

工学教育のための実践的実験教材開発

藤本 健司* 早稲田 一嘉**

Practical Experiment Teaching Materials Development for Engineering Education

Kenji FUJIMOTO* Kazuyoshi WASEDA**

ABSTRACT

In recent years, a decrease in motivation of learning, has become a problem in the College of Technology and Engineering of the University. In order to resolve this problem, measures are needed from the lower grades of these higher education institutions. However, to educate both theory and actual practice at the same time for student who have less technical skills is difficult in introductory education. In this study, we developed the experimental teaching materials for college student, using higher level teaching materials. For example, there are windmill created by 3D printer and general purpose measurement tool...etc.

The teaching material provides the both theory and actual practice for engineering education. Currently, we are using the materials in the experiment of Electronic Engineering second grade in this college.

Keywords: engineering teaching material, arduino, windmill, 3D printer

1. はじめに

2013年6月に政府が示した成長戦略の中にプログラミングや3Dプリンタなどの項目が組み込まれたように、今後プログラミング技術の習得やハードウェアに関する知識の習得が当たり前になる社会になっていくと思われる。しかし、重要なのは技術の習得ではなく、これらの技術がどのように利用できるのかといったキャリア教育も同時に行うことが必要であると考えられる。例えば、現在これらの技術を実際に学び、生産開発に用いることになるであろう大学工学部や高等専門学校（以下高専）の学生の中に自分たちの専門分野が実際どのように関わっているかということを理解できている学生は多くない。また、自分たちの専門知識がどのように実践に活かされるのかが分からないことで学習へのモチベーションが維持できないケースが見られるのが現状である。

これは、大学工学部や高専でのエンジニア教育において、「理論と実践」両方の教育として、「講義（座学）と実験実習」を同時並行的に進めていく形が望ましいが、実際は入学直後など低学年においては本格的な専門技術が伴っていない状態の学生がほとんどであるこ

とから、講義が中心になってしまい、学生らが実践的な工学を実感できない教育となってしまうことが原因であると考えられる。

このような状況の中、エンジニアを育成する可能性のひとつとして、機械、電気および電子系学科の学生などに自分の専門分野と違う技術に触れることができ、また、理論と実践を体験できる実験教材が開発できれば今までに述べた問題点が解決できるのではないかと考えた。

今までの研究では、理論と実践の両方を体験できる実験教材としてペーパークラフト風車（ハードウェア教材）とArduino（ハードウェア&ソフトウェア教材）、及びProcessing（ソフトウェア教材）を組み合わせた風力発電実験教材の開発を中心に行ってきたが、今回、更に3Dプリンタを組み合わせたより高度な実験教材や計測ツールなどを開発したので本論文において報告する。

2. 実験教材の位置づけ

提案する実験教材は、大きく分けるとハードウェア教材とソフトウェア教材の2種類である。現在、提供することのできる教材の種類を図1、図2に示す。図中の下線部は今回追加した教材を表している。例えば高専でこれらの教材を用いて実験テーマを作成する際には、教材を組み合わせることによって学科毎の特色

* 電子工学科 准教授

** 機械工学科 准教授

を生かした実験テーマを作成することが可能である。

- ハードウェア**
- ペーパークラフト風車の製作
 - 風車の種類
 - 水平軸型風車 (ダウンウィンド型)
 - 水平軸型風車 (アップウィンド型)
 - 垂直軸型風車
 - 翼の形状変化による発電実験
 - 風車の回転数測定
 - 3Dプリンタを用いた風車モデルの製作
 - 翼形状による発電効率の変化
 - Arduinoを用いた回路設計
 - 各種センサーを用いた回路
 - 圧力センサー
 - 電流モジュールセンサー
 - 歪みセンサー
 - 曲げセンサー など
 - Arduinoの自作

図 1. ハードウェア教材例一覧

- ソフトウェア**
- プログラミング
 - ArduinoとProcessingを用いたプログラミング
 - [Arduino]
 - 単一センサーからの値取得
 - 複数センサーからの値取得
 - Processingとのシリアル通信 など
 - [Processing]
 - Arduinoとのシリアル通信
 - 入力値の記録
 - グラフ表示
 - 計測ツールの開発 など
 - ソフトを用いた計測&シミュレーション
 - QBlade (フリーソフト) を用いた解析
 - 汎用計測ツール (藤本研究室製作) を用いた各種計測

