

製作題材用風力発電装置の開発と授業実践

山本 利一*・星野 孝仁**・石田 康幸*・西村 琢磨***

キーワード：風力発電、教材、技術教育、エネルギー教育

1 緒言

私たちの活動は常にエネルギーを使い、地球環境に負荷をかけており、最近のエネルギー大量消費が、地球環境をより深刻なものにしている。エネルギーと環境は切っても切れない関係にあり、エネルギー問題は、環境問題の大きな要素であると言える。

今までの我が国のエネルギー政策は、石炭、石油といった化石燃料などの再生産不可能なエネルギーに依存し過ぎていた。そのため、石油資源の枯渇、産油国の政情不安、世界的な石油需給バランスの逼迫などの問題が浮上してきた。これらの問題を解決するための次世代の有力なエネルギーと目されてきた原子力発電も、1995年の高速増殖炉「もんじゅ」のナトリウム漏れ事故、1999年9月に茨城県・東海村の核燃料加工施設で起こった日本初の臨界事故を経て、当初の計画通りには進んでいない¹⁾。

そこで、枯渇することなく、環境に害のない安全なエネルギーとして新エネルギーに対する期待が大きくなり始めた。新エネルギーとは、1997年に施行された「新エネルギー利用などに関する特別措置法」において、「新エネルギー利用など」として規定されているものである。新エネルギーには、自然の太陽や風などを起源

に持つ資源に制約がない「再生可能なエネルギー」と廃棄物や廃熱を利用する「リサイクル型エネルギー」のほかに、従来のエネルギー利用の高効率化や環境との調和を図る「従来型エネルギーの新利用形態」などがある²⁾。

これらのことを受け本研究では、「再生可能なエネルギー」の1つである風力発電を取り上げ、生徒が製作や実験を通して風力発電の仕組みや現状、問題点などを学習する製作題材を開発することを研究の目的と定めた。

2 風力発電の現状

我が国の新エネルギーの中でも風力発電は、近年飛躍的に伸び、出力10kW以上の風力発電の累計導入量は2008年3月時点で1517基、総設備容量は約1854千kWである³⁾。経済産業省の総合資源エネルギー調査会「新エネルギー部会報告書」(2001年6月)では、国の導入目標を2010年度までに約300万kWと定めており、各地で風力発電所の建設が進められている⁴⁾。

また、このような情勢を受け国土地理院では、2006年6月より2万5千分の1地形図に約1100箇所の風力発電所を図記号(中学生がデザイン)で記載するなど、社会的にも注目を集めている。

世界の風力発電の現状は、欧米では相当容量の商業運転が行われ、2009年2月現在、世界の風力発電総設備容量は約120.8GWに達しており、

* 埼玉大学教育学部技術教育講座

** 埼玉大学大学院教育学研究科

*** 協同組合ブロード

前年に比べ28.8%の増加した。国別に見ると、ドイツ（約2390万kW）、アメリカ（約2510万kW）、インド（約1846万kW）、スペイン（約1583万kW）などで導入が進んでいる⁵⁾。これらのデータから、日本での風力発電の割合は、全世界の約1.5%に止まっており、適切な普及活動が求められている⁶⁾。

3 開発した製作題材

3.1 開発の意図

これまでに、風力発電を題材とした先行研究を調べると、小学校では、総合的な学習の時間および理科の時間に、小型風力発電装置の観察や、簡易風力発電装置の製作を通して、環境やエネルギーについての興味・関心を高めるために活用している⁷⁾。

中学校では、選択理科において、これまで学習（理科1分野）した「電流のはたらき」の応用的な課題として、簡易風力発電装置の製作を通して、風のエネルギーを電気エネルギーに変換させる仕組みを学習し、電磁誘導や発電の確認を行っている⁸⁾。

また、中学校技術・家庭科技術分野（以後、技術科と記す）では、選択理科と同様に、簡易風力発電装置の製作を通して、エネルギー変換技術や省エネルギーの方法など、実生活に役立つ知識の習得を目的とした授業実践が行われている^{9)、10)}。

