

# プロトタイピング技術習得のための教材開発

藤本 健司\* 早稲田 一嘉\*\*

## Development of Teaching Materials for Prototyping Technology Learning

Kenji FUJIMOTO\* Kazuyoshi WASEDA\*\*

### ABSTRACT

In recent years, prototyping technology has attracted attention. Especially, rapid prototyping using the 3D printer is very famous. This rapid prototyping has brought a big change to the manufacturing industry. This method does not require a metal mold when creating a prototype. Therefore, companies are able to save costs and the work period could be shortened. In addition, there is also a method of using a Arduino and Raspberry PI as other prototyping technology. This method is used to create the devices using sensors, and prototype of robots. In the future, these techniques are required in various companies and fields. However, it is difficult to learn these technologies in higher education institutions. Therefore, we developed the teaching materials using the 3D printer and the Arduino, for learning the prototyping technology.

*Keywords:* prototyping technology, teaching material, arduino, 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、この数年でこれらを用いて企業内のハードウェアやソフトウェアに関する開発設計の現場は大きく変化してきている。その中でも、ラピッドプロトタイピングとして知られている3DCADと3Dプリンタを用いた開発手法は、製造業界に大きな変革をもたらしている。ラピッドプロトタイピングでは、試作品を作成する際に、従来のように金型を必要とせず、3Dプリンタを用いるため完成品をすぐに確認できたり、仕様の変更にも柔軟に対応できるといったメリットがある。また、金型を製作しないで済むため、工期の短縮や経費の削減にも役立つことが分かっている。

他にも、このような3Dプリンタを用いたラピッドプロトタイピング以外の手法がいろいろと検討されている。その中の1つにArduinoやRaspberry PIなどを利用した試作品の開発が挙げられる。これらは、現在、工場などで利用されるセンサーを用いた検査機器や汎用ロボットの試作などに用いられることが多い。先述のラピッドプロトタイピングを含め、これらを総じて

プロトタイピングと呼ぶが、ここ数年、これらの技術の重要性は増しており、各企業においては、プロトタイピング技術を身に付けた人員の育成や確保に力を入れている。しかし、資本の少ない中小企業においては、人材の育成の余裕がないことが多く、新しく育成することができない企業も多い。

このような中、高等教育機関におけるプロトタイピング技術の習得が望まれているが、現在のところ、3DプリンタやArduinoに関する実習がある高等教育機関はそれなりにあるものの、それらを組み合わせた統合的な実習教材などはほとんどないのが実情である。

そこで、本論文では、現在までに開発していたペーパークラフト風車<sup>(1)(2)</sup>を用いた実験教材を改良し、3Dプリンタ及びArduinoを用いたプロトタイピング技術習得用教材の作成を行ったので報告を行う。本教材は、高等教育機関での利用はもちろんのこと人材育成のため使用を希望する企業でも自由に利用できるようにする予定である。

### 2. 実験教材について

今回提案するプロトタイプ技術習得用教材は、利用する対象者に応じて難易度を選択できるように作成している。図1にその例を示す。例えば、一番左側にある、ペーパークラフト風車とArduinoの組み合わせでは、Arduinoの基本的な操作を風車を用いることで習

\* 電子工学科 准教授

\*\* 機械工学科 准教授

得が可能である。また、ペーパークラフトと QBlade と 3D プリンタの組み合わせでは、ペーパークラフト風車において効率的な翼の形状を実験により探しだし、その形状を QBlade を用いてシミュレーションを行ったり、3DCAD データの作成が行えるため、実際に 3D プリンタを用いて風車の翼を作成することが可能であり、簡単なシミュレーション技術や 3D プリンタの操作を身に付けることができる。

最終的には、3DCAD を用いて風車を設計し、各種センサーを Arduino と連携させた教材を作成する予定であるが、今回は、点線部で示された組み合わせと、実際に 3D プリンタで作成した風車を用いる教材について説明を行う。