図 2. ソフトウェア教材例一覧

本校電子工学科では、昨年度の後期からこれらの教材を用いて2年生向けの実験実習を行っている。その内容を図3に示す。全部で3週の実験となっており、1週目はハードウェア、2週目はハードウェアとソフトウェア、そして、3週目はソフトウェア中心の内容となっている。また、各週毎の小テーマ内で「理論と実践」のバランスを取っている。

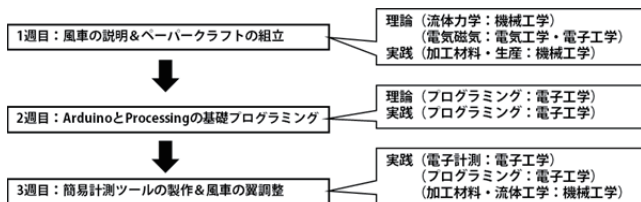


図 3. 電子工学科実験テーマ (2年生向け)

電子工学科の例では、複数の学科の内容が組み込まれているが、組み合わせによっては各学科に特化した内容やより高度な内容で実験テーマを作成することも可能である。図4に機械工学科で利用する実験テーマの例を示す。この例では、主に高学年での利用を前提にしている。最後に解析結果と実験結果の比較を行い、

その結果をフィードバックすることでよりよい製品を開発するという疑似体験を体験できる。こういった内容の実験は、近年 JABEE などが必要が叫ばれているエンジニアデザイン能力の育成にも役立てると考えられる。

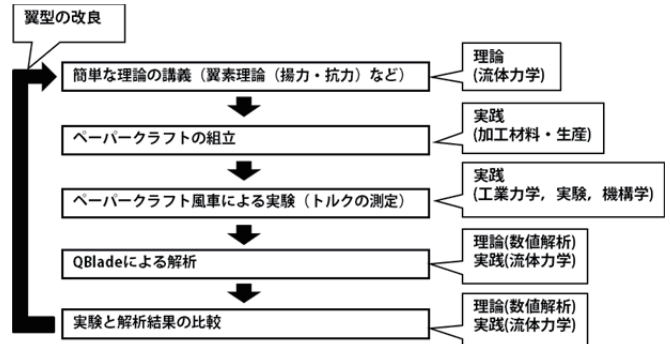


図 4. 実験テーマの例 (機械工学科)

3. 製作した実験教材

次項より、図1, 2に記載している今回追加した教材について報告する。

3.1 ペーパークラフト風車 昨年度まで用いられていたペーパークラフト風車は本校機械工学科早稲田研究室で製作されたもの^{(1),(2)}である。この風車は、図5に示すような水平軸型風車 (アップウィンド型) であったが、今回、水平軸型風車 (ダウンウィンド型) と垂直軸型風車のペーパークラフトについて同研究室で開発を行った。製作したペーパークラフト風車の外観を図6, 図7に示す。



図 5. 水平軸型風車 (アップウィンド型)



図 6. 水平軸型風車 (ダウンウィンド型)



図 7. 垂直軸型風車

図 5, 6 に示す水平軸型風車については、ペーパークラフトではあるが、実際の風車と同様に、風が弱く風車の翼が遅く回るときでも発電できるように増速機の機構を風車翼側の芯棒と発電機側の芯棒にビニールテープを巻き、摩擦車を製作し、その巻きつける径を風車の翼側を大きく、発電機側を小さくすることで実現している（図 8 参照）。

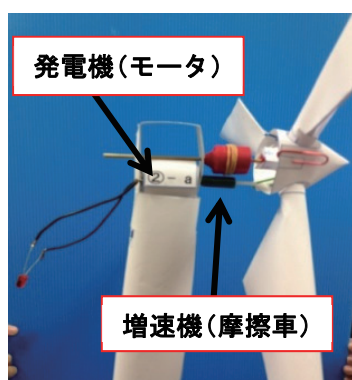


図 8. 風車内部（アップウィンド型）

この摩擦車を用いたことで振動が発生しにくく低回転時にも対応しやすくなっている。摩擦車を利用すると滑りやすいといった欠点もあるが、その欠点については摩擦が大きくなるようにビニールテープや輪ゴムを用いることで軽減している。他にも、微調節を行いやすいようにナセルや風車翼の部分を簡単に取り外せるようにしている。また、低回転から起電力を発生することのできる XiKIT 社製のジェネモータ XGM-RA を発電機として用いている。この増速機と発電機を組み合わせることで、風車翼の回転数が低くても発電できるようになっている。