これら児童・生徒が製作する風力発電装置は、主として紙コップ、ペットボトル、木材などを羽根の材料として、風の力でモータや発電機を回転させ、電気が起きるまでの学習がなされている。製作の工夫においては、発電効率を向上させるために、羽根の形状に工夫を凝らすことに焦点があてられる場合が多く、風車の形式や増速率まで設定ができる製作題材に関する研究は十分とは言えない。

そこで、比較的構造が簡単で短時間で製作でき、風量に応じて羽根の形状、増速率を設定で

きる製作題材（風力発電装置）の開発を試みた。

ここで、開発する製作題材の風車の形式（種類）に垂直軸型を選択した。その選択理由は、プロペラ型風車など水平軸型風車は、風の方向に対して垂直にプロペラを移動（ナセルの回転）する必要がある、発電の仕組みを観察を通して学習することを考察すると、それらの部分が動かない垂直軸型風車の方が適しており、設計が自由になるためである（水平軸型風車の場合は、ナセルが回転するので、発電機の大きさや重さなどに制限が生じる）。製作題材の主な開発の視点を下記に示す。

1. 風力発電の仕組みや動力伝達の様子を視覚的に学習できる。
2. 発電の状態を実験（測定）を通して学習できる。
3. 生徒は、特殊な工具を使うことなく短時間で製作することができる。
4. 製作の過程で各部の調整の必要性を体験的に学習できる。
5. 発電効率を上げるため、回転数を増速する仕組み（複数の増速率の設定が可能）が学習できる。
6. 羽根が軽く回るための工夫が学習できる。
7. 風の力を効率よく利用する羽根の形状が学習できる。
8. 特殊な部品を活用せず、できるだけ学校でも入手できる材料を利用する。
9. 製作題材の材料費が安価で学校現場でも導入しやすいもの。

3.2 開発した製作題材の特徴

製作題材は、風の力を羽根部が受け、それらの動力が主軸を通してモータ（以後、発電機と記す）に伝わり電力を得るものである。これらの一連の流れを視覚的に確認できるようになっている。製作題材の構造を図1に、製作題材の外観を図2に、本体発電機を図3に示す。

