

課題情報シート

テーマ名 :	再生可能エネルギーを利用した発電システムの製作				
担当指導員名 :	森口 肇 中島 英一	実施年度 :	23 年度		
施設名 :	関東職業能力開発大学校附属千葉職業能力開発短期大学校				
課程名 :	専門課程	訓練科名 :	制御技術科		
課題の区分 :	総合制作実習課題	学生数 :	2	時間 :	12 単位 (216h)

課題制作・開発のポイント

【開発（制作）のポイント】

2010 年度からこのテーマに取り組んでいますが、2011 年度の新たな取り組みとして、校内に設置することを考慮し、装置を大型化したこと、モータを自作したことが挙げられます。

構想の段階で、校内（屋外）に設置することを考慮し、微弱な風でも回転すること、あらゆる方向からの風に対しても回転しやすくすることの 2 点を課題として掲げました。これらの課題をクリアするとともに、装置の大型化も踏まえ、羽根の形状を検討した結果、サボニウス型を選定し、設計・製作に取り組みました。当初、風車の特性に合ったモータを市販品から選定することを考えていましたが、いいものが見つからなかったのと、「ものづくり」にこだわって、自作することにしました。モータを自作する際は、コイルを巻く治具の製作から取り組むとよいと思います。

【参考文献】自分で作る風力発電、マイクロ風力発電機の設計と製作

【学生数の内訳】風車設計・製作：1 名、モータ設計・製作 1 名（すべて共同作業）

【訓練（指導）のポイント】

羽根からモータまで設計・製作する場合、幅広い技能・知識が必要となるため、あらかじめ風力発電、機械加工、モータに関する最低限の技能・知識は習得させる必要があります。なお、電気エネルギー制御科において、羽根の設計・製作に取り組む場合、指導員も機械加工に関する技能・知識を習得しておくべきだと考えます。また、次年度以降も継続する場合、製作した風力発電装置で発電した電気を使って動作させる対象（負荷装置）や他科との連携も視野に入れながら、取り組むとよいと思います。

羽根、モータを自作することにより、環境・エネルギー問題について意識するようになったこと、発電することの大変さを肌で感じてくれたことも大きな収穫だと考えます。

課題に関する問い合わせ先

施設名 : 関東職業能力開発大学校附属千葉職業能力開発短期大学校
住所 : 〒260-0025 千葉県千葉市中央区問屋町 2-25
電話番号 : 043-242-4166 (代表)
施設 Web アドレス : <http://www3.jeed.or.jp/chiba/college/>

課題制作・開発の「予稿」および「テーマ設定シート」

次のページ以降に、本課題の「予稿」および「テーマ設定シート」を掲載しています。

再生可能エネルギーを利用した発電システムの製作

「風力発電装置の設計・製作とその利用」

千葉職業能力開発短期大学校 制御技術科
担当教員 森口 肇 中島 英一

要約 風力エネルギーは再生可能エネルギーのひとつとして、地球環境の保全、エネルギーセキュリティの確保可能なエネルギーとして認められ、多くの地に風力発電所や風力発電装置が建設されている。また、開発可能な量だけで人類全体の電力需要を十分に賄える資源量があるといわれている。

風力発電は世界的に大規模な実用化が進んでおり、2020年には、総発電量に占める割合が4.5～11.5%に達するといわれている。本稿では、風力エネルギーを利用した風力発電装置の設計・製作に関して、羽根の設計・製作からモータの自作まで、1年かけて取り組んできた過程を報告する。

1 はじめに

私たちは、再生可能エネルギーを利用した発電システムの設計・製作に取り組んできた。2011年に発生した東日本大震災に端を発した電力不足の問題に対して、私たちの技術を生かして何かできないかと考え、風力発電装置の設計・製作をテーマとして選んだ。