なお、アップウィンド型は翼（ブレード）の風車の前方から風を受けることで回転するが、ダウンウィンド型は風車の後方から風を受けることで回転するのが特徴である。

図 7 の垂直軸型風車は、風の向きにブレードを垂直に調整しなければいけない水平軸型風車とは違い、向きの調整は必要がない。但し、ブレードの無い場所に

風があたると風車が回るのに必要なトルクが得られるまで時間がかかるという欠点を持っている。

今回、このような 3 種類のペーパークラフト風車を開発したことで、風車の形状やブレードの形状における発電効率やトルクの強さの違いなどを比較することができる実験テーマが可能になった。また、製作する難易度が垂直軸、アップウィンド型、ダウンウィンド型と順に難しくなっており、学生のハードウェア製作能力に応じて使用するペーパークラフト風車の種類を決定することも可能となっている。

3.2 高度な風車製作教材 前項で説明したペーパークラフト風車では、紙でできているという特性上、翼の形状を容易に変形させることができ、その結果、翼の形状による風車のトルクや発電効率を調べることが可能であった。しかし、高専や大学工学部の低学年の学生であれば、翼の形状（ひねりの有無など）によってトルクなどが変化するという体験でも問題はないが、高専や工学部の高学年であれば、より高度な翼型の形成が必要であると考えた。そこで、3D プリンタと解析ソフトを用いた、より高度な風車製作教材の開発を行った。

今回は翼型の形状についての考察が行えることを目的としているため、図 9 に示す主要パーツについては、あらかじめ 3D プリンタを用いて製作した状態でユーザに提供することとしている。これらのデータについては、フリーソフトである FreeCAD を用いてデータを製作した（図 10 参照）。

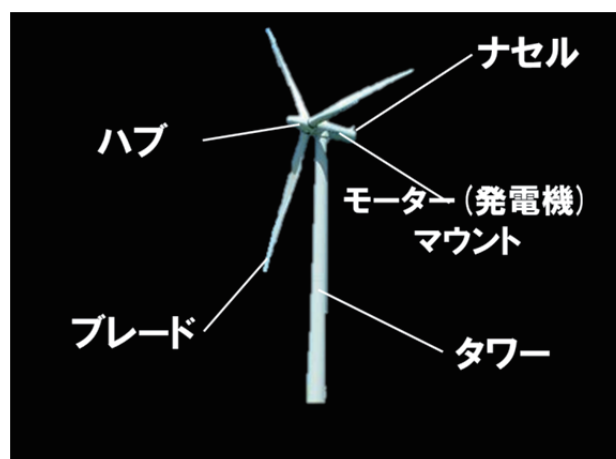


図 9. 製作する風車の各パーツ

翼型の形状と設計については、フリーソフトである QBlade を用いて行う。まず、QBlade 上で翼型（ブレード断面）の設計を行い、次に、その翼型の揚抗比の解析を行う。最適な揚抗比を持つ翼型が求めれば、2D モデルから 3D モデルへ変換し、ブレードを完成させる。今回 QBlade を用いた理由としては、これらの一連の作業は、全て QBlade 上で GUI を利用して行うこ

