風車を題材とした課題解決型学習支援システムの開発

Development of Problem Solving Learning Support System on Subject of Wind Turbines

三 田 純 義^{※1}

Sumiyoshi MITA

We developed a learning support system to introduce problem-solving through performing interactive experiments and practice into the traditional style of classroom teaching. This developed system includes learning material related to creating wind turbines for educational use ; it comprises wind turbine knowledge, theories, phenomena, and a database. To assess this system, we taught students based on the teaching program in which students constructed wind turbines and evaluated their performance. Next, they learned through this developed system. They constructed a second generation of wind turbines utilizing the knowledge and theories learned through this system. Finally, they evaluated the wind turbines' performance. This system was assessed through students' appraisals and the performance and shape characteristics of resultant wind turbines. Students showed a deep understanding of wind turbines and improved the wind turbines' performance and shape. These results clarified that this learning support system is an effective teaching material for problem-solving learning.

Keywords : Teaching Method, Development of Teaching Material, Solving Problem, Learning Support

キーワード：指導方法，教材開発，課題解決，学習支援

1. はじめに

工業技術教育においては、一斉学習指導で知識や理論を学ぶ「座学」と、体験を通じて学ぶ「実験・実習」を並行して、学習指導している。それらを関連づけて指導するには、カリキュラム上で指導内容の排列を工夫したり¹⁾、教師が指導内容を関連づけたり、さらに、教卓実験を取り入れて、学生に現実感をもたせて指導するなどの工夫をしている²⁾。また、創造力豊かで、問題解決力のある技術者が求められ、そのような技術者を育てることをねらいとして、学生が主体的に課題解決に取り組める「座学」と「実験・実習」を総合した科目を設けるなどの工夫がされている³⁾。しかし、「座学」と「実験・実習」を有機的に関連づけて学習指導されているとは言えないのが現状である。

学生が主体的に取り組める課題解決型の「ものづくり」を「座学」に取り入れ、「座学」と「実験・実習」を融合した指導方法を開発するための1つの方法として、学生自らが必要な知識や理論、データなどを検索し、主体的に課題解決できるよう、学生の探索的な学習を支援する教材は少ない。

本研究では、学生が自らの着想で物作りをして、その性能を調べ、その結果をもとに改良して、性能を調

べるというように物作りと実験をとりいれた課題解決型の学習において、ものづくりに関連する知識や現象、データを学習者に提供し、それをもとに学生が最適な物を創り上げる学習支援システムを開発した。

近年、環境やエネルギーへの関心が高まり、教育現場に、風力エネルギーを活用する風車づくりの実践がとりいれられている⁴⁾。このような実践では、学生の発想を大切にして風車づくりに取り組むことが多いが、風車の科学や技術学の基礎的な原理や理論に関する学生の認識状況を把握してから、実践に取り組むことが大切である。

そこで、本研究では、風車づくりを題材として取り上げ、「よりパワーの出る風車をつくる」⁵⁾という課題設定で、探究活動を支援できる学習教材を開発した。さらに、それを用いて、工業高等専門学校（以下高専とする）の教育現場で実践し、開発した学習支援システムを評価した。

2. 指導計画と教材

2. 1 指導計画

開発した教材を用いて、物理に関する基礎知識や理論とその応用を学習している高専の4年生43名を対象として、1時限を50分として図1の指導計画にもとづいて指導した。

図1に示すように、開発した学習支援システムによって学習する前後（これを事前、事後という）に、質問紙による調査や風車づくりを実施した。

2. 2 学習教材の構成

「ものづくり」の設計－製作－性能評価のプロセスにおいて、設計の段階における発想はできあがった物の性能を決定する。そこで、開発する学習支援システムでは、学習活動において、学生の発想を引き出すことに重点をおくことにした。