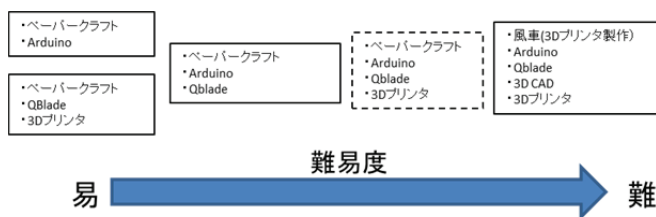


図 1. プロトタイピング用教材の組み合わせ例

2.1~2.4 に今回の教材開発に用いた各種機器やツール、教材などを説明する。

**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を使用する<sup>(1)(2)</sup>。本風車内部は、図 2 のように増速機と発電機を有しており、実際の風車の仕組みとほぼ同じ構造を模している。また、風車の種類も図 3 のような水平軸型（アップウィンド）風車の他にも垂直型風車などがある。また、これらに各種センサーをつけることのできるモデルも作成している。

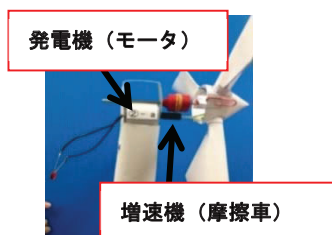


図 2. 風車の内部構造



図 3. 水平軸型風車（アップウィンド型）

**2.2 QBlade** 本研究では、QBlade と呼ばれる風力タービン解析ソフトウェアを用いて風車の翼の解析や設計を行う。QBlade は、2次元翼型解析ソフトとして有名な XFOIL を内包している。XFOIL はフリーの解析ソフトとして非常に有名であるが、CUI で扱うことを前提として作成されているため、初心者が扱うのは非常に困難であるという欠点があった。しかし、QBlade では、その欠点である部分を GUI を用いることで克服しており、初心者でも直感的に扱うことの出来るソフトウェアとなっている。この QBlade を用いて実験用教材では、以下のようなことを行うようにしている。

- (1) 翼型の解析
- (2) ブレードの設計
- (3) 性能解析
- (4) 3DCAD データファイルの作成

図 4 に実際に QBlade を用いて製作した一例を示す。



図 4. 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

**2.3 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。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、Arduino を用いて試作品を作成した場合、必要な部分だけを抜き出して実際の回路を容易に作成することができる。現在、Arduino は様々なバージョンが存在しているが、今回は、図 5 に示す Arduino UNO R3 を用いている。この機種は、永久保証がついているため、教材として用いる際の保守性も高いことが挙げられる。

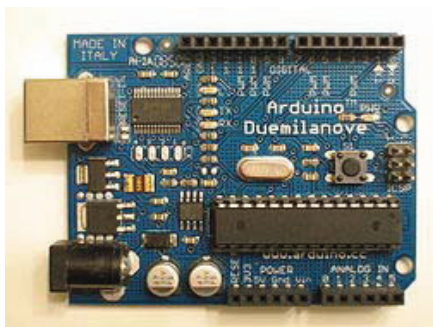


図 5. Arduino UNO R3

**2.4 3Dプリンタ** 今回使用した3Dプリンタは図6に示すMF-1000（ムトーエンジニアリング社製）と図7に示す3D Touch（BITS FROM BYTES社製）の2種類の3Dプリンタを用いた。両方とも熱溶解積層方式である。



図 6. MF-1000（ムトーエンジニアリング社製）



図 7. 3D Touch（BITS FROM BYTES社製）

現在、3Dプリンタは様々な種類が発売されているが、今回使用する3Dプリンタとしては、手に入りづらいハイエンドクラスのものではなく、20万円～50万円程度のローエンドクラスからミドルエンドクラスのものを選択している。

### 3. 作成した実験教材

次項より、図1に記載している今回開発した教材について説明する。

#### 3.1 QBladeを用いた設計開発教材 QBladeを用い

た設計開発教材については以下の6つのステップから成り立っている。

- (1) 翼の設計
- (2) 翼の解析 (XFOIL)
- (3) 回転翼の設計
- (4) 回転翼の解析
- (5) 3Dデータの作成
- (6) 3Dプリンタを用いた回転翼の作成