①羽根部

本製作題材の羽根部は、溝が切り込まれた2

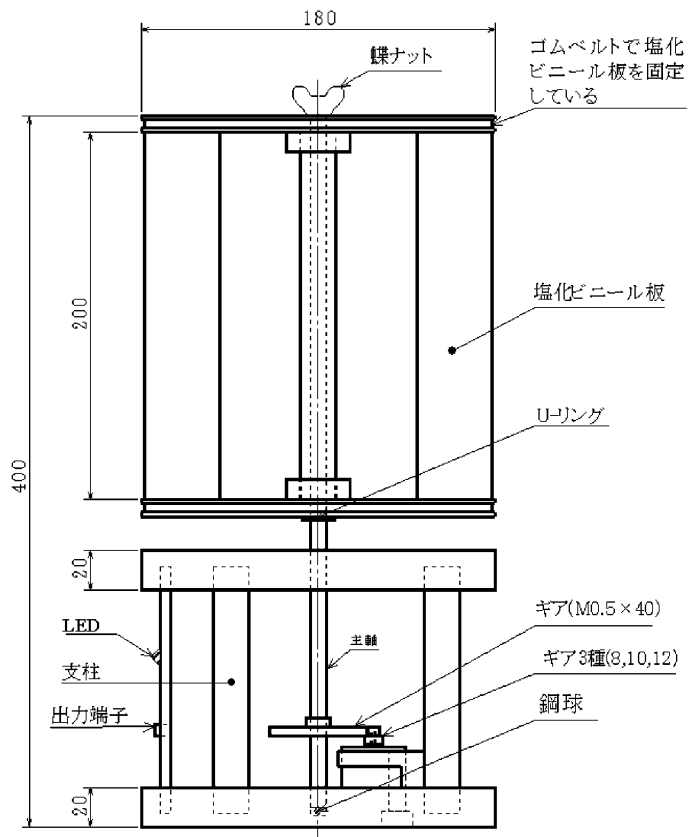


図1 製作題材の構造



図2 製作題材の外観



図3 本体発電機部

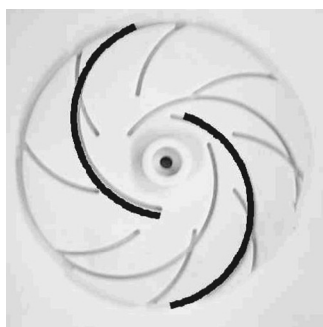


図4 サボニウス2枚羽根

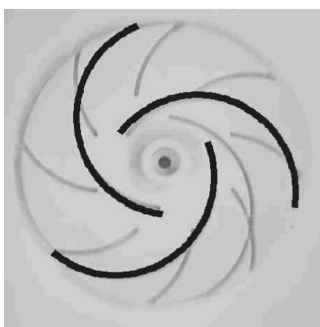


図5 サボニウス3枚羽根

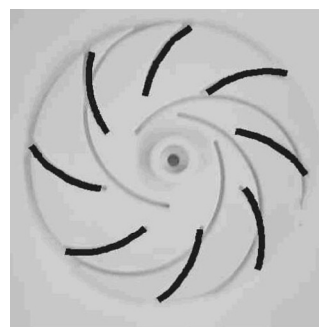


図6 クロスフロー8枚羽根

枚の樹脂板（以後、羽根部天板と羽根部底板と記す）に、透明の塩化ビニール板を固定することにより、サボニウス型2枚羽根（図4）、3枚羽根（図5）、クロスフロー型4枚羽根、8

枚羽根（図6）に組み替えることができる（太線溝部に塩化ビニール板を固定する）。塩化ビニール板の寸法は、幅55mm×長さ195mm×厚さ2mmで丸み（直径160mmの円弧）が持たせ

である。

サボニウス型の風車形式にする場合は、3枚の塩化ビニール板を溝に差し込むことにより、サボニウス型風車の1枚の羽根を作り上げている。

クロスフロー型については、塩化ビニール板の1枚で羽根を構成している。

回転中に塩化ビニール板が遠心力で外れないように、羽根部天板に取り付けられた蝶ナットで羽根部底板との間に固定し、さらに、羽根部天板と羽根部底板にゴムベルトを取り付け安全対策を行っている。

②本体部

本体部は、羽根部同様に2枚の樹脂板（以後、本体部天板と本体部底板と記す）が、直径15mmのビニールパイプで平行に固定されており、その間に増速のためのギヤーと発電機、出力部が取り付けられている。本体部天板には、主軸直径と同じ大きさの通し穴があげられており、本体部底板には、主軸を受ける止まり穴があいている。主軸の回転をスムーズにするために、本体部底板の主軸を受ける穴には、鋼球が入れられており、羽根部の重量を主軸を通して点接触で支え、摩擦を減らしている。

主軸の動力はギヤー（M0.5）を組み合わせ、3種類（主軸側歯数：発電機側歯数＝増速率、 $40:8=5$ 倍速、 $40:10=4$ 倍速、 $40:12=3.3$ 倍速）の増速を行うことが可能である。風量や負荷に応じて、効率よく発電する増速率を求めることも学習のねらいとしている。増速率を変えるために2枚のギヤーを活用しているため、歯数に応じて主軸と発電機の距離を調整する必要がある。そこで、本製作題材では、主軸と発電機の軸が水平を保ちながら移動と固定ができるように樹脂製の発電機固定ソケット（図3）を製作し、本体部底板に蝶ナットとボルトで固定している。そのため、容易に主軸と発電機と距離を調整することが可能になっている。