技術的な課題では、基礎的な知識や理論のほかに、既存の物やその性能データを参考にすることは、発想する上で大切な情報となる。また、初学者にとって技

術に関する知識や理論に関する現象を観察することは、知識や理論を理解し、活用するには大切な情報となる。

そこで、開発する学習支援システムでは、“ものづくり”のための知識や理論をテキストや静止画、動画で学生に提供できるよう、つぎの内容で構成した。

- (1) 知識や理論の学習教材
- (2) 作り方と実験方法に関する学習教材
- (3) 既存の物の形状や性能のデータベース

本研究における「風車づくり」を支援する教材は図2の内容で構成されている。データベースは風車の緒元を入力すると、図3に示す風車の形状とデータが表示される。図2の[I]～[IV]はMicrosoft PowerPointを用いて、[V]はMicrosoft Accessを用いて開発した。

風車に関する学習教材を開発するには、そこで使用する画像やデータなどの情報に対し著作権が問題となる。また、直径が220mm程度の風車はレイノルズ数が低い領域で回転するが、この領域でのデータや画像はあまりない^{6)~8)}。そこで、つぎの実験装置や教材を開発し、データや画像を収集した。

- (1) 卓上風車実験装置^{9)~11)}
- (2) 翼モデルの空気力学的特性の計測装置¹²⁾
- (3) 翼モデル周りの流れの可視化装置
- (4) 風力によって走行するヨットモデルの模型自動車

図1 指導計画

[V] 風車に関するデータベース
学習者が図3のように、風車の諸元（直径、ブレード形状、ねじり方、翼弦長、枚数）を入力すると、各種の風車の性能を検索でき、図2の画面が表示される。風車のデータとしては、風車についての知識がない工業高等専門学校の学生が作った100台の風車と、風車作りの経験がある学生が作った18台の風車のデータを使った。

図2 教材の構成

回転数 [rpm]	トルク [N・m]	パワー [W]
1201	5.35E-05	6.72E-03
1145	1.06E-04	1.27E-02
1074	6.48E-05	7.29E-03
959	4.44E-04	4.46E-02
860	5.44E-04	4.90E-02
737	7.85E-04	6.06E-02
469	1.01E-03	4.94E-02

半径 [cm]	11
面積 [cm ²]	25*2
20%翼弦長	21
50%翼弦長	24
100%翼弦長	27
20%ねじり角	5°
50%ねじり角	10°
100%ねじり角	15°
等翼弦長	
先広がり	○
先細り	
特殊	
平面	○
曲面	
枚数	2

図3 風車データベースの検索結果の画面

2. 3 風車づくりの教材

本研究では、学生が自らの発想で風車をつくり、改良して最適な風車づくりを支援し、基礎的な知識や理論の概念を学習できる学習支援システムを開発する。それには、学生が容易に作れ、何度も作り直しのできる風車づくりの教材が必要になる。そこで、容易に作れる超小型の風車を作り、そのパワーを測定する教材を開発した¹³⁾。

〔風車づくりの条件〕

風車づくりの教材の風車をつぎの条件で製作する。

- 1) 風車の直径は220mm以内とするが、直径で+20mm (半径で+10mm) は許容する。
- 2) 風車のブレードは紙で作る。
- 3) ブレードを板厚1mm、幅8mm、長さ180mmのアルミニウム板にセロテープで貼り付ける。
- 4) ブレードをハブ (アルミニウム丸棒、直径20mm、長さ20mm) にネジで固定する。

〔風車の性能評価〕

できあがった風車の性能を評価するには、質量がわかっているおもりを持ち上げるのに要する時間を測定してパワーを求める。

3. 学習支援システムの評価

学習の成果と開発した学習支援システムの評価は、つぎの質問紙による調査や作品にもとづいて行った。

- 1) 風車に関する基本的な考え方に関する調査 (2択あるいは3択の質問紙)
- 2) 風車づくりの工夫と風車の性能評価 (作品)
- 3) 学習形態に関する調査 (4段階評価の質問紙)
- 4) 学習支援システムに関する調査 (4段階評価の質問紙)