以下にそれぞれのステップについて説明を行う。

(1)の翼の設定では、図8のように2次元で翼を設計する。水平軸型、垂直軸型用の翼のテンプレートがあるため、最初はそちらを選択する。その後、翼の幾つかの主要な部分のポイントをマウスで移動させることで簡単に形状を変化させることができる。また、より詳細に設計することもモードを変更することで容易に対応することができる。

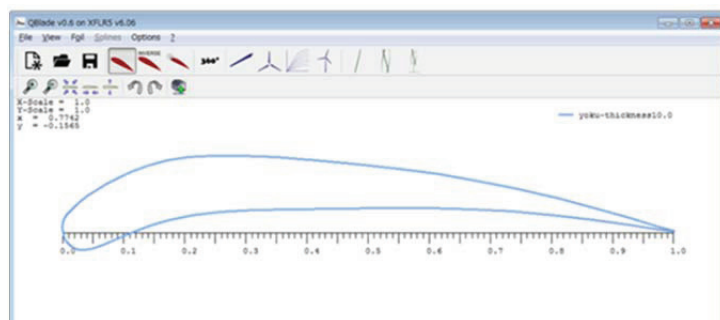


図 8. 翼の設計画面

(2)の翼の解析として、QBladeでは図9のように(1)で作成した翼の特性を解析することができる。解析用のパラメータも右画面の設定項目から変更することができる。

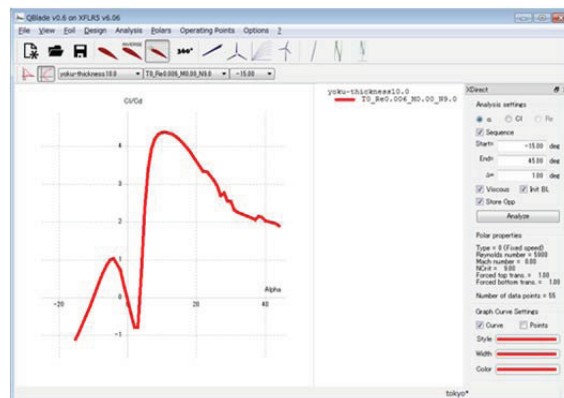


図 9. 翼の解析画面

(3)の回転翼の設計では、図10のように実際に回転する翼を3Dで作成することが可能である。この作成

についても 3DCAD の知識が無くても、翼を幾つかのパートに分けて自由に変形させることができる。

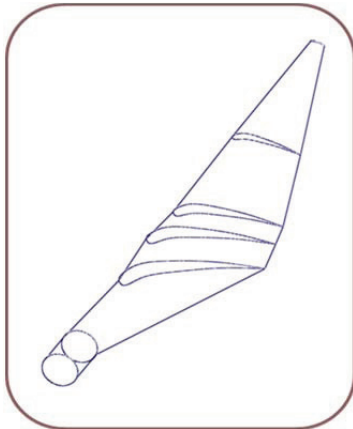


図 10. 回転翼の設計

(4)の回転翼の解析では、図 11 のように(3)の 3D データを用いて回転翼の解析を行うことができる。この結果を(3)にフィードバックさせ最適な回転翼を作成していくことが可能である。また、解析自体は解析用のボタンを押すことで自動で解析を行ってくれる。

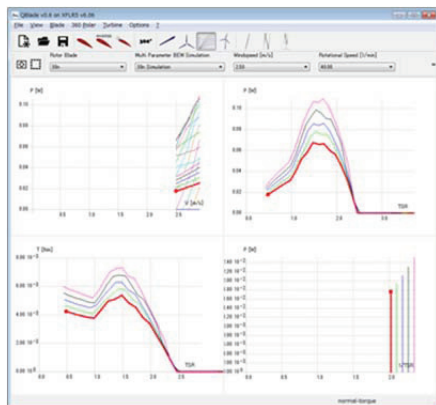


図 11. 回転翼の解析

(5)の 3D データの作成については、(3)で作成した 3D モデルをそのまま 3DCAD 用のデータとして図 12 のように外部データとして保存することができる。このデータを用いることで 3D プリンタで風車の回転翼を作成することができる。