また、出力された電圧を測定する端子が設けてあり、発電の状態を確認するためにLED

（点灯実験）も取り付けてある。

③製作題材を使った実験

製作題材の活用方法として、3条件での実験が可能である。実験条件として、①風量を3段階、②羽根の形状としてサボニウス型（2・3枚羽根）とクロスフロー型（4・8枚羽根）、③増速率として、3.3倍速、4倍速、5倍速と、3条件で発生電圧の測定ができる。また、負荷のLEDの明るさから発電を感覚的に捉えることも可能である。

本製作題材の測定実験より、サボニウス型では、風量が少ない時は増速率が小さい方が発電効率がよい。しかし、風量が多くなるにつれて、増速率が大きい方が発電効率がよくなる（形状の特徴）。それに比べて、クロスフロー型では、風量に関わらず、増速率が大きい方が常に発電効率がよい結果となった。本製作題材の出力電圧は、最大で約3.9V程度の出力を得ることができる。

4 実験授業

4.1 実践日時および対象

2007年6月に第3学年選択教科技術科の授業で14名、また、2008年6月に第3学年選択教科技術科の授業で16名に対して、共に5時間を配当して実験授業を実施した。生徒の活動の様子を図7に示す。



図7 生徒の活動の様子

4. 2 学習目標および授業展開

学習目標を、「風力発電装置を製作し、それらの仕組みを理解しよう」と設定し、5単位時間(50分×5)配当した。風力発電装置の製作は、1人が1台を製作できるよう材料を準備した。実験授業に先だって表1に示す事前調査を実施し、下記に示す内容で授業を展開した。また、授業終了後に表2に示す事後調査を実施した。各調査の内容について後述する。

①エネルギーに関する事前調査

・風力発電およびエネルギーに関する事前アンケート調査。

②各種発電所の種類とその特徴

・火力、原子力、水力、太陽光などの様々な発電所の発電の仕組みと特徴(燃料などを燃やし

て水蒸気を作りそれらの力で発電する方式や自然エネルギーを利用した発電方式など、発電の方式の違いを確認する)。

③日本国内の発電状況

・これまでの日本国内における発電量の推移と電源別発電電力量の割合(1次エネルギー供給実績を含む)の確認。

④主要国のエネルギー輸入依存度

⑤手回し発電機を使った効率の実験

・発電機を回転させることにより発電することを確認する。

・ダイナモ発電機を早く回転させた場合と、ゆっくり回転させた場合の出力の違いを確認する(早く回転させた方が効率がよいことを確認する)。

⑥風力発電の仕組み

表1 事前調査項目

問1 次の各項目について、あなたはどの程度、興味や関心がありますか。興味や関心の程度を4段階で回答して下さい。(各項目ごとにA～Dより1つ選んで○をつけて下さい)。

A…とても興味がある、B…まあまあ興味がある、C…あまり興味はない、D…まったく興味はない

1. 様々な技術の保守や整備と事故の発生について。
2. 化石エネルギーの利用による大気中の二酸化炭素濃度の上昇と地球の温暖化について。
3. 日常生活における電気の有効利用や省エネルギー(例えば、節電など)について。
4. 様々なエネルギーを有効に活用し、生活を便利にする電気や機械の技術について。
5. 太陽電池や燃料電池、風力発電などの新しいクリーンエネルギーについて。

問2 次に示す項目や内容について、あなたはどの程度の知識がありますか。知識の程度を4段階で回答して下さい。(各項目ごとにA～Dより1つ選んで○をつけて下さい)。

A…知っている、B…だいたい知っている、C…聞いたことがあるがよく分からない、D…聞いたことがない(分からない)

1. 電気を作る仕組みについて。
2. 日本のエネルギー問題について。
3. 風力発電の仕組みについて。
4. 日本の発電の割合について(原子力が○%、火力が○%・・・など)。
5. 世界の石油や石炭、天然ガスなどの石油燃料が減少していることについて。