3. 1 風車に関する基本的な考え方

つぎの項目について回答させ、その理由を記述させた。

(A) 高速で回転する風車を作るには

(a) ブレードの形状、面積、ねじり方が同じ風車

のブレードの枚数は (a 多い方がよい。b 少ない方がよい。)

(b) ブレードの形状、枚数、ねじり方が同じ風車のブレードの面積は (a 大きくした方がよい。b 小さくした方がよい。)

(c) ブレードの枚数、ねじり方、面積が同じ風車のブレードの形状は (a 先広がりにした方がよい。b 先細りにした方がよい。)

(d) ブレードの形状、枚数、面積が同じ風車のブレードのねじり方は

- a 根元は大きくねじり先端は小さくねじる。
- b 根元は小さくねじり先端は大きくねじる。
- c 根元も先端も同じねじりにする。

(B) 高トルクで回転する風車を作るには

(a)~(d) の質問内容は (A) と同じ。

(C) 水平軸風車に風があたり、風車が回転しているときに、風車から見たブレード周りの空気の流れは

- a ブレードにぶつかるように流れる。
- b ブレードに沿ってブレードを包むように流れる。

風車に関する認識についての事前と事後の調査結果を図4と図5に示す。事前と事後の調査結果から、高速回転する風車では、枚数が少なく、面積が小さく、先細りの形がよいが、学生は実験結果から、これとは反対の回答をしている。また、高トルクの風車では、高速回転の風車と反対の枚数、面積、形状がよいが、事前、事後ともそのように考えていることがわかる。

ブレードのねじり方とその周りの流れについては、相対速度に基づいている。ねじり方と流れについての考え方が正しい方に大きく変化している。

3. 2 風車の性能評価結果

事前と事後に作った風車のパワーを求め、検定した結果を表1に示す。この結果から、開発した学習支援システムによって学習した後には作った風車の性能が改善されていることがわかる。

表1 風車の性能 (パワー)

		平均値	標準偏差	検定結果
パワー [W]	事前	0.043	0.043	p<1%
	事後	0.085	0.042	

3. 3 風車づくりの工夫の分析

学生が創意・工夫して作った風車のブレードの全体の形、面形状、ねじり方を表2に示すように段階に分け、さらに、風車の直径、面積、翼弦長（半径位置80%）、ねじり角（半径位置80%）の値によって、クラスター分析した。その結果、表3のようになった。

図4 風車に関する基本的な考え方（事前調査）

図5 風車に関する基本的な考え方（事後調査）

表2 風車の評価段階

段階	半径[cm]	面積[cm ²]	翼弦長[mm]	ねじり角[°]	ねじり方	形 状	面	枚 数
I	～10	～ 50	～ 25	～15	先端大	先広がり	平面	枚数の整数 値を段階の 数値とする
II	10～11	50～ 75	25～ 50	15～30	等しい	等翼弦長	曲面	
III	11～	75～100	50～ 75	30～45	先端小	先 細 り		
IV		100～125	75～100	45～60		特 殊		
V		125～150	100～125	60～75				
VI		150～175	125～150					
VII		175～200	150～					
VIII		200～						

- (注1) ねじり方「先端大」とは、ブレードの根元から先端に向かってねじり角を大きくする。
ねじり方「等しい」とは、ブレードの根元から先端までねじり角が等しい。
ねじり方「先端小」とは、ブレードの根元から先端に向かってねじり角を小さくする。
- (注2) 形状「先広がり」とは、ブレードの根元から先端に向かってブレードの幅を大きくする。
形状「等翼弦長」とは、ブレードの根元から先端までブレードの幅が等しい。
形状「先細り」とは、ブレードの根元から先端に向かってブレードの幅を小さくする。
形状「特殊」とは、「先広がり」、「等翼弦長」、「先細り」のいずれにも該当しない特殊な形状とする。