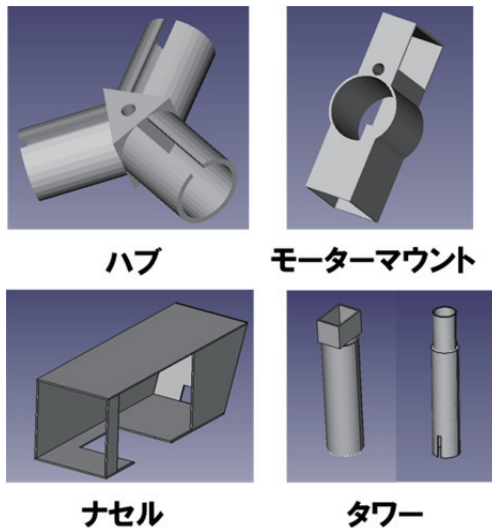


図 10. 各種パーツの 3D データ

とができるため、3DCAD の作業に習熟していない学生でも 3D モデルを製作することができるという利点があるからである。図 11 に QBlade を用いて製作したひねりの無いブレードとひねりの有るブレードを示す。ひねりの無いブレードは水平軸型のペーパークラフト風車で使用している翼型と同じような形状である。一方、ひねりの有るブレードは、ペーパークラフト風車では、実現することが難しい形状ではあるが、3D プリンタを用いることで製作が可能となった。また、ペーパークラフト風車に比べ、強度、耐久性共に高いため、安定性も高く、ブレードの形状による発電効率やトルクの違いなどを測定する際にも信頼性の高いデータを得ることができる。信頼性の高いデータを得られるということは、実験結果と QBlade とのシミュレーション結果の比較結果も信頼性が高くなり、その後の翼型の改良のためのフィードバックにも生かすことができる。

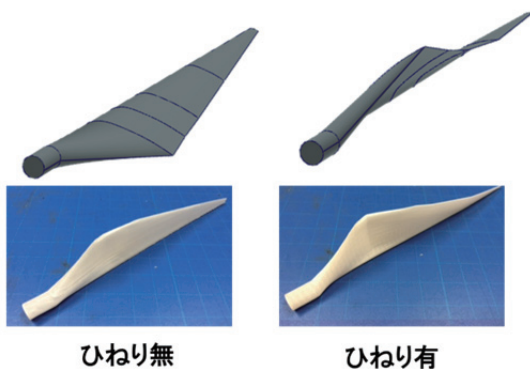


図 11. QBlade を用いて設計した 3D データと製作物
上側：QBlade を用いて設計した 3D データ
下側：3D データを基に 3D プリンタで製作したもの

なお、今回使用した 3D プリンタは、図 12 に示す 3D Touch (BITS FROM BYTES 社製) を用いた。精度は 0.25 mm となっている。このプリンタを使用し、製作した風車の外観と内部の構造を図 13 に示す。今回製作したものはアップウィンド型であるが、ダウンウィンド型に関しても QBlade を用いて設計は可能である。また、垂直型に関しては現在らせん状にブレードが配置されたものを製作中である。



図 12. 使用した 3D プリンタ
(3D Touch:BITS FROM BYTES 社製)

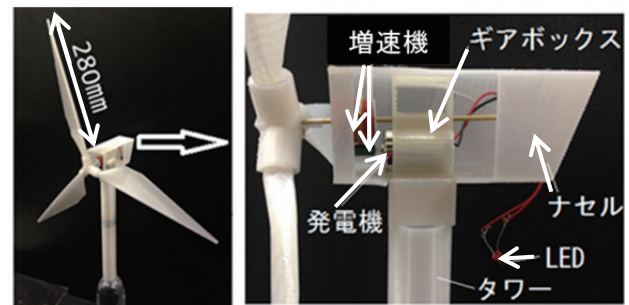


図 13. 3D プリンタを用いて製作した風車

3.3 回転数計測 風車に加わる要素と QBlade など解析した解析結果を比較し性能評価が行えるように、回転数測定を行う教材を製作した。図 14 にその概要を示す。回転数については、摩擦車の部分に反射シールを取り付け、非接触式反射型回転数計で計測することで計測が可能である。この回転数計については、図 13 に示す回路を設計し、Arduino を用いて計測を行えるようにした。回路図を図 14 に示す。市販品は、簡易なものでも 1~2 万円であるのに対し、設計した回路については 500 円程度と非常に安価なものになっている。また、精度についても、市販のタコメータと製作した回転数計を用いて 5 つの風車に対して結果を比較したところ、表 1 のようになり、市販タコメータとの平均