今回の取り組みは、2012年度から開設される電気エネルギー制御科のモデルケースとしての一面も兼ねたものである。

このテーマが、2年間学んだ知識や技術などの集大成となるよう取り組んだ。

2 受風部の設計・製作

風力発電機で用いられている羽根には様々な形状があるが、一般的に多く見られるのは3枚のブレードが地面に対して垂直の向きで回転する「プロペラ形(図1(a))」と呼ばれるものである。

今回のモデルを作るにあたり考慮した点として、

- ・ 微弱な風でも回転する
- ・ どんな方向に対しても回転しやすくする

という2点が挙げられる。

構想の段階で校内に設置することを検討した結果、この2つの要素をクリアしやすい「サボニウス風車(図1(b))」を選び、設計・製作することにした。

サボニウス型風車とは、フィンランドのサボニウスが考案したもので、円柱形を縦に2つに切り、左右に

ずらした風車である。サボニウス型風車は当たる風の圧力が軸の両側で違うために発生する力で回転を始める。



(a) プロペラ形風車



(b) サボニウス型風車

図1

サボニウス型風車の特徴として、軸が垂直であることが挙げられ、360度どの方向からの風も受けることができるという大きなメリットがある。

また、弱い風でもトルクが発生して、発電機を駆動することが可能で、回転した際の風切音も少なく、高速回転にならないため、過大な荷重が発生しない、危険も少ないというメリットがある。

サボニウス型風車は、次ページ図2に示すように流れの速度方向に平行で逆向きの成分である「抗力」により回転する。

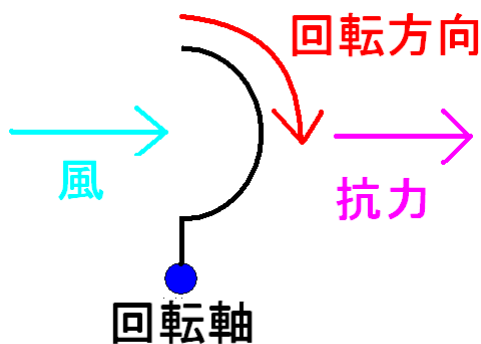


図2 抗力

試作機を作る段階では、羽根の数を何枚にするのがよいか分からなかった。そのため、羽根の数の違う3つの風車を用いて検討することとした。羽根の大きさ、高さが同じ風車を3つ用意し、羽根の数を2枚、3枚、4枚としていったときにどの風車が一番効率よく回るかを実験した。羽根全体の直径及び高さを200mmとし、受風部の直径は120mmとした。試作機に使った材料は本番で使うものを想定し、天板にアルミ3mm板、受風部にはステンレス0.5mmを使用した。

しかし、4枚羽根の製作に関しては完成に至らず、比較を行うことができなかった。

扇風機の風を正面から当て、そのとき羽根の直前の風速を3段階に調節して、回転数の測定を行った。

結果を表1に示す。

表1 実験結果

	2枚羽根 (rpm)	3枚羽根 (rpm)
強 (5.5m/s) 1回目/2回目	測定不能/測定不能	211/187
中 (4.5m/s) 1回目/2回目	測定不能/測定不能	112/110
弱 (3.5m/s) 1回目/2回目	162/測定不能	64/62

実験の結果、3枚羽根は風速5.5m/sにおいて、平均200rpm程度の回転数を記録した。同様の条件で2枚羽根の実験を行ったが、羽根に軸となるアダプターをつけ、軸をスラストベアリングの上に乗せるだけの簡単な構造であったため、羽根に中～強の風を当てたときに速く回転しすぎ、ブレが生じ、ベアリングから外れてしまい、1分間の計測データが取れなかった。

