

3D 風車モデルを用いた工学教育教材の開発

藤本健司* 早稲田一嘉**

Development of Engineering Education Teaching Materials Using the 3D Model Windmill

Kenji FUJIMOTO* Kazuyoshi WASEDA

ABSTRACT

In recent years, countries around the world are focused on the training of engineers. Especially industrially advanced nations have focused on the training of information technology (IT) engineers. IT engineers and other Engineers require the logical thinking. In Japan, programming class on primary education institutions is being considered for logical thinking acquisition. However, most of teaching materials are not corresponding to the programming for practical engineers. It is difficult to acquire the logical thinking and practical technic from these programming materials. We developed the teaching materials using 3D printer and Arduino, for learning the logical thinking acquisition and practical technic.

Keywords : simulation, experiment, Arduino, 3D printer, wind mill

1. はじめに

現在、政府の成長戦略に小中学校におけるプログラミング教育が盛り込まれており、すでに2012年から中学校の技術家庭科では「プログラムによる計測・制御」が必修化されている。そして、2020年からは小学校でのプログラミング教育の必修化を行う流れとなっている。これらは、今後不足していくであろうIT技術者やものづくりに関わる技術者の育成を目的にしているが、未だ実施方法など検討課題が多く、問題が山積みになっている。

そのような中、子供向けプログラミング言語であるScratchなどの言語が注目されているが、これらの言語はあくまでもプログラミング作法の習得に特化しており、実際の機器と連携したプログラミングなどには向いておらず、論理的思考の獲得、及び、実践的技術の習得には向いていない。

そこで、本研究では、論理的思考や実践的技術の習得を行えるように、センサを用いたプログラミング教材の開発及び実験教材の開発を行うことを目的とする。本論文では、今回製作した教材の有用性の検討と紹介

を行う。

2. 提案する教材

2.1 提案する教材の狙い 本研究室では、神戸市立工業高等専門学校機械工学科の早稲田研究室と共同で様々な工学教育用教材の開発を行っている^{(1)・(3)}。現在までに、開発・製作しているものを図1と図2にそれぞれ例を示す。

ハードウェア
1. ペーパークラフトの風車の製作
(a)風車の種類
・水平軸型風車 (ダウンウインド型)
・水平軸型風車 (アップウインド型)
・垂直軸型風車
(b)翼の形状変化による発電実験
(c)風車の回転数測定
2. 3Dプリンタを用いた風車モデルの製作
(a)翼形状による発電効率の変化
3. Arduinoを用いた回路設計
(a)各種センサを用いた回路
・圧力センサ
・電流モジュール
・歪センサ
・曲げセンサ など
(b)Arduinoの自作

図1 ハードウェア教材例

* 電子工学科 准教授

** 機械工学科 准教授

ソフトウェア 1. プログラミング (a)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 2. ソフトを用いた計測&シミュレーション (a)Qblade (フリーソフト)を用いた解析 (b)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

実験などに利用する場合には、テーマにあった内容の教材を選択してもらうことで自由度の高い実験が提供可能となっている(図3参照)。また、対象についても、小学生向けの出前授業から大学などの高等教育機関での実験実習まで幅広く対応可能であるのが特徴である。

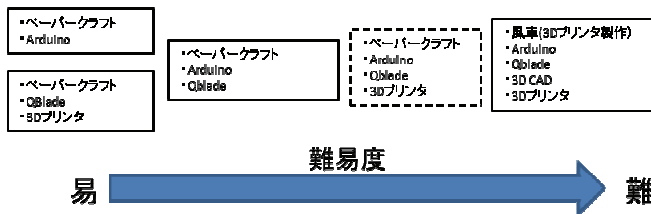


図3 テーマの組み合わせ例(難易度別)

今回提案する教材は、今までに制作してきた教材と違い、実験や計測だけで終わる教材ではなく、シミュレーションと実験による検証を行うことのできる教材として、実際の産業機械である風力発電のタービンブレードのたわみを3Dプリンタ模型で再現することで、材料力学の基本であるはりのたわみ、分布荷重、ヤング率などを具体的にイメージしやすくなる教材の開発を行った。このことにより、次世代生産システムが現実的になりつつある時代に合ったエンジニアリングの一連のプロセスを体験できるものとなっている。