誤差率は 1%未満であり，市販タコメータに比べてもほとんど変わらない性能を有していることが分かる．但し，今回使用した反射型フォトセンサ RPR-220(Rohm 社製)の認識距離が 6 mm~1cm と非常に短いため，測定部分についてはフォトセンサ部分を収納したプローブなどを製作する必要がある．

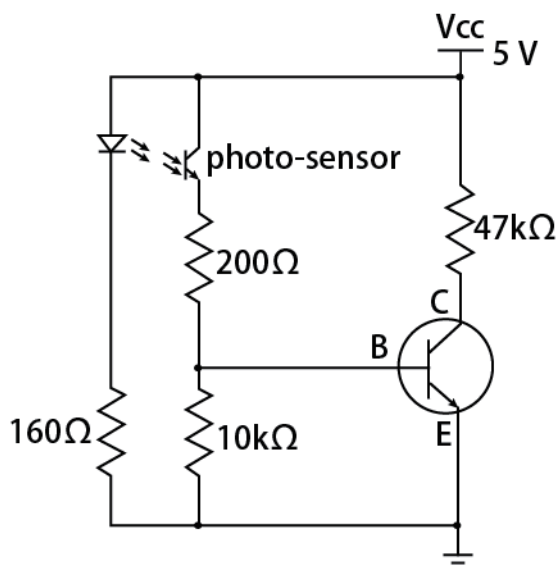


図 14. 回転数計の回路図

表 1. 回転数計特性評価結果

データ	rpm (tacho)	rpm (提案モデル)	誤差	誤差率 (%)
1	309	308.4	0.6	0.19
2	318	319.2	-1.2	0.38
3	312	310.2	1.8	0.58
4	317	316.2	0.8	0.25
5	302	301.8	0.2	0.07

3.4 汎用計測用ツール プログラミング系の科目が多い学科については，実際に発電電圧計測用ツールの製作を行うための教材をすでに開発している．しかし，プログラミングが苦手という学科や学生のために，Processing を用いて，汎用計測ツールの開発を行った．Processing は，オープンソースプロジェクトであるため無料で使用可能であり，電子アートやビジュアルデザインなどに適している言語である．また，初心者でもプログラミングが容易であることと Arduino と親和性が高いのが特徴である．今回製作した計測ツールは，メニュー画面とそこから選択できる複数のツールからなっている．図 15 にメニュー画面，図 16 に現在搭載している汎用計測ツールの機能の 1 例を示す．メニュー

画面は 3 つ選択できるようになっているが，今回提供しているツールに関しては，電圧測定ツールのみとなっている．もし，他のツールが必要になった時には，メニューの空きスロットにそのツールを関連付けることで容易に追加が可能となっている．

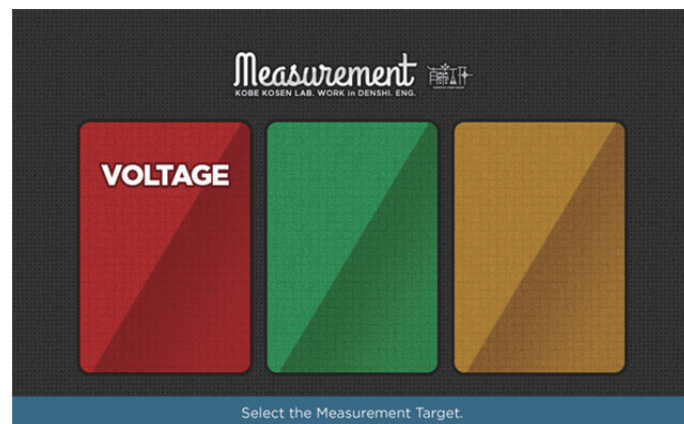


図 15. 汎用計測ツールメニュー画面



図 16. 汎用計測ツール画面 (Voltage)

今回提供している図 16 の計測ツールは，以下のような機能がある．

- (1)複数入力値のグラフ化 (4 入力まで可能)
- (2)計測データの保存
- (3)保存した計測データのチェック機能
- (4)計測ツール画面のキャプチャ機能