表3 グループごとの風車の台数

グループ	半径	面積	翼弦長	ねじり角	ねじり方	形状	面	枚数	事前(台数)	事後(台数)
A	II	I II	II	II	I II	I II	I II	II	17	0
B	I	II	III	III	II	IV	I	II	1	0
C	II	III	II III	I	II	I II	I II	II	17	0
D	I II	V VI	III	I II	II	III IV	II	II	4	0
E	I	II	I	I	II	IV	II	II	0	1
F	III	III IV	III IV	I II	II	I	I	II	0	4
G	II	IV	III	II	III	I	II	II	0	3
H	III	III	II	II III	II	I	I	II	0	5
I	I	III	III	II	II	I	I	II	0	3
J	I	VI	IV	IV	II	I	I	II	0	1
K	III	VI	II	II III	II	I	II	II	0	4
L	II III	V	IV	II	II	I	I	II	0	4
M	II III	VII VIII	V VI	I II	II	I	I	II	0	6

結果より、ブレードの大きさ（面積，翼弦長）とねじり方を工夫していることがわかる。

この結果から、事前と事後を比較すると、面形状は平面の割合が増え、ブレード全体の形状は先広がりの割合が増えた。また、ねじり方は等しくねじる割合が増えた。

風車の直径は規定しているので、ブレードの面積、翼弦長（半径位置80%）、ねじり角（半径位置80%）の値を、事前と事後で検定したところ、表4に示す結果となり、事後では風車を改善していることがわかる。これは、風車の性能の検定結果と一致する。

以上の風車の性能や形状等のスペックの分析結果から、学生は、おもりを持ち上げるのに、トルクを大きくするためブレードの面積、翼弦長、ねじり方、形状に注目して工夫していることがわかる。

表4 風車のブレードの面積，翼弦長，ねじり角

		平均値	標準偏差	検 定
面 積 [cm ²]	事前	81	30	p<1%
	事後	138	53	
翼 弦 長 [mm]	事前	48	14	p<1%
	事後	75	32	
ねじり角 [°]	事前	16	10	p<5%
	事後	25	12	

3. 4 学習形態と学習支援システムの評価

学習形態と学習支援システムに関して、つぎの質問項目1)～11)について、表5の4段階で学生に評価させた。

[I]「ものづくり」をとりいれた学習形態

- 1) 学習に「ものづくり」をとりいれることで学習の目的が明確でしたか。
- 2) 学習に「ものづくり」をとりいれることで学習意欲が高まりましたか。
- 3) 学習に「ものづくり」をとりいれることで学習に興味がわきましたか。
- 4) 学習に「ものづくり」をとりいれることで学習の理解が深まりましたか。

[II] 学習支援システム

- 5) 学習教材の内容はわかりやすかったですか。

表5 回答段階

4	大変明確だった，大変高まった，大変湧いた 大変深まった，大変分かりやすかった 大変参考になった，大変よく分かった
3	明確だった，高まった，湧いた，深まった 分かりやすかった，参考になった，分かった
2	明確でなかった，高まらなかった，湧かなかった 深まらなかった，分かりやすくなかった 参考にならなかった，分からなかった
1	全く明確でなかった，全く高まらなかった 全く湧かなかった，全く深まらなかった 全く分かりやすくなかった 全く参考にならなかった，全く分からなかった

- 6) 学習教材の内容は風車づくりの参考になりましたか。
- 7) 風車のデータベースは風車づくりの参考になりましたか。
- 8) 風車のブレードの形状，ねじり角などの基本的な原理がわかりましたか。
- 9) 相対速度，相対流（ブレードから見た風の速度）がわかりました。
- 10) 揚力の発生原理がわかりましたか。
- 11) 風車ばかりでなく，エンジンやモータの性能，回転数，トルク，パワーの関係がわかりましたか。

(1) 学習形態に関する調査結果

図6の結果から，“ものづくり”を取り入れた学習形態について、学習者は高く評価していることがわかる。

(2) 学習支援システムに関する調査結果

学習支援システムについての評価結果を図7に示す。この結果から、学生は、学習教材はわかりやすく、風車づくりに参考になったと評価している。

4. まとめ

風車づくりに関する学習支援システムとそれに関連した実験装置を開発し、風車づくりの実践に取り組んだ。学生の風車に関する基本的な考え方や創意工夫して作った風車の特徴と性能を評価するとともに、質問紙によって学習支援システムを評価した。これらの結果、つぎのことがわかった。

