

ペーパークラフト風車を用いた実験教材の開発

藤本 健司* 早稲田 一嘉**

Development of Experimental Teaching Material Using Windmill of Papercraft

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. 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 material for college student, using horizontal axis wind turbine generator paper model and Arduino compatible system board. The teaching material provides the experience about a method of developing the optimal airfoil design of the wind turbine rotor blade with assembling the original wind turbine paper model. And it provides the learning opportunity about a method of developing the simple data acquisition system by using Arduino compatible system board.

Keywords: engineering teaching material, arduino, windmill

1. はじめに

近年、工業製品の多くは、1つの専門分野だけで開発できるほど単純なものではなく、ユーザの要求に対応するため、多くの専門分野が関わり、製品を生産開発しているのが現状である。しかし、将来これらの生産開発に関わ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）の学生のほとんどが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も見られる。

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。つまり、導入教育などの最中に

実践的なものづくりを含む内容を盛り込んだ「理論と実践」を同時並行的に進める授業を提供するという事は非常に困難である。

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機会を広く提供できるような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。

そこで、本研究では、以下の3点を満たしてい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行い、高専や大学の低学年向けに提供することを目的とする。

- (1) 機械、電気、電子など複合分野の知識を利用している製品
- (2) ハードウェアとソフトウェアについて学べる
- (3) 今後拡張が見込めるものである

2. 実験教材用デバイス及びツール

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。ここでは、これらの教材に使用するデバイスやツールなどについて

* 電子工学科 准教授

** 機械工学科 准教授

て説明を行う。

2.1 ペーパークラフト風車 今回用いる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作成されているもの^{(1),(2)}を使用する。実際の風車の概略図を図1に、ペーパークラフト風車の外観とその内部構造を表したものを図2に示す。

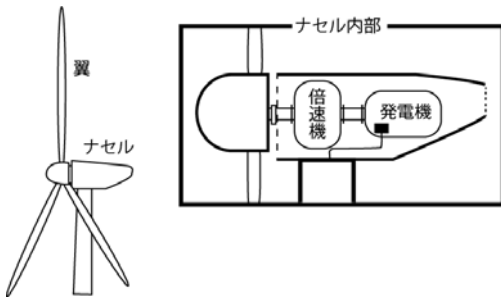
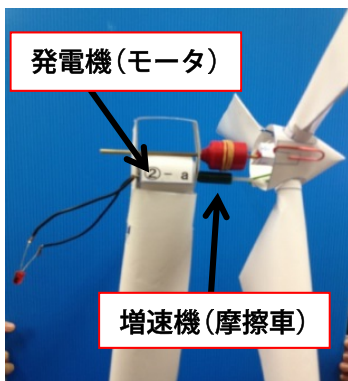


図1 実際の風車の仕組み



(a) 全体像



(b) ナセル内部

図2 ペーパークラフト風車

図1のように、実際の風車は、風車の翼（ブレード）とナセルに分けられる。ナセル内部には、ブレードの回転により発電するための発電機と、増速機と呼ばれる装置が設置されている。この増速機は、通常、ブレ

ードの回転数だけでは発電機を回して十分な発電ができないために、回転数を上げる目的で設置される。

図2に示した今回実験教材として用いるペーパークラフト風車は、「翼型形状を有した水平軸アップウィンド型の大型風車」といえる形状となっており、図1で示した実際の風車の外観と酷似しているものとなっている。発電機は、シャフト部分の一番上に収納されている（図2(b)参照）。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 を用いている。このモータを発電機として使用することで、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している。次に、増速機の機構は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、摩擦車を作成し、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増速を実現している。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取り外せるようにしている。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。

また、このペーパークラフト風車は、本格的な加工技術をもたない学生へのマス教育を前提とし、一般的に入手可能な材料と文房具のみで工作が可能となっている（それゆえ、一般向けの公開講座にも利用可能である）。