2.2 風車と材料力学の関係性のモデル化 風車は、風を受けて運転しているときには、図4に示すようにタービンブレードに力を受けている。これは、各タービンブレードが片持ち梁(分布荷重)となっていると考えられる。停止しているのであれば、片持ち梁の分布荷重は簡単に求めることができるが、運転中の風車のブレードは回転している。このときのたわみを計測するには、通常では難しい。例えば、スリップリングを用いることで計測は可能となるが、多少高価であることとスリップリングを入れることで摩擦が生じてしまうという欠点がある。そこで、モニタリングを行う仕組みを全てロータリーブレードの中に入れることで完

結できるのではないかと考えた。

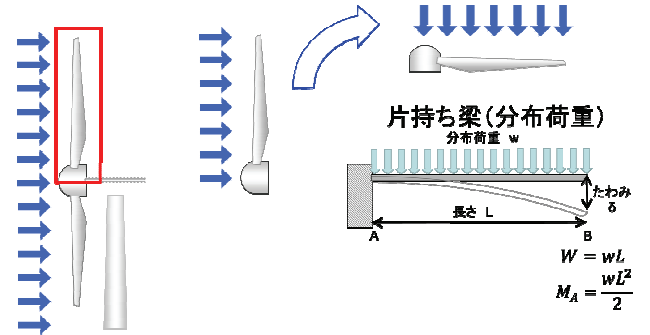


図4 風を受けて運転しているときの風車

3. 使用機器

3.1 3D プリンタ 今回教材を製作するために図5に示すような2種類の3Dプリンタを用いた。3Dプリンタ



図5 3Dプリンタ(左:MF-1000, 右:MF-2200)

を用いて計測装置を内包できる風車の製作、及び、測定用タービンブレードの製作を行った。MF-1000は1ノズル、MF-2200は2ノズルタイプとなっており、製作するパーツの大きさや使用するフィラメントなどの違いにより使い分けている。

3.2 QBlade 解析に使用したソフトで、フリーソフトでありながら、XFOIL内包した風力タービン解析ソフトウェア(GPL: David Martin)である。GUI(グラフィカルユーザーインターフェース)で直感的に扱え、翼形状の解析、ブレードの設計及び性能解析(図6参照)、ブレードのデータファイルの作成など様々な機能が使用可能である。今回提案する教材では、3DCADの知識がなくてもブレードの設計が行えるブレード設計機能と、シミュレーションのためブレードの応力解析機能を使用した。

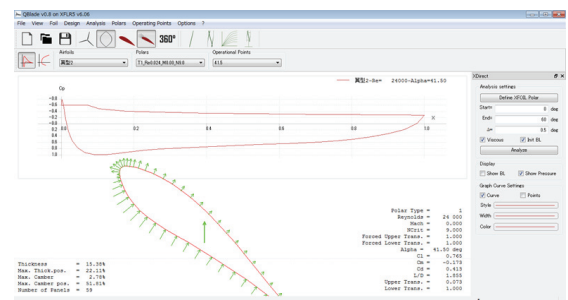


図6 QBlade 実行画面(ブレード設計)

3.3 3D CAD FreeCAD オープンソースの汎用 3D-CAD モデラーである。製品設計の他にも建築や船舶工学などで使用されることも多く、信頼性も高い。また、簡単な FEM 応力解析が可能となっている。今回はブレード以外の部品の CAD に使用した。ブレード以外の部品についてはある程度 3D-CAD の知識が無ければ難しいため、風車本体の部分についてはデータとして提供する予定となっている。図 7 は、実際に設計した風車のブレードを収納するハブの部分のデータである。

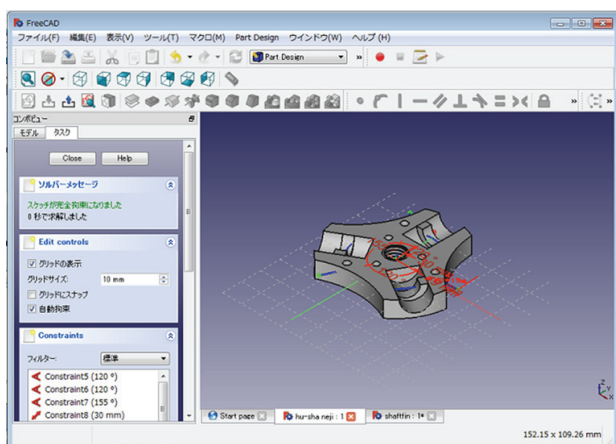


図 7 ロータリブレード用ハブの設計

3.4 ブレードたわみ測定関連の電子部品等

3.4.1 曲げセンサ 今回使用した曲げセンサを図 8 に示す。全長は 55mm となっている。これをブレードに貼り付けることで使用する。歪みなどを測定するときには、小さなボタン形状のものを使うことも多いが、今回は、点ではなく、面で測定したいということと測定用ポート数に限りがあるためこのような直線状のセンサを用いている。