表2 事後調査項目

問1 製作や実験をした時、次の項目に当てはまるかどうかを4段階で答えて下さい。

A…しっかりやった、B…だいたいやった、C…どちらかと言えばやらなかった、D…やらなかった

1. 授業(風力発電を学習する)の目的について自分なりに考えながら授業に取り組んだ。(目的)
2. 製作は、効率よく電気が起きるよう工夫して製作した。(製作)
3. 実験の結果がどうなるか、自分なりに予想しながら取り組んだ。(仮説・予想)
4. 実験の中では、注意深く、観察した。(観察)
5. 実験の結果から何が分かるかを自分なりに考えた。(考察)

問2 製作や実験をした時、次の項目に当てはまるかどうかを4段階で答えて下さい。

A…はい、B…どちらかと言えばはい、C…どちらかと言えばいいえ、D…いいえ

1. 風力発電の授業は楽しかったですか。
2. 授業の内容は、理解できましたか。
3. 授業の中で、風力発電装置を工夫して製作することができましたか。
4. 授業の中で、正しく実験を行うことができましたか。
5. 実験の方法などを自分なりに工夫することができましたか。
6. 風力発電装置の製作と実験で電気が発生する仕組みが分かりましたか。
7. 実験で使った製作題材の構造は分かりやすかったですか。

問3 風力発電の授業の感想を書いて下さい。

- ・風力発電の発電の仕組み。
- ・様々な風車の形状とそれらの特徴。

⑦師範用教具¹⁾を活用しての実験

- ・内部構造と発電の仕組み。
- ・各種条件による発電量の測定。

⑧題材の製作

- ・製作の手順の確認。
- ・本体部の製作と羽根部の製作。
- ・配線と半田つけ。
- ・各部の調整。

⑨製作題材を活用した実験及びその予想

- ・実験条件として、風量（3段階）、羽根の形状（サボニウス型2・3枚羽根、クロスフロー型8枚羽根）、増速率（3.3倍速、4倍速、5倍速）を設定し、実験の予想を行い実験する。

⑩実験のまとめ

- ・実験結果を学習プリントにまとめる。
- ・実験結果を発表する。

⑪自分たちでできる省エネルギー

- ・効率よい発電方法の検討（発電効率のよい風車の条件）。
- ・発電量の確認をする（製作題材で発電することは可能であるが、その量はとても小さく、実用化するためには大きな施設が必要であることを確認する）。
- ・自分たちでできる省エネルギーとして、電気を効果的に活用するための工夫や具体的な事例を発表する。
- ・新エネルギーと現行のエネルギーの比較を行い日本のエネルギー事情について再確認する。
- ・学習のまとめをする。

⑫事後調査

- ・風力発電およびエネルギーに関する事後アンケート調査

4. 3 調査の内容および手続き

上記の授業展開における事前・事後調査には、以下の質問項目を設定した。

①事前調査の質問項目

表1に示す事前調査では、問1「エネルギー

やそれらの応用技術に関する興味・関心」と問2「発電の仕組みや割合やエネルギー問題に関する知識」を4件法で尋ね、実験授業に参加した生徒のレディネスを把握した。

②事後調査の質問項目

表2に示す事後調査では、問1「製作・実験のプロセスの理解」、問2「授業・製作題材の評価」を4件法で尋ねた。また、問3「授業の感想」を自由記述で記入させた。

これらの質問項目を用いて、実験授業における生徒の学習過程および学習成果を把握した。4件法で求めた回答は、A→4点、B→3点、C→2点、D→1点と得点化し、平均と標準偏差を求めた。

5 実験授業の結果と考察

事前調査の結果より、興味・関心に関する調査の結果を図8に、知識に関する調査の結果を図9に示す。

問1の興味・関心に関しては、「クリーンエネルギー」、「地球温暖化」、「省エネルギー」、「エネルギー利用の技術」、「事故の発生」、の全ての項目に対して高い値を示しており、生徒たちはレディネスとして、エネルギーやそれらの応用技術に対して興味・関心を持っていることが示唆された。

しかし、問2の知識に関しては、「石油の枯渇」に関しては認知しているが、「発電の割合」、「風力発電の仕組み」、「エネルギー問題」、「発電の仕組み」については、十分な知識が身につけていないことから、エネルギーやそれらの技術に関して興味・関心はあるが科学的な認識が形成されていない実態が明らかとなった。