2.2 Arduino 次に風車で発電された電圧や各種センサーから得られた信号を処理するために利用する Arduino について説明する。Arduino は AVR マイコンや入出力ポートを備えた基板（ハードウェア）とその基板上のマイコンへのプログラミングやファームウェアの転送を行うためのソフトウェア開発環境（ソフトウェア）からなっている。また、従来提供されていたロボット製造用コントロールデバイスをより安価で簡単に利用できることを目的に作られたデバイスであるため、汎用性は非常に高く、オープンソースハードウェアでもあるため、ハードウェア設計情報も公開されており、自作することも可能である。

今回は、低学年向けの短期間の実験を対象としていることもあり、組み立て済みの基板である Arduino UNO R3(図3)を用いるが、高専の高学年やより長期間にわたる実験などを考えた際には、自作させることで電気・電子的なハードウェアに関する知識を身に付けさせる教材とすることも可能である。

また、ソフトウェアという観点からみると、Arduino の統合開発環境 Arduino IDE(図4)は無料で提供されて

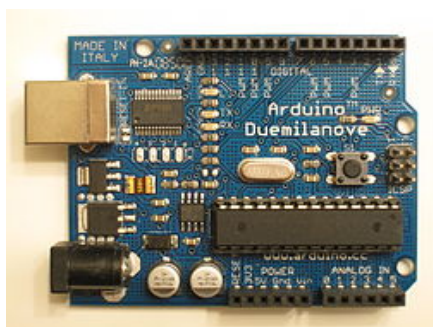


図3 Arduino UNO R3

おり、ソフトウェア開発に不慣れなアーティストなどでも容易にプログラミングできるように開発された Processing と呼ばれる言語をベースに開発環境が設計されている。そのため、プログラミングに不慣れな学生でも十分対応できるものと考えられる。

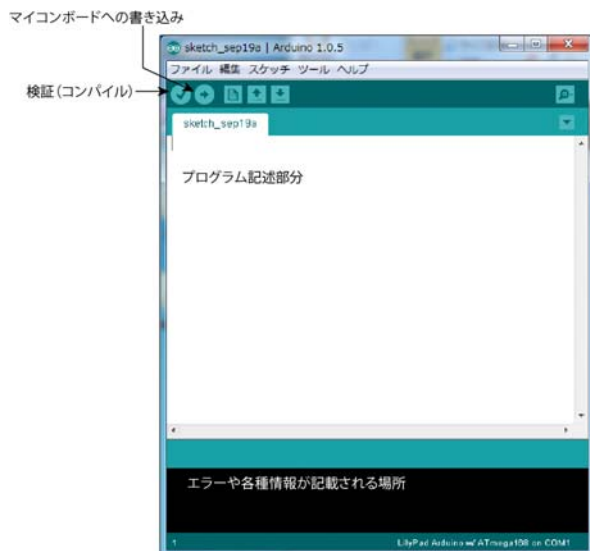


図4 Arduino IDE

2.3 Processing 今回、ソフトウェア教材として Processing(図5)を利用することにした。その理由は、Arduinoの開発環境が Processing を基に設計されていることもあり、Arduinoと相性がよく Processing を用いて Arduino を簡単に制御することができることや、Arduinoのために作成したソフトウェア教材で学んだ内容をそのまま Processing でも利用できるからである。実際には、Processing を用いなくても Visual C++や Java, php など様々なプログラミング言語でもプログラムは可能であるが、これらの言語を利用した場合には、その言語を習熟し、Arduinoを介してハードウェアを制御できるようになるには非常に時間がかかるといった問題点がある。他にも、Processing が優れている点と

しては、電子アートやビジュアルデザインのためのプログラミング言語でもあるため、Arduino から得られたデータをグラフや図などに簡単な命令で視覚化できることが挙げられる。

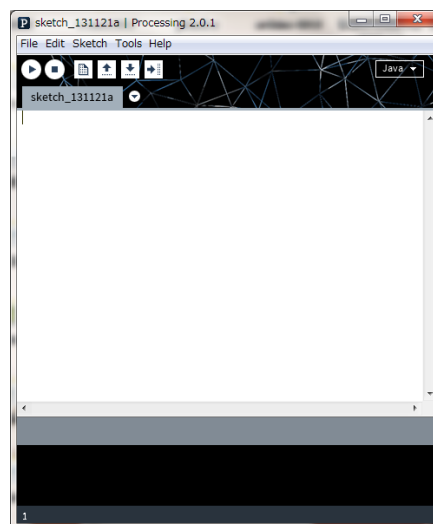


図5 Processing 起動画面

3. 作成した実験教材

3.1 ペーパークラフト風車用組立説明書 今回、ハードウェア用の教材として、ペーパークラフト用風車の組立説明書(図6)を作成した。ペーパークラフト風車を作成しやすいように図を豊富に取り入れることで、使用者が分かりやすい内容になっている。