図 8 曲げセンサ

3.4.2 マイクロプロセッサ関係 データの計測のために図 9 に示す機器を用いた。Arduino Pro mini は、風車内部に内包させるために選定を行った。3.3V 駆動にした理由としては、乾電池 2 本、または、ボタン電池などで駆動することができ、風車の挙動に影響を与えないからである。また、計測中直接計測機器と PC などと線を結線すると線とタービンが絡まってしまうということもあり、記録用にマイクロ SD を利用する予定である。そのために、マイクロ SD スロット DIP 化キットを用いている。Arduino Uno R3 については、実装前の予備実験のために使用した。

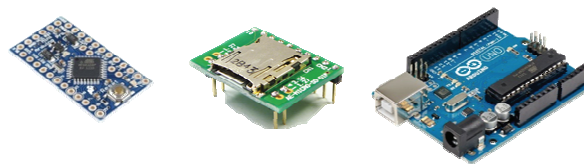


図 9 計測用電子機器

(右: Arduino Pro mini, 中: マイクロ SD スロット, 左: Arduino Uno R3)

なお、ソフトウェアについては、Arduino IDE を用いてプログラミングを行い、可視化には Processing を用いた。

4. 開発結果

4.1 3D プリント風力タービン模型 今回教材として開発した 3D プリント風力タービン模型を図 10 に示す。このモデルが今まで本研究室で開発してきたモデル⁽⁴⁾⁽⁵⁾と一番大きな違いを有しているのが、スピナーキャップの部分とシャフトに内蔵された電池ボックスの部分となっている。

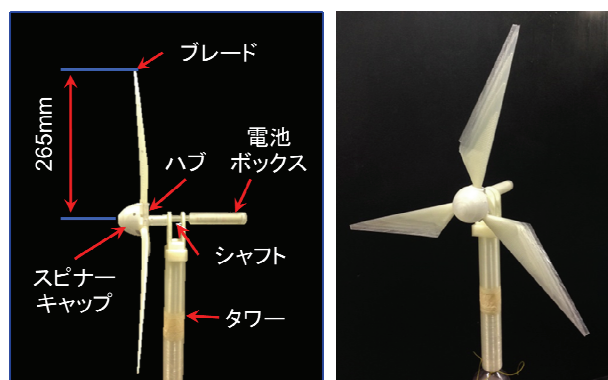


図 10 3D プリント風力タービン模型

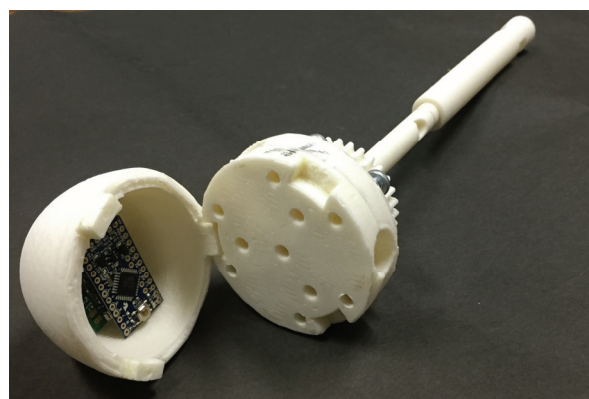


図 11 スピナーキャップ部分とシャフト部分

図 11 にスピナーキャップ部分とシャフト部分の画像を示す。図を見ると分かるようにスピナーキャップ部分に計測用のマイクロプロセッサとマイクロ SD スロットが搭載可能となっている。他には、ブレードに付ける曲げセンサからの線がスピナーキャップ内部に引き込めるように引き込み用の小

い穴が開けられているのが特徴である。また、計測用プログラムに変更があった時に簡単にマイクログロッサが取り出せるようにスピナーキャップ部分は簡単に取り外しができる機構になっている。次に、電池ボックスを内包しているシャフト部分であるが、スピナーキャップのある前部との重量バランスや回転モーメントに影響の無いように電池とシャフト内部との隙間がほとんど無いように製作し、電池ボックスの配置の調整を行った。

4.2 ブレード用フィラメントの選定 今回タービンブレードに使用する材料として表 1 に示すようなフィラメントを準備した。実際に製作してみたところ、ABS と PLA についてはヤング率が非常に高く、扇風機程度の風速(1.5~4.0m/s程度)ではたわみがほぼ確認できなかったため、今回の材料からは除外することになった。また、他の3種類については3Dプリンタメカの説明では安定せず、ばらつきが出るということであったので実際に製作してみたところ、表1の上から4番目の材料である熱可塑性ポリウレタンでは、扇風機程度の風速でも十分たわみが出る事が確認できた。そのため、今回はこのフィラメント材料を用いてブレードを製作している。

