風車までを覆う筒型の導風装置を用いるのが一般的であるが、この模型は技術教室の作業机の上で生徒に提示することを想定しているため、導風装置を設置しないで揚水能力を測定することとした(写真3)。

また、表1の風速は、LT社のKY-80APデジタル風速計を使用して測定している。風車の直前に風速計付属の測定用ファンを置いて測定し、10回の平均値を風速としている。

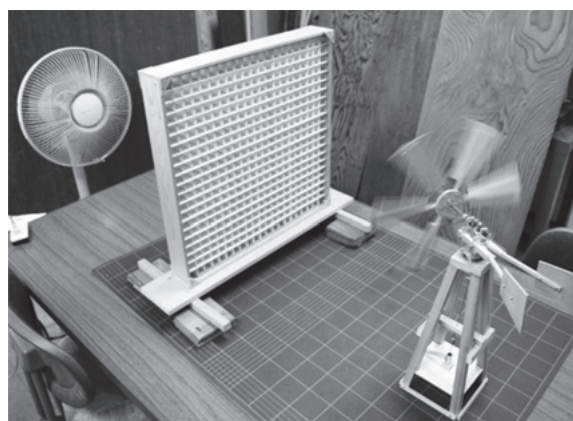


写真3 測定時の扇風機、整風器、模型の配置

実際の石津風車は、井戸から地下水をくみ上げる構造になっているが、製作した模型では、手押しポンプの下に小さい水槽を置き、その中から揚水させるようにした。水面からポンプの出水口の根元までの距離が25mmになるよう、測定中はスポイトで水槽に水を入れることとした。また手押しポンプの構

造上、風車の回転と同時に「呼び水」をパイプの中に注水した。

製作した模型は、風速が1.3m/s以上で揚水を始めることができたが、この風速はビューフォートの風力階級表によると風力2の軽風にあたり、一般的に抗力型風車が回転を始めるとされる風力3より弱い風で作動する結果となった。また、風速が1.7m/s以上になると、風車の回転が速くなり過ぎ、模型全体の振動が激しくなる。

以上のことから、本研究で製作した石津風車の模型は、風速が1.5m/s以下で使用すると安全で、揚水が可能なこと。風車による回転運動がクランクと連接棒を介して手押しポンプを作動させる機構や、風力エネルギーがポンプを作動させて揚水する動力エネルギーに変換されている様子が観察できること。等から、技術科の教材として授業で使用できると判断する。

表1 揚水能力の測定結果

風速	揚水能力
1.3m/s	0.95ml/m
1.7m/s	7.13ml/m

風車直径 = 220mm、気温 : 26.1℃

3. 比較試験用教具

3.1. 教具の概要

生徒に動力用の抗力型風車と発電用の揚力型風車の構造や特徴の違いを生徒に体感させたり、観測させるために写真4に示す教具を製作する。

製作した教具は、18mm角のヒノキ材とT社のユニバーサルプレートとで構成された台上に、黄銅製の軸を取り付けた構造にしている。黄銅製の軸の両端にネジを切り、風車とプーリーをナット締めで取り付ける。プーリーは自作とし、50mmの内円部に長さ400mmの風糸を取り付ける。

生徒には、風車を回転させた時の回転軸のトルクの大きさを、この風糸の端を持つことによって体感させる。また、より風車の特徴を理解させるためにトルクの数値化を考え、トルク計の使用を検討したが、高価格であるため一般の中学校では使用できないと判断した。そのため、プーリーの内円部の風糸の取付部から210mmの地点に、オモリ入れを取り付け、風車軸が回転することによって持ち上げるオモリの重さから、トルクを計測させることとした。オモリ入れは、重さは4.9mN(0.5gf)の市販のプラスチック製カップを利用する。オモリは、厚さ1mmのアルミニウム板を1枚が4.9mN(0.5gf)になるよう四角形に切断したものを利用する。

3.2. 教具に取り付ける風車

教具に取り付ける風車は、木製の揚力型、木製の抗力型、羽根がプラスチック製の抗力型の3種類を準備する。木製の風車は、両方とも教師が実験を行い観察させる提示用とする。羽根がプラスチック製の風車は、生徒がグループ学習で使う実験用とする（写真4）。

木製の揚力型風車は、松本⁶⁾の2枚羽根風車を参考とし、ヒノキ材で自作する。風車の直径は300mmとする。

木製の抗力型風車も自作とし、羽根は0.5mm厚シナ合板をヒノキの5mm角材に取り付ける形とする。羽根の形は、羽根の根元が広いタイプと先が広いタイプの2種類を製作し、それぞれの羽根の取付角は手で変えられる構造とする。風車の直径は、松本の風車と同じ300mmとする。