風量を弱にして計測した場合、160rpm程度の回転数を記録した。以上の結果から、3枚羽根よりも2枚羽根のほうが少しの風でも回転しやすいことがわかっ

た。また、3枚羽根のときには回らなかった風速2m/s程度の風でも、2枚羽根の場合回転した。

これは風車自体の軽さに起因する機動性の良さが影響していると考えられる。

この結果から2枚羽根で製作することとした。

実際の装置に取り付ける羽根の形状は、はじめに設定した1.5mの立方体に収まる最大限の大きさとした。

実現する2つの方法として、羽根の形状を横の長さが長い扁平状にするという案と辺の長さの合計変えずに縦長にするという案を考えた。

面積が一定の場合、アスペクト比(2次元形状の長辺と短辺の比)が大きいほど効率がよいことがわかったため、縦長の形状を採用することとした。

使用材料は、モータの磁力や雨などに対する耐久性を考慮し、羽根の天板及び底板にアルミ合金、受風部となるところにはステンレス(t=0.5mm)を使用した。また、支柱はアルミ合金を用いて製作した。

製作した羽根の構想図と高さが同じ場合の理想値をそれぞれ図3、表2に示す。

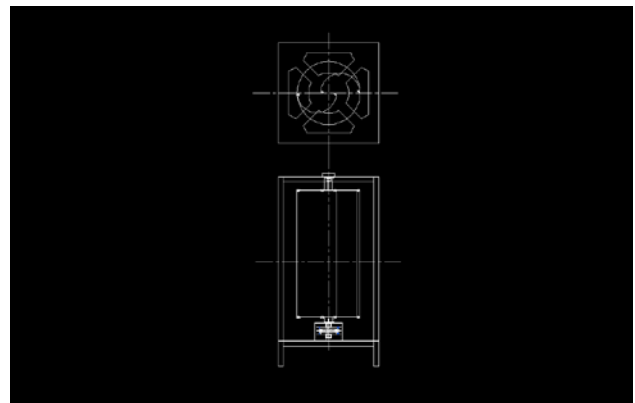


図3 羽根構想図

表2 寸法表

	寸法 (mm)	理想寸法 (mm)
羽根天板直径	500	500
高さ (H)	1000	1000
受風部直径 (C)	312.5	233.10
ギャップ (b)	0	0
中心の羽根間隔 (a)	125	69.93
アスペクト比 (H/C)	3.2	4.29
オーバーラップ (a/C)	0.4	0.3

※ 理想寸法は高さを1000mmとした場合

3 発電部（モータ）の製作

昨年は、風車で DC モータの軸を回転させることにより発電させていたが、今回は自作モータでの発電を試みた。モータを製作するにあたっては、コイルを巻くための治具の製作から取り組んだ。

自作モータのメリットとして、出力の変更が容易であり、その土地にあった（風の吹く傾向にあった）能力を一番発揮できる発電機を作れることが挙げられる。モータの製作手順を以下に示す。

3. 1 コイル巻き

コイル製作に先立ち、エナメル線を巻き取りコイルにする治具の製作から取り組んだ。コイルの発電効率としては、長円形がもっとも高いが、コイルは三角形を選択した。これは、治具で巻き取る際に 2 点で支えるよりも 3 点で支えたほうがより安定し、コイルの平行度を保つことができるからである。

治具はアルミ板をレーザー加工機で切り出し、巻取の土台となる部分を、キャップボルトの頭を用いて製作した。完成した治具を図 4 に示す。



図 4 コイル巻き治具

コイルの数は 12 個で、エナメル線は $\phi 0.6\text{mm}$ のものを使用した。エナメル線が太くなればなるほど、コイルから発生する電圧は低くなり、逆にエナメル線が細ければ細いほど、コイルから発生する電圧は高くなる。つまり、発電量が同じ場合、細いエナメル線を用いたコイルのほうが、電圧が高くなる。しかし、その反面電流が少なくなる。

したがって、地域の風量（平均風速）に応じてエナメル線の太さの選定を行うことで最大限の効果を得ることができると思う。

3. 2 マグネットの選定

マグネットは、ネオジム磁石を選定した。マグネットは他にフェライト磁石、コバルト磁石などがあるが、この中でも磁力が一番強く、機械的強度にも優れているという点でネオジム磁石を選定した。