(6)では、(5)で作成したデータを基にして 3D プリンタを用いて作成していく。(1)~(6)の過程を行うことで 3DCAD の知識が無くても風車の翼の設計や解析を行うことができ、3D プリンタの操作の習得を行うことができる。

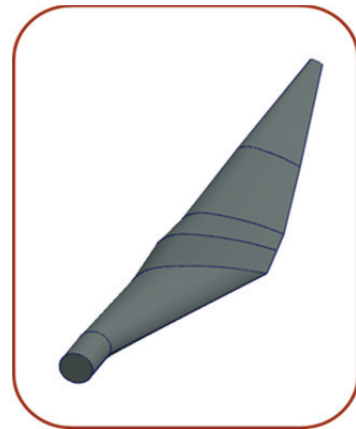


図 12. 3D データの作成

**3.2 風車組立用簡易パーツ(3D プリンタ製作)** 今回、ペーパークラフト風車との比較を行うために、実際に 3.1 の QBlade で作成した風車の回転翼を設置することの出来る風車組立パーツの 3D データを作成した。実際に作成したデータを図 13 に示す。

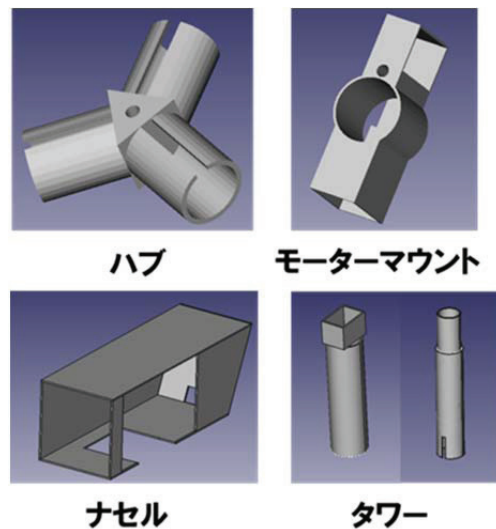


図 13. 風車組立用簡易パーツ(3D データ)

このパーツを前もって 3D プリンタで印刷して組み立てることで、風車の回転翼のみに着目した実験を行うことができる。また、このデータ自体は簡易な構造をしているため、実際にこのデータを参考にしつつ 3D CAD の練習を行うことができるようになっている。実際に組み立てたものを図 14 に示す。

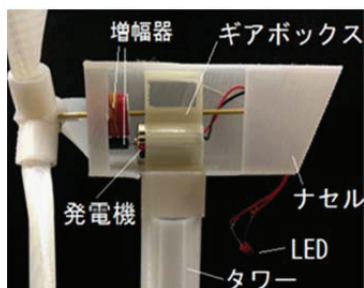


図 14. 風車簡易モデル(3D プリンタ製)

この作成した風車の内部構造は、図 3 に示したペーパークラフト風車の内部構造と同じ構造となっており、比較がしやすくなっているのが特徴である。

**3.3 風車組立用パーツ(3D プリンタ製作)** 3.2 で作成したのは、3DCAD の知識が無い人向け用の簡易パーツ(図 13)であったが、より高度な組立用パーツとして図 15 のようなパーツを準備した。本教材は、3.2 で使用したパーツを 3DCAD を用いて作成できるようになった受講者向けの教材となっている。具体的には、3.2 のものに比べて摩擦車をギアに変更し、竹ひごで作成していたシャフト部分など風車のほぼ全ての部分を 3D プリンタを用いて作成している。そのため、図 13 に示されるパーツでは、どうしても組立時に各パーツとの結合部分に隙間などができてしまい強度が落ちてしまう欠点などがあったが、そういった欠点が解消されたものとなっている。特に、ブレード部分を接合するハブの部分の構造を大幅に変更したことで装着の簡易化に成功した上で強度の向上も実現することができた。