生徒の実験用抗力型風車の羽根の材質は、0.3mm



写真4 比較試験用教具

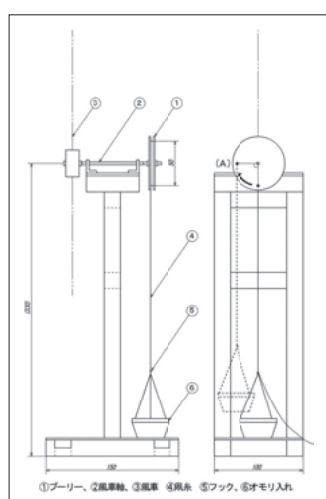


図3 比較試験用教具の製作図

のプラスチック板とし、形状は長方形とする。また、羽根は取り替え可能の構造にする。風車の直径は、300mmとする。

3.3. 各風車の特性

表2に教具に取り付けた風車が回転を開始する風速を示す。また、表3に羽根の取付角による各風車の回転数とトルク値を示す。表3の回転数を測定する時の風速は、揚力型風車が回転を始めた1.8m/sとビューフォート風力階級の「軽風（風力2）」の中間値である2.5m/sとする。なお、測定は、この教具を技術教室で使用することを前提としているため、石津風車模型の測定方法と同じとする。

羽根の取付角は、生徒が三角定規を当てて調整することを想定し、30° 45° 60°とする。

表3の回転数は、LT社のDT-2230 デジタル回転計を使用して測定している。測定は、風車の羽根にレーザー光を照射する方法で行い、10回の平均値を回転数としている。

また、表3のトルク値は、風車に風を当ててオモリを吊り上げさせ、プーリーが最初の位置から90°回転して、図3の（A）の位置で留まる状態になった時のオモリの総重量からの計算値である。

表2 回転開始時の風速（羽根取付角45°）

	風速 (m/s)
揚力型（提示用）	1.80
抗力型（提示用）	0.90
抗力型（実験用）	0.88

表3 風速と回転数及びトルクの関係

	羽根の取付角	回転数 (s ⁻¹)		トルク (mN・m)	
		1.8m/s	2.5m/s	1.8m/s	2.5m/s
揚力型		331	1015		0.49
抗力型 (提示用・先細型)	30°	273	334	0.735	0.98
	45°	174	201	0.98	1.225
	60°	79	102	0.98	1.47
生徒用 (実験用)	30°	249	433	0.98	1.715
	45°	154	207	1.225	2.205
	60°	44	116	1.225	1.96

4. 研究授業

試作した教材・教具の有効性を探るため、2014年1月に大阪府下のA中学校において2年生を対象に、「エネルギー変換に関する技術」の導入部分で研究授業を行った。クラス数は7で、生徒総数は271名であり、技術領域に関する各クラスの学力差はほとんど認められない。表4に研究授業の授業計画を示す。

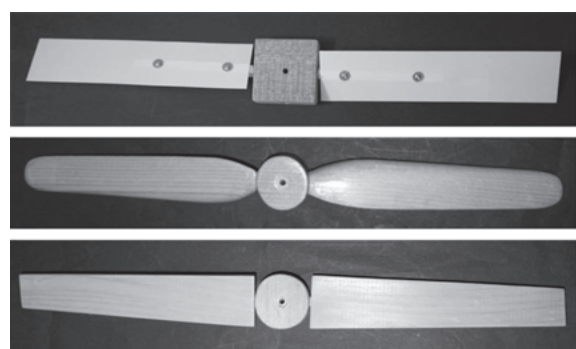


写真5 上から木製の揚力型風車、木製の抗力型風車、生徒の実験用抗力型風車の羽根

表4 研究授業の授業計画

時間	指導内容
1	私たちの生活とエネルギー変換（座学） 風車の種類（座学・観察）
2	揚力型と抗力型風車の特徴（座学・実験）
3	風車羽根の製作と実験（作業・実験）
4	風車の力くらべ（実験・観察）

4.1. 事前調査

生徒の風車に対する概念を調査するために事前にアンケート調査を行った。質問項目は次の3項目とし、有効回答数は254名であった。

- (1) 実物の風車を見たことがありますか。
- (2)-1 実物の風車を見たことがある人は、風車を見た都道府県名を書いてください。
- (2)-2 実物の風車を見たことがない人は、どんな場所に風車が設置されていると思いますか。
- (3) 実物や写真などで見た風車を簡単な図で描いてください。
- (4) 風車が作られた目的は何だと思いますか。