図6 授業形態に関する調査結果

図7 学習支援システムの評価結果

- (1) 風車に関する基本的な考え方、風車の性能の事前と事後の評価結果から、学生は風車づくりのつまずきに気づき、風車に対する認識が深まり、風車の性能も向上し、学習の効果が確認された。
- (2) 学生による学習支援システムの評価結果から、学生が主体的に学習できる「ものづくり」をとりいれた学習形態と開発したシステムを評価し、開発した学習支援システムは有効であった。

参考文献

- 1) 田中萬年：職業技術教育における理論と実践との融合に関する実験的研究，教育方法学研究，1 (1975)，49 - 56
- 2) 浅野照雄，皆田 理，伊藤秀敏，岩井 哲：座学に実験とコンピュータシミュレーションを導入した構造物力学教育，工学教育，49，6 (2001)，31 - 37
- 3) 文部省：高等学校学習指導要領，実教出版 (1989)，1 - 12，文部省：高等学校学習指導要領，実教出版 (2000)，1 - 13
- 4) 伊藤 尚，藤本 浩，門脇重道，牛山 泉，松本文雄，江口英範：ものづくり教育への風力エネルギー利用，第22回風力エネルギー利用シンポジウム (2000)，78 - 81
- 5) 三田純義：機械工業教育における“ものづくり”で学習者の創意・工夫を引き出す一斉学習指導の試み (羽根車の設計・製作・性能試験の導入による指導の改善)，科学教育研究，24，1 (2000)，58 - 66
- 6) 三田純義，徳原 淳，松田稔樹：低レイノルズ数領域におけるブレードの形状と空気力学的特性 (揚力と抗力の2分力計の開発とブレードの空気力学的特性，第22回風力エネルギー利用シンポジウム (2000.11)，100 - 103
- 7) 三田純義：教育用風車の性能比較，日本機械学会関東支部ブロック合同講演会 - 2000 桐生 - 講演論文集 (2000.6)，197 - 198
- 8) S. Sunada, A. Sakaguchi, K. Kawachi : Airfoil Section Characteristics at a Low Reynolds Number, Journal of Fluids Engineering, 119 (1997)，129 - 135
- 9) 三田純義，鈴木誠司：教育用小動力計測装置の開発，日本設計工学会平成12年度春季研究発表講演会講演論文集 (2000.5)，79 - 82
- 10) 三田純義，松田稔樹：学習者とのインターフェースを考慮した実験装置の開発と指導法の検討 (風車づくりをとりいれたパワー測定の実験を題材にして)，日本設計工学会平成13年度秋季研究発表講演会講演論文集 (2001.10)，29 - 32
- 11) 三田純義，並木賢太郎，松田稔樹：卓上風車実験装置の開発と学生による風車づくり，第23回風力エネルギー利用シンポジウム講演論文集 (2001.11)，164 - 167
- 12) 徳原 淳，嶋田 宏，三田純義：翼の揚力・抗力に関する計測装置の開発，日本機械学会関東支部関東学生会第39回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集 (2000.3)，275 - 276
- 13) 三田純義，徳原 淳，松田稔樹，牛山 泉：教育用超小型風車のブレードの形状とパワー特性 (小動力計の開発と超小型風車 (直径220mm，翼弦長16mm) のパワー特性)，第22回風力エネルギー利用シンポジウム (2000.11)，174 - 177

著者紹介

三田 純義

1975年 群馬大学大学院工学研究科修士課程修了
 1975年～1995年 東京工業大学工学部附属工業高等学校
 2002年 東京工業大学大学院社会理工学研究科博士課程修了
 現在 小山工業高等専門学校教授，博士 (学術)