実験授業終了後に実施した事後調査より、図10に問1の質問項目「製作・実験プロセスの理解」に対する回答を集計した。その結果、「目的」、「製作」、「予想」、「実験」、「考察」の各項目において、いずれも平均値が3.0以上の高い値を示した。その中でも特に、「製作」、「予想」、

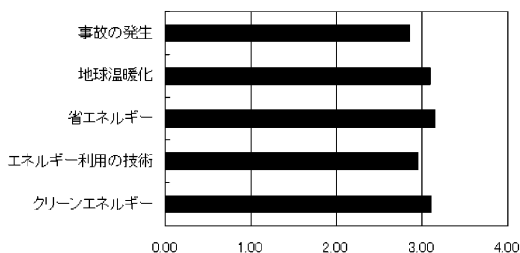


図8 興味・関心に関する事前調査の結果

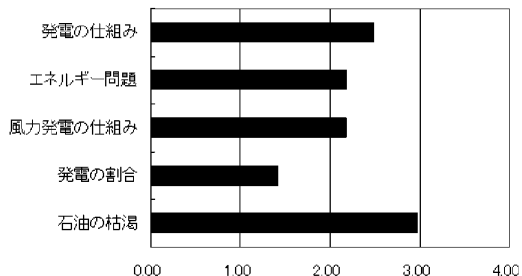


図9 知識に関する事前調査の結果

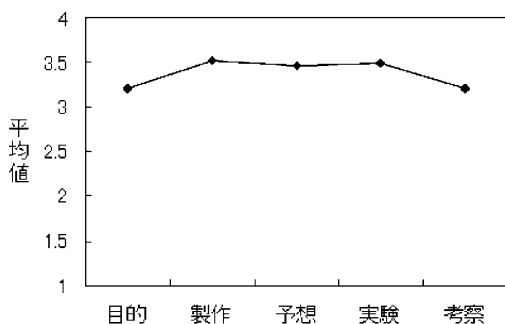


図10 製作・実験のプロセスの理解の結果

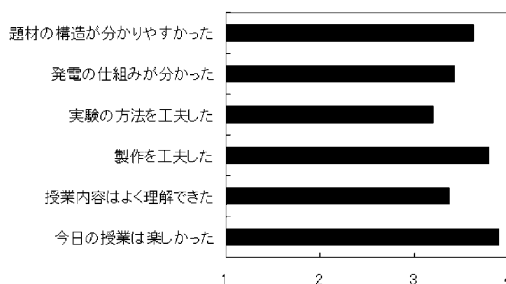


図11 授業の評価結果

「実験」は、平均値3.5前後と顕著に高い値を示した。このことから生徒は、自分が工夫して製作した風力発電装置を使って、実験の場面においても予想を立てた上で、動作の確認や電圧の計測を行っていたことが示唆された。

授業の評価結果を図11に示す。その結果、いずれの項目も平均値3.0以上の高い値を示した。特に、「今日の授業が楽しかった」、「製作を工夫した」、「製作題材の構造が分かりやすかった」などの項目では、平均値3.5前後と顕著に高い値が示された。

自由記述では、「風力発電装置の内部が見えて分かりやすい」、「風の強さによって効率のよい羽根の形状が変わることが分かった」など製作題材を評価する指摘を多数得ることができた。また、「今回製作した風力発電の発電量は少ない」や「電気の無駄使いを減らそう」など、新しい技術の実用化を望みつつ、自分たちが生活の中で実践できる具体的な省エネルギーの提案

や事例が提示されていた。

その他、「風力発電は、クリーンである」や「大きな施設で発電する必要がある」など、風力発電の長所や短所の理解や、これらの研究が進み実用化されることを願うコメント、省エネルギーの大切さを提示するコメントが認められた。

以上の結果から、本実験授業では、風力発電を学習する製作題材を活用することで、生徒の興味・関心を高めながら、エネルギーと生活との関わりについて意識を高めることができたものと推察される。