磁石がもつ磁力は、面積が大きければ大きいほど、厚さが厚ければ厚いほど強くなる。

今回は、 $\phi 15\text{mm}$ 、 $t=5\text{mm}$ のネオジム磁石を 32 個用いてモータを作ることとした。

3. 3 フレーム・ステータ・ロータの製作

フレームには、3mm 厚のアルミの板を、ステータには 5mm のアクリル板を使用した。アルミとアクリルを選択したのは、強力なネオジム磁石の影響を受けないようにするためである。磁力の影響を受けるスチールなどを使用すると、コギングが発生し、発電に影響が出るためである。

また、ロータにはアルミ板、ロータにマグネットを取り付ける際のガイドにはアクリルを使用した。

ロータとステータを図 5 に示す。

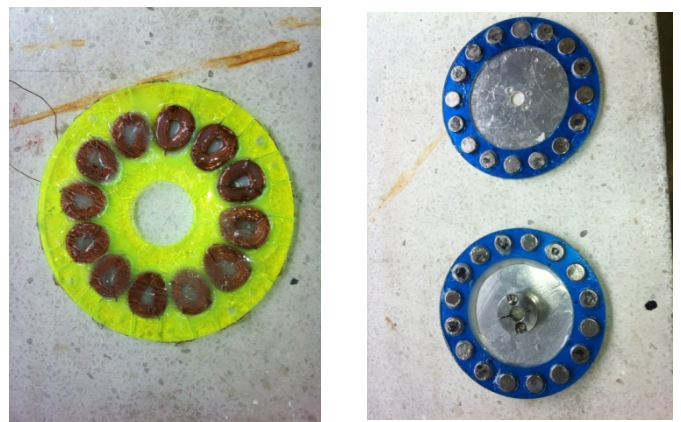


図 5 ステータ（左）とロータ（右）

これらの部品を六角支柱、セットカラーを使って組み付け、ステータとロータのギャップは、ねじと六角ナットで調整した。

モータの外観を次ページ図 6 に示す。

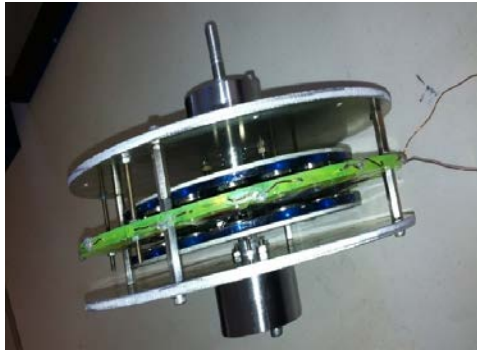


図6 完成したモータ

4 製作にあたって

製作にあたり、自分たちの力を最大限に生かすため、購入部品は材料だけにとどめるよう考慮した。

また、自分たちで考え、設計し、形にすることを心がけた。モータは簡単な構造のものを設計・製作し、羽根は現在自分たちが扱える（加工できる）材料を用いて、できる限り構造の簡単なものを設計し、のちに数多く製作する時に加工しやすい形状を選定した。

そして、汎用機での加工を多くすることにより、加工能力を高めようと考えた。

5 考察

羽根の回転効率を高めるには、アスペクト比を高くすることが望ましいため、羽根の形状が縦長の形になる。今回作った羽根の場合、羽根を支える支柱が一直線に並んでおり、ねじれや、支柱のない部分に対しての垂直方向の力に対する剛性が期待できないため、アスペクト比を変えずに剛性を高める必要がある。

一案として、愛知県名古屋市の金山駅前に設置されている風車のように、羽根自体の縦の長さは変えずに途中で2~3分割にしてその間にプレートをおくということが挙げられる（図7）。