表 1. ブレード用フィラメント一覧

種類	密度[kg/m ³]	ヤング率[MPa]
ABS	1060	2275
PLA(ポリ乳酸)	1210	3640
SB(スチレン・ブタジエン)	950	2~10
熱可塑性ポリウレタン(NiniaFlex)	1200	15.2
TPC(熱可塑性ポリエステル エラストマー)	1060~1220	95

4.3 Arduino を用いたたわみ計測系の開発 風車のブレードに曲げセンサを両面テープで固定し、図 12 の回路を製作した。電圧分圧するために曲げセンサと Arduino の間に 10kΩ の抵抗を挟んでいる。この抵抗値については、測定値の結果によって変更しても問題ない。

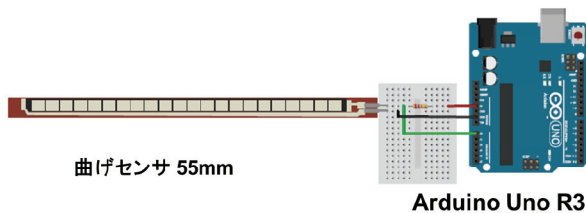


図 12 計測装置の回路概要

この回路を用いて、実際にブレードに扇風機の風を当てたときにブレードのたわみによる抵抗変化の様子を Arduino へ入力が可能かを確認した。その様子を図 13 に示す。その結果、扇風機の風速でブレードがたわみ、その抵抗変化を検出することが可能であることが分かった。



図 13 Arduino とブレードを用いた予備実験

次に、抵抗変化より実際にかかっている荷重を算出するために、曲げセンサの特性測定をブレードを用いて測定を行った。これは、曲げセンサを装着したブレードに様々な錘を載せることで荷重と抵抗値の変化をグラフ化した。この結果を表 2 と図 14 に示す。今回検出された抵抗値は測定時にブレードの揺れなどによるばらつきが出るため、20 回測定した平均値を用いている。その結果、特性としては、線形特性が得られた。そして、今回得られた特性から曲げセンサの抵抗値からかかっている荷重を算出可能であることが分かった。また、画像解析の結果、4.5g のときにたわみ角 10° (先端たわみ量約 23 mm)、9.0g のときにたわみ角 13° (先端たわみ量約 30 mm) の結果が得られた。通常、このような曲げセンサや歪センサなどを用いる場合には、対象物の表と裏にセンサを用いてブリッジ回路を製作することで検出を行うことが多いが、今回は、特性がある程度取ればよいという考えで行っているためそこまで詳細な検証は行っていない。今後、より高度な教材とする場合には、そういった手法も含めていく予定である。

表 2 曲げセンサーの特性測定結果

質量[g]	抵抗値[kΩ]
0	67.70
1	69.17
2	70.00
4.5	71.03
6.5	73.92
9	76.26

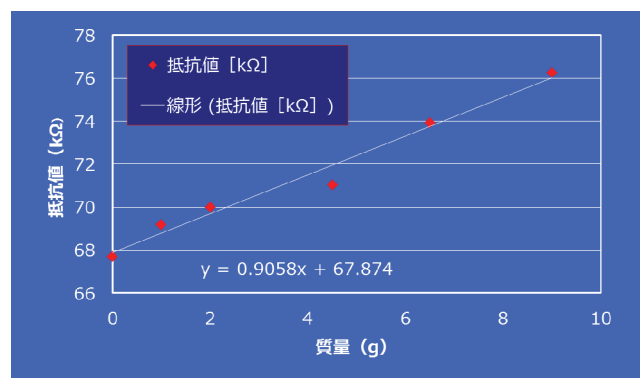


図 14 曲げセンサの特性測定結果

4.4 QBlade によるブレード応力状態の解析 今回使用したフィラメント材料のヤング率などを用いてブレード応力状態の解析を QBlade にて行った。その結果を図 15 に示

す。この結果より、先端荷重が約 9gf のときに先端たわみ量が約 22 mm になることが分かった。これは、実際のブレードの方がたわみ量が大きくなるという結果が得られた。また、扇風機の風速である約 4.0m/s のときの結果を図 16 に示す。この結果、先端たわみ量は約 4.5mm という結果が得られたが、実際のブレードのたわみ量についてはシミュレーション結果に比べてもう少し大きくなっていることが分かった。今回、シミュレーション結果が実際の結果に比べて全体的に小さくなってしまった原因としてはシミュレーションの解析条件がよくなかった可能性が考えられる。特にヤング率については、4.2 節でも説明したように造形したものとフィラメント材料そのもののヤング率にばらつきがあるということだったのでこの部分が問題になっている可能性もあり、検証が必要である。