(1)については，今回 4 入力まで可能となっているが，実際には，Arduino のアナログポート数まで拡張が可能である．もし拡張が必要な場合には，簡単に修正できるように設計している．ツールの上部にある電，式，参，四と書かれているタブをクリックすると，そのタブに対応した入力をグラフ化できるようになっている．また，選択したタブについては，タブの色も変化し，タブの下側に Active という文字を出すことで，自分がどの入力をグラフ化しているか分かりやすいようにし

ている。他にも、グラフ描画エリアの上部にあるタブの色と同じ矩形エリアに数値として表示することで視認性の向上を行っている。

(2)については、計測ツールの下部にある **Export CSV files** ボタンを押すことで、CSV 形式としてデータが保存できる。保存をやめたい場合には、**Export CSV files** ボタンを押した後に出てくる **Reset** ボタンを押すことで保存を中止することができる。

(3)については、計測ツールの下部にある **Auto Stop & Check** ボタンを押すことで、(2)の機能で保存したファイルを再生することができる。その際に再生ボタンと停止ボタンが出るので自分の好きな場所で停止して確認することが可能である。また、このときにマウスのポインタをグラフ上に持っていき、クリックすることで、そのときの電圧をグラフ描画部分の上部に表示するようにしている。

(4)については、計測ツール下部にある **Save Current Frame** ボタンを押すことで、ボタンを押したときの計測ツールの画面を **png** 形式で画像としてキャプチャが可能になっている。今回の図 16 については、この機能を利用してキャプチャしたものである。

この汎用計測ツールは、現在広く普及しているオシロスコープよりも入力端子が多く、デジタルオシロスコープなどについているデータ保存機能と同等レベルのものを有している。更に、ユーザの使用したい状況などに応じて容易にカスタマイズ可能な点など非常に強力なツールとなっている。

4. 運用状況

現在、以前に開発した教材を用いて本校の電子工学科2年向けに平成25年度の後期から実際に運用を開始している(図17参照)。しかし、運用を開始してさほど実績が無いため、本実験教材に対する詳細なアンケート収集などは行っていない。今年度は、全ての実験が終了後に、実験に関するアンケートを実施し、教材や実験内容にフィードバックする予定である。また、平成25年度から東京大学機械工学科において、ゼミナール教材として本教材を取り入れた実験を行っている。今年度についても、新しく開発した汎用計測ツールなどを組み込んだ新実験テーマを利用する予定となっている。



図 17. 電子工学科2年実験実習で製作した風車

5. 今後の展望

平成25年度までは、高専や大学工学部の低学年層で使用することで自分自身がハードウェア、ソフトウェアどちらの方面に興味をもてるのか、また、その興味のある方面についてのモチベーションを高める効果が期待できるということを重視して教材の開発を行っていた³⁾。今年度開発した教材については、高学年層も利用できるよう平成25年度の内容を更に発展したものとなっている。これらの教材の有効性を確かめるために、今後は、**Web**などで開発した教材や教材を利用した実験テーマ例などを公開し、本校以外での本教材の利用促進を狙いたいと考えている。

また、現在製作している教材は、機械・電気・電子工学の分野に関わるような内容となっているが、製作している教員の専門分野である機械・電子工学科の内容のものが多くなっている。そこで、最終的には、製作した風車を最終的に直列に接続し、発電を行い疑似スマートグリッドの実現(電気工学)や、スポーツドリンクなどの電解質を用いた簡易燃料電池製作(応用化学科)、効率の良い風車設置のための立地条件選出(都市工学科)など、全ての学科に関係するような内容を盛り込んでいきたいと考えている。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費助成金(若手研究(B)25871037)の助成を受けて行われた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- (1) 早稲田一嘉, 立川力, 稲垣照美, 杉森健志: "ペーパークラフト風車の開発と学生による学生のための技術者教育の継続的な実践", 工学教育, J. of JSEE 58-4(2010), pp. 109-114. ,2010.
- (2) 早稲田一嘉, 原宏太朗, 立川力, 飯田誠, 稲垣照美: "風力発電用大型風車のペーパークラフト開発—機械機能及び組み立てやすさの改良—", (社)日本工学教育協会第60回工学教育研究講演会講演論文, 2010.
- (2) 藤本 健司, 早稲田一嘉: "ペーパークラフト風車を用いた実験教材の開発", 神戸高専研究紀要, 第52号, pp.43-47, 2014.