図7 金山駅前に設置されたサボニウス型風車

この場合、羽根の位置を60度、または図8に示すように90度ずつずらすことで、真正面から風が吹いたときの起動のしづらさをカバーできるのではないかと考える。

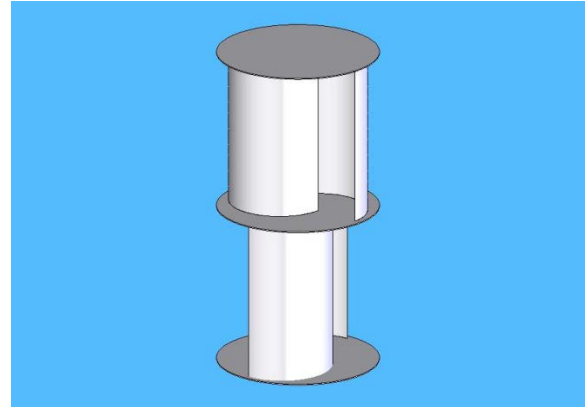


図8 90度ずらし2分割した場合の3D CAD図面

また、重心の位置に起因する装置自体の横のぶれも改善できると考えられる。この案は、受風部自体の長さが変化するわけではないので、プレートを入れない場合とほぼ同様の回転が期待できると考える。

風車の受風部の製作は、フレームの棒に羽根を固定して同一線上に置き円を描いているが、一枚物のステンレス板の場合曲げて固定するのに相当な力を要する。

このモデルでは、縦長の板を曲げたため、加工が大変であったが、横長にすれば曲げ加工が容易になる。

また、2~3分割することでステンレスの板が加工しやすくなるため、分割して加工することが得策であると考えられる。

構想段階では、板を短冊状にし、それをつなげて多角形にすることでサボニウスの形にしたり、鉄などの板ではなく、ナイロン布などを用いたりする案も検討した。羽根の受風部の素材に関しては再考の余地があると考えられる。

モータの出力に関しては、今回作ったモータは回転量で電力を稼ぐタイプであり、サボニウス型風車が起動性の良い低回転高トルク型の風車であったため、相性はあまりよくなかった。サボニウス型風車は回転してしまえばある程度のパワーを持って回転できることから、モータ自体のコイルや磁石を増やすことで出力を大きくするほうが適切であると感じた。エナメル線をもっと細いもので回数を多く巻き、低回転から発電

できるようなものを製作し、発生する電圧を高くする方が適切だったといえるだろう。

また、別案として、軸にギアを入れ、羽根の回転数を増速することで出力を高くする方法も考えられる。

モータを製作するにあたって、注意しなければならない点として、ステータが平らであること、そしてステータの平行度が挙げられる。

効率よく電力を発生させるためには、ロータの磁石同士の間隔を狭くする必要がある。それには、ステータとロータの加工精度が大きくかかわってくる。

今回、モータの磁石間の距離は **12mm** であった。

今回の反省点として、

- ・ コイルの幅にムラがあった。
- ・ ステータよりもコイルの厚みのほうが厚かった
- ・ 接着時の糊の量にムラがあり、凹凸がついてしまっていた

このことを受け改善案として、

- ・ コイルの巻きとりの精度を上げる
- ・ コイルの厚みより厚いステータを使用する
- ・ 接着時にエポキシ系樹脂接着剤で接着しない平らな面にステータをおいて接着する

などが挙げられる。改善策を施すことにより、ギャップが少なくなり、出力が向上すると考えられる。

6 おわりに

再生可能エネルギーを利用した風力発電装置の設計・製作に取り組んだが、満足のいく結果は得られなかった。

本来であれば、発電したエネルギーをどのように用いていくかで考え、実際にバッテリーに充電してはじめて成功であるからだ。

しかし、自然に吹く程度の風速で風車が回ったこと、わずか（数 W 程度）ではあるが、発電したという大きな収穫も得ることができた。

今回、円状に加工する部品が非常に多かったため、レーザー加工機を多用した。特に、ステータやロータは細かい精度が要求され、わずかなずれが装置全体に及ぼす影響が大きい部品である。その部品加工にレーザー加工機を用いることができたのは非常に助かった。