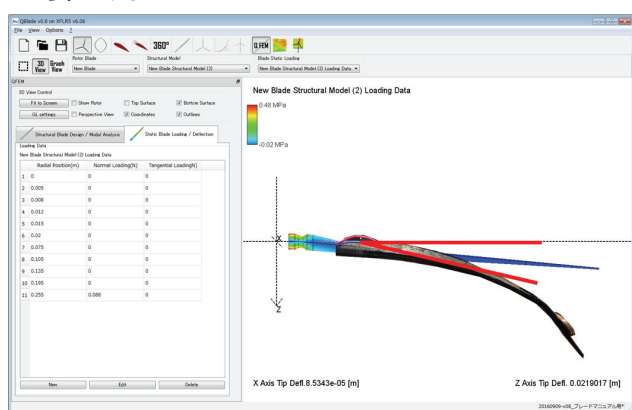


図 15 QBlade を用いたブレード応力解析結果 (9gf)

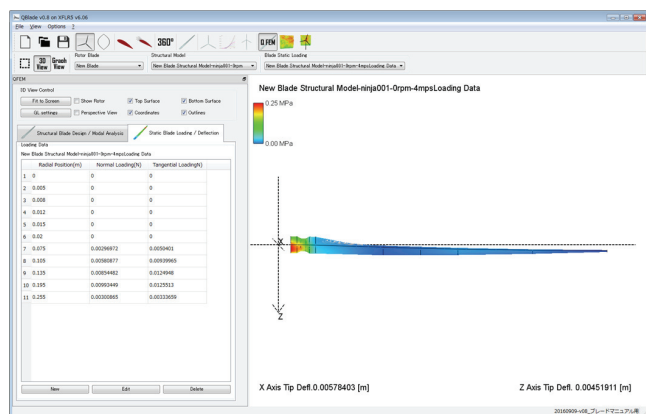


図 16 風速 4m/s におけるブレードの分布荷重結果

5. まとめ

今回、工学教育用教材としてシミュレーションと実験による検証を行うことのできる教材の開発を行った。その結果、以下のような結果を得ることができた。

- (1) ロータブレード(回転体)中に曲げセンサとマイコンボードによるブレードのたわみを測定する回路を内包するための 3D プリント風力タービンの設計・製作を行った。
- (2) 3D プリントのフィラメント材料を選定することで、実際の風力タービンで起こりうるブレードのたわみを模型で再現できることを確認した。

(3) 模型実験でのたわみ量の範囲にて曲げセンサとマイコンボードによるブレードのたわみ測定が可能であることを確認した。

(4) 解析条件の精査は今後も必要な物の実験条件での解析が可能となった。

以上のことから、様々な実験結果と解析条件での整合性についての検証は今後必要なもののシミュレーションや実験による検証を具体的に体験させることの出来る教材の開発が行えたと考えられる。

6. 今後の課題

今後は、実験結果の整合性の確認及び、実験結果と解析結果を比較しながら、解析条件の検証を行う予定である。その後、良好な結果が得られるようであれば、実際にこの教材を利用してもらえるように Web サイトでの配布を行っていく予定である。

謝辞

科学研究費助成金(若手研究(B) 25871037)の助成を受けて進められました。ここに謝意を表します。

参考文献

- (1) 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.
- (2) 藤本健司, 早稲田一嘉:「工学教育のための実践的実験教材開発」, 神戸高専研究紀要, 第 53 号, pp.43-48, 2015.
- (3) 藤本健司, 早稲田一嘉:「プロトタイプング」, 神戸高専研究紀要, 第 54 号, pp.43-48, 2016.
- (4) 和田 健吾, 竹村 大輔, 藤本 健司, 早稲田 一嘉:「3D プリントローターブレードを有した教材用水平軸型風車モデルの性能評価」, 日本機械学会 2014 年度年次大会講演論文集, Vol.14-1, S2010103,, 2014.
- (5) 早稲田 一嘉, 和田健吾, 植田誠大, 藤本 健司:「熱溶解積層方式 3D プリント向け教材用水平軸型風車モデルの開発」, 日本機械学会 2015 年度年次大会講演論文集, Vol. 15- 1, S2020203, 2015.