(1) の結果

「ある」が54名（21.3%）、「ない」が198名（78.0%）であった。このことから、実物の風車を見た経験のある生徒は少ないと言える。

(2)-1 の結果

実物の風車を見た都道府県名を書いた生徒は36名（66.7%）で、近畿圏の府県名を書いた生徒は26名で、(3)のイメージ図と照らし合わせると、和歌山県、兵庫県、滋賀県、京都府で目撃された風車は、すべて風力発電用と推察できる。大阪府で風車を目撃した生徒は5名いたが、イメージ図から大阪市鶴見区の鶴見緑地公園のオランダ風車と推察できる。

(2)-2 の結果

風車の設置場所は、広い所、高い所、風が吹く所、海に近い所、自然が多い所という順にまとめることができた。また、質問の意味を取り違えて国名を記入した生徒が28名いたが、オランダが18名と最も多かった。しかし、(4)の結果と照らし合わせるとオランダの風車が発電用に使われていると思っている生徒が11名（61.1%）いた。

(3) の結果

図を描いたほぼ全員の生徒が、大型風車と思われる図を描いており、最近普及してきている小型風力発電機のような多翼風車の図はなかった。

(4) の結果

複数回答であったが、発電が189名（74.4%）、製粉や揚水が15名（6.0%）であった。ほとんどの生徒が風車は発電に用いられていると思っていることが分かる。

事前アンケート調査結果を踏まえ、揚力型風車と抗力型風車の機能の違いや種類などを示した学習用ワークシートを作成した。また、ワークシートには、回転する風車の回転力を教具を使って体験させるだけでなく、回転力を数値化して比較させるために、トルクの簡単な説明と算出方法を記載した。

4.2. 研究授業の内容

石津風車の模型は、1単位時間目に風車の技術史的な説明と動力を利用するしくみの説明の時に使用し、2単位時間目以降は教卓に置いて、生徒に自由に触らせるようにした。石津風車の模型は、風力が水をくみ上げる動力に変換される機構が、風車を回すことで容易に観察できるため、多くの生徒が関心を示す様子が見受けられた。

2単位時間目は、揚力型風車と抗力型風車の回る原理や特徴を比較試験用教具による観察や実験を通して生徒に体感的に理解させるようにした。

トルクは、3.1.で述べたように、プーリーに取り付けた風糸を生徒に持たせ、風車を回した時に手に感じる風糸の引っ張り具合から体感させた。

2単位時間目に使用した生徒用ワークシートの一部を図4に示す。

風のエネルギーを利用しよう2

3. 風車が回る原理

3.1 抗力型（効力：押す力）
 風が風車の羽根を押しながら通過して風車を回す
☐ 羽根の先端は風速以下でしか回転しない
☐ 回転軸をねじる力[トルク]が（ ）
☐ 風車が回転する音は（ ）
 用途
 ・オランダ形風車（ ）
 ・多翼形風車（ ）

3.2 揚力型（効力：持ち上げる力）
 風が風車の羽根の両面を流れるときに発生する圧力差によって風車を回す
☐ 羽根の先端は風速よりも早く回転できる
☐ 回転軸をねじる力[トルク]が（ ）
☐ 風車が回転する音は（ ）
 用途
 ・プロペラ形風車（ ）

【水平軸風車の特徴】

名 称	力変換	回転数	パワー係数	トルク	主な用途
プロペラ形風車	揚力	高速	4.0 (%)	小	発電
オランダ形風車	抗力	低速	1.5 (%)	大	製粉・揚水
多翼形風車	抗力	低速	2.5 (%)	大	揚水
セルウィング型風車	抗力	中速	2.0 (%)	大	製粉・揚水

※パワー係数：風のエネルギーを風車によって機械的動力に変換する効率

図4 生徒用ワークシートNo.2（一部）

3～4単位時間目は、グループ学習の形式で、抗力型風車の特徴を理解させることとした。

3単位時間目は、教具に取り付ける羽根を製作させ、前時に行った実験を各グループで行わせた。

トルクの計測は、オモリ入れにオモリを入れ、風糸の端を持ったことを確認してから風を風車に当て

参考文献・引用文献

- 1) 阿部信太郎他(2008) 中学校学習指導要領解説 技術・家庭編. 教育図書, 23-27
- 2) 奈良県中学校技術・家庭科研究会(2009) 第48回全国中学校技術・家庭科研究大会集録, 29-30
- 3) 木村慶太, 吉田誠(2013) 「水車から広がる学び」に関する学習プログラムの開発. 日本産業技術教育学会誌, 第55巻, 第1号: 53-60
- 4) 間田泰弘他(2011) 文部科学省検定済教科書 "技術・家庭科技術分野". 開隆堂, 94
- 5) 花畑保志, 岡田昌彰(2006) 堺市灌漑用風車の系譜と現況に関する研究. 土木史研究論文集 2006: 149-155
- 6) 松本文雄(2004) だれでもできる小さな風車の作り方. 合同出版, 30-42