また、今回の羽根の大きさとモータの大きさに著しく差があった。モータの軸が羽根の大きさに対して細いため、軸の強度が不安であった。

そのため、次回以降製作する際には設計計算からしっかり作り込んでいく必要があると感じ、今となっては、現物合わせの製作になってしまったことが非常

に悔やまれる。

再生可能エネルギーを用いた風力発電装置の設計・製作を通して、私たちが普段何気なく使っている電力を作るということの大変さが身に染みて感じられた。

ゆえに、わずかながらでも電力が得られたときの喜びはひとしおであった。自分たちで作ることのできる電力はたったわずかなものかもしれないが、このテーマに取り組んだことにより、環境・エネルギー問題について考えるきっかけとなった。

来年以降もこの装置の設計・製作の課題に取り組み、よりよい風力発電装置を作る後輩が出てきてくれることを願う。

完成した風力発電装置を図 9 に示す。



図 9 風力発電装置

最後になりましたが、担当教官の森口教諭、中島教諭をはじめ協力して下さったすべての方に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 自分で作る風力発電 中村 昌弘 著
総合科学出版 (2011)
- 2) マイクロ風力発電機の設計と製作
久保 大次郎 著 CQ 出版社 (2007)
- 3) Wikipedia : <http://ja.wikipedia.org/wiki/>

課題実習「テーマ設定シート」

作成日：平成23年7月27日

科名：制御技術科

教科の科目		実習テーマ名	
総合制作実習		再生可能エネルギーを利用した発電システムの製作 (風力発電装置の設計・製作とその利用)	
担当教員		担当学生	
制御技術科	森口 肇		
制御技術科	中島 英一		
課題実習の技能・技術習得目標			
風力発電システムの設計・製作を通して、システムの設計・製作及び調整技術等の総合的な実践力を習得するとともに、グループワークで一体的に取り組むことにより、人間力（「コミュニケーション能力」、「やりぬく力」、「課題解決能力」、「考える力」）を養う。			
実習テーマの設定背景・取組目標			
実習テーマの設定背景			
東日本大震災以降、再生可能エネルギーがクローズアップされている中、無尽蔵に存在する風のエネルギーを有効活用した風力発電システムの普及が進んでいる。本実習では、次年度開設される電気エネルギー制御科における訓練内容を意識しつつ、「ものづくり」の楽しさ、奥深さが実感でき、地球との関わりを肌で感じられる内容として、風力発電により発電だけでなく、発電した電気を使って千葉短大におけるオブジェ的な装置を動かすシステムの設計・製作というテーマを設定した。			
実習テーマの特徴・概要			
風力発電装置で発電し、発電した電気を使って動かすオブジェを1つのシステムとして構築する。中庭に設置することを考慮するとともにより高効率な発電が実現できるよう、設計段階で風車の羽根の形状、材質及び発電機として使用するモータなどを十分吟味した上で風力発電装置を製作する。また、並行して発電した電気を利用したオブジェ的な装置の設計・製作も進め、最終的にはシステムの構築、調整、動作確認、性能評価等を行い、報告書を作成する。			
No	取組目標		
①	このテーマに取り組む目的を理解します		
②	システムの仕様を考えます		
③	仕様を満たすのに必要な機能（発電、オブジェ）とその構成（風車、土台、発電機、蓄電、負荷装置など）を考えます		
④	昨年製作した風力発電装置の問題点を整理します		
⑤	③、④を踏まえ、風力発電システムのしくみを考案します		
⑥	風力発電装置およびオブジェの設計を行います		
⑦	風力発電装置およびオブジェの製作を行います		
⑧	風力発電装置、オブジェそれぞれにおいて動作確認、性能評価を行います		
⑨	風力発電装置とオブジェを接続することにより、システムを構築した上で、動作確認、性能評価を行います		
⑩	この実習を通して、社会人としてのコンセンサスを習得するとともに、最後に報告書を作成します		