6 結言

以上、本研究では、新エネルギー技術の1つである風力発電について製作・実験を通して学習できる製作題材を開発し、実験授業を行った。以下に本実験条件下においての結果をまとめる。

①生徒が製作する風力発電装置を開発し、これ

らを用いた学習指導を構想し、実験授業を実施した。

- ②実験授業に対するレディネスとして、生徒はエネルギー問題に対して興味・関心を持ち合わせているが、それらの科学的な認識を持ち合わせていないという実態が把握された。
- ③実験授業では、自分が工夫して製作した題材を使って、実験の場面においても予想を立てた上で、動作の確認や電圧の計測を行うことができた。
- ④製作題材の分かりやすさを評価すると共に、授業が楽しかったと感じていた。また、生徒が自分たちにもできる省エネルギーの具体的な事例を複数指摘するなど、エネルギーと生活との関わりについて意識を高めることができた。

以上の結果より、本製作題材を活用した実験授業を実施した結果、エネルギー問題に対する興味・関心が高まり、これらの問題を身近に捉えさせることができたことと推察される。今後は、羽根の形状や歯車の選択など、製作題材をより活用しやすい形に改良すると共に、それらの効果的な活用方法を実践を通して検討したい。

なお、本研究は、平成19～21年度科学研究費補助金基盤研究（C）「持続可能な社会のための自然エネルギー技術に関する教材開発（19500742）」の助成を受けている。

参考文献

- 1) 資源エネルギー庁長官官房総合政策課編：平成18年度版 総合エネルギー統計，通商産業研究社（2008）
- 2) 経済産業省 資源エネルギー庁 電力・ガス事業

部政策課監修：新エネルギー利用などの促進に関する特別措置法，平成18年度版 電力小六法，エネルギーフォーラム（2006）

- 3) NEDO新エネルギー技術開発部—日本における風力発電設備・導入実績一，独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構資料集（2009）
- 4) 柏木孝夫：エネルギー需給見通しと国家プロジェクト，日本機械学会誌，Vol.109，No.1052号，pp.2-4（2006）
- 5) 世界における風力発電の状況：世界風力会議（Global Wind Energy Council:GWEC）（2009）
- 6) 経済産業省編：エネルギー白書2008年版原油価格高騰を乗り越えて，山浦印刷（2008）
- 7) 例えば，エネルギーガイドブック—エネルギー教育指導の手引き 小学校用一，社会経済国民会議エネルギー教育情報センター（1995）
- 8) 例えば，小堀美雅子：風の力を調べよう—簡易風力発電機作り一，理科の教育2001年4月号，Vol.50，pp.55-57（2001）
- 9) 例えば，高橋信之：「風車灯の製作」—新学習指導要領の「A技術とものづくり」における製作題材の開発一，日本産業技術教育学会誌，Vol.43，No.3，pp.179-182（2001）
- 10) 例えば，塩沢臣城・石田聡一・干川圭吾：風力発電を用いたクリーンエネルギーに関する授業実践，信州大学教育学部附属教育実践総合センター紀要，Vol.1，pp.115-124（2000）
- 11) 山本利一・西村琢磨・竹内直樹：風力発電の仕組みを学習する教具の開発，日本機械学会関東支部大会第12期総会講演会講演論文集，pp.131-132（2006）

（2009年9月15日提出）

（2009年10月16日受理）

Development and lessons practice of the Wind Power Generation System as the teaching material

Toshikazu YAMAMOTO, Takahito HOSHINO, Yasuyuki ISHIDA, Takuma NISHIMURA

Keywords : Wind Power Generation, Teaching Material,
Technology Education, Energy Education

The teaching tool to learn the mechanism of wind power generation in the technology education course in junior high school was developed. Developed teaching material is a Savonius-type and Crossflow-type windmill. The main body is made of vinyl chloride plastic pipes, as the transmission of the power can be visually observed.

The production of this teaching tool was learned in the experimental class or junior high school students. As the result, it was effective for them to learn the mechanism of the wind power generation experimentally.