図 15. 風車組立用パーツ

実際に、図 15 のパーツを用いて作成したのが図 16 の風車モデルである。全てのパーツを 3D プリンタで作成したため重量が増加してしまっただが、強度が向上したため、安定して風を受けて風車が回転できるようになっている。



図 16. 図 15 を用いた風車モデル

**3.4 Arduino 用プログラミング手順説明書** 今回利用する Arduino 用のプログラミング手順書を作成した。これは、現在、本校電子工学科 2 年の実験で使用されている Arduino 用のプログラム手順書<sup>(3)</sup>に、各種センサーなどが取り扱えるように応用的な部分まで記載されたものになっている。以下に内容を記載する。

- (1) Arduino の使用方法
- (5) LED を用いた実験 (デジタル入出力)
- (6) アナログ入力を読み取る方法
- (7) シリアル通信の原理とその準備
- (8) シリアル通信の方法
- (9) Processing を用いたデータロガー
- (10) イベント処理 (キーボード, マウス)
- (11) Processing を用いた視覚化 (背景色の変化)
- (12) Processing を用いた視覚化 (図形描画)
- (13) 配列に関する処理
- (14) サンプルプログラム (曲げセンサー: 回路図付)
- (15) サンプルプログラム (回転計: 回路図付)
- (16) サンプルプログラム (距離センサー: 回路図付)

この手順書には Arduino の他に、データを視覚化するために Processing のプログラミングの内容も含まれている。初心者でもステップアップしながら学べる内容となっており、プログラム初学者である本校電子工学科 2 年の学生でも問題なく、この手順書を読みながら(1)~(13)までの内容を修めることができている。追加されている(14)から(16)においては、センサーの利用方法や回路図の作成方法についても記載されており、これらのセンサーを用いた実践的なプログラミングを組むことができるようになっている。

**3.5 汎用計測ツール** Arduino で計測した各種センサーの値を可視化することは試作品開発などを行う上で非常に有用である。この可視化の技術については 3.4 の教材を使うことで習得可能であるが、ソフトウェア

技術の習得に時間をかける必要のない場合のために、汎用計測ツールを作成した。このツールは、今回の教材で利用できる発電電圧測定、距離センサによる距離測定、ひずみセンサによる荷重計測などが行えるようになっている。また、独自にセンサー計測を行うことができるように拡張可能となっている。図 17 にメニュー画面、図 18 に計測画面の例を示す。



図 17. 汎用計測ツールメニュー画面



図 18. 電圧測定画面

図 18 に示すように、現在使用可能な CH は 6CH としている。それぞれ同時に画面に表示することも個別に画面に表示することも可能である。また、それぞれのデータを記録することも可能となっており、計測後に、データの検証を行うことが可能である。図 18 のケースでは時間(ms)と電圧(V)が出ているが、時間の精度としては、Arduino 側の各アナログポートの入力速度が実測で約  $110 \mu\text{S}$  (10 回平均: プログラム内のループ処理時間含む) となっており、ms オーダの計測であればさほど問題が無いと考えられる。

#### 4. 運用状況及び今後の展望

現時点では、3.1～3.5 で説明した教材が作成できている。一部の教材については運用しているが、まだ全ての教材を用いた運用までは行っていない。まずは、現在、本教材の一部を利用している電子工学科の学生からの利用アンケートの結果を基に教材の修正を行い、来年度から実施予定の機械工学科の実験実習にフィードバックしていきたいと考えている。

その後は、実際に高学年の学生向けの実験への導入や、本校だけの利用に限らず、外部向けに Web など

提供を行うことで、本教材の有用性を確認して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
- (3) 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.