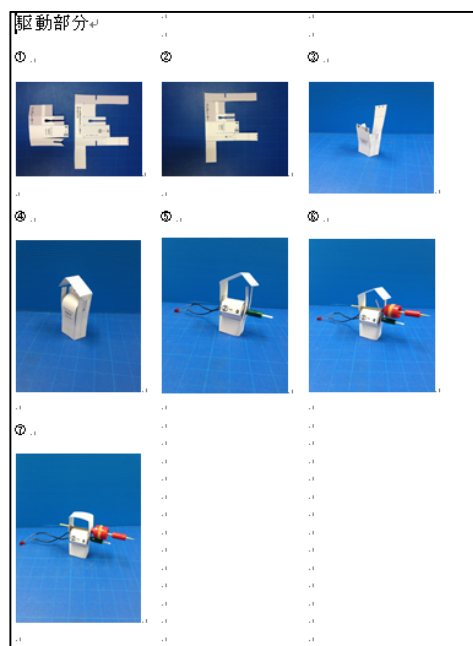


図6 組立説明書(一部)

また、実験を行う対象によって、幾つかの説明書を用意しており、例えば、専門の学生には、内容などについても理解できるような図と内容説明からなる説明書を配布し、専門ではない学生については、図を多く取り入れた説明書を配布するなど使用用途や対象のレベルに応じて配布する説明書を変更できるようにしている。そのため、工学系はもちろんのこと文系や一般の中高生にも利用することの出来る幅広い教材に仕上がっている。

3.2 プログラミング手順説明書 今回作成したプログラミング用教材の内容としては、大きく分けると以下ようになる。

- (1) Arduino の使用方法
- (2) LED を用いた実験（デジタル入出力）
- (3) アナログ入力を読み取る方法
- (4) シリアル通信の原理とその準備
- (5) シリアル通信の方法
- (6) Processing を用いたデータロガー
- (7) イベント処理（キーボード、マウス）
- (8) Processing を用いた視覚化（背景色の变化）
- (9) Processing を用いた視覚化（図形描画）
- (10) 配列に関する処理

(1)から(5)の前半までは、Arduino についてのプログラミング、(5)の後半から(10)までは Processing のプログラミングになっている。実際には、それぞれ各項目ごとに更に細分化されており、実践的なサンプルプログラムや演習問題を多く取り入れた教材となっている。(1)から読んでプログラムを作成していくことで、プログラミング初学者でも自然と Arduino や Processing の知識やプログラミングの技術が身につくように構成してある。(1)～(10)まですべて終了すれば、センサを用いて計測したものを PC などに表示することの出来る計測ツールが作成できる能力が習得できるようになっている。プログラムを専門としている実験対象者については、より深い知識が身につくように、詳細な解説を用意しており、演習問題についてもプログラミングのレベルに応じて様々な解答が可能ないようにしている。

また、この教材は、受講者用と指導者用の2種類を準備しており、指導者用には、サンプルプログラムの詳細な解説や、間違いやすい点の指摘、他にも受講者のレベルに応じた演習問題の解答が記載されている(図7参照)。

4. 実験について

4.1 実験内容 今回、この実験教材を用いる対象として、本校、電子工学科2年生の電子工学実験実習を考えた。この科目は、2コマの実験（1コマ90分）

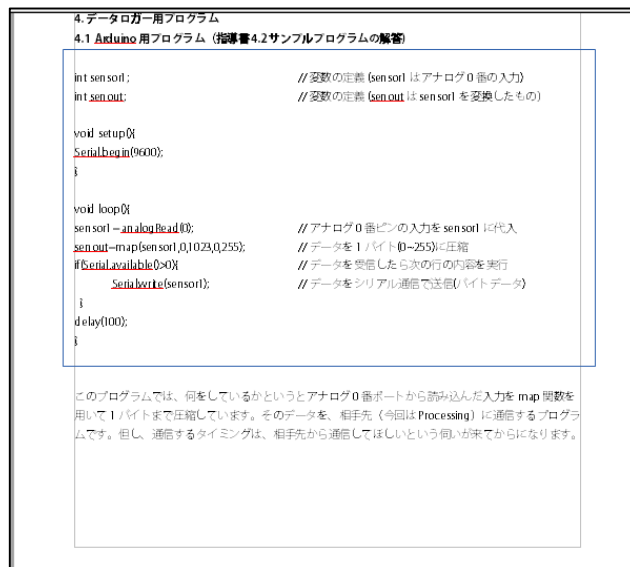


図7 実験指導者用解答集（一部）

を3週に渡って4テーマ行うことになっている。そこで表1のような主テーマと各週のテーマを設定し、実際に2013年10月の後期から運用を開始した。

表1 電子工学科2年生用実験テーマ

実験テーマ	ペーパークラフト風車を用いた発電実験
1週目	ペーパークラフト風車の製作
2週目	Arduino と Processing の基礎練習
3週目	観測用ツールの製作

1週目は、ハードウェアの実験となっており、先述した図6のような組立説明書を参考にしながら各自ペーパークラフト風車を製作する。製作終了後には、ペーパークラフト風車についているLEDが最も光るように翼の調整などを行う。

2週目は、風車から発電された電圧をArduinoで受け取り、Processingを利用して作成したプログラムでPC上に視覚化させるために、先述したプログラミング用教材を用いてArduinoとProcessingに関する基礎実験を行う。この実験では、座学的な教え方をするのではなく、風車の発電機の代わりに直流安定化電源をArduinoと接続し、いろいろな段階を踏みながらArduinoを用いて計測値を取得する方法やシリアル通信を行う技術を実践的に習得していくようになっている。Processingでは、主にArduinoからシリアル通信で受け取ったデータを扱う技術を身に付けられるような内容になっている。また、データの記録や視覚化に関する技術も学べるようになっている。

3週目は、1週目に作成したペーパークラフト風車と

Arduino を接続し、実際にペーパークラフト風車が発電した電圧の様子を 2 週目に使用した Processing などを用いて観測することの出来るツールを製作する実験となっている。3 週目に関しては指導書のようなものではなく、2 週目に培った技術を利用して各自製作させるようになっている。作成したツールの 1 例を図 8 に示す。このツールは、ボタンを押すことで発電された電圧の記録を行うことができ、また、その様子をグラフとしてあらわすことができる。他にも、キーボードの特定のキーを押すことで、その時のツール画面を画像としてキャプチャできるようになっている。



図 8 作成した観測ツールの例

5. 運用状況

先述した通り、本教材を用いて現在本校の電子工学科 2 年向けに 10 月から実際に運用を開始している。運用形態としては、約 40 名の学生をそれぞれ 4 グループに分け、各グループ 3 週毎に入れ替える方式になっている。現在、1 グループ目が全ての実験を終えた状態であるが、どの学生も問題なく実験を終えることができたという報告を受けている。図 9 は、実際に学生が作成したペーパークラフト風車である。

また、実験を行った学生からは、プログラミング教材などが非常に分かりやすかったという声があがっており、今回作成した教材が学生に受け入れられていると思われる。

今回はまだ、運用途中ということもあり、学生や指導教員からの意見などが集計できていないが、全てのグループが終了後にはアンケートを実施し、実験内容や教材の改良にフィードバックする予定である。

6. 今後の展望

今回、電子工学科 2 年を対象に作成した教材を用いて実験を行ったが、本教材は、若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



図 9 作成したペーパークラフト風車

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考えており、キャリア教育にも利用できるのではないかと期待している。今後は、可能であれば全学科 1 年生などにこういった教材を用いた実験を行っていきたいと考えている。

そのためにも、今回作成した風車を最終的に直列に接続し、発電を行うことで疑似スマートグリッドの実現（電気工学科）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作成（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