

自然エネルギーを利用した融雪システムの製作について

地域性および社会的要請を考慮した卒業研究

山形県立産業技術短期大学校 メカトロニクス科 加藤 和憲

1. はじめに

筆者は平成6年度より、主に風車を中心として自然エネルギーの利用を卒業研究のテーマとしてきた¹⁾。また、平成7年度から、風車による液体の直接攪拌を利用した融雪システムの開発に取り組んできた²⁾。つまり液体の攪拌による直接熱変換で融雪に必要な熱を取り出すシステムである。

このように、これまでは風力を利用した融雪システムであったが、今年度はさらに一歩進めて、太陽熱も取り入れて総合的な自然エネルギーの利用を卒業研究のテーマとした。より安定したエネルギー供給を目指したのである。筆者は社会的要請に対応したテーマとして地球環境問題、特にエネルギー問題に関心を持っている。さらに、山形県の地域性・特色を出すために雪の問題を取り上げてきた。

その総まとめといえるものが今回の卒業研究である。本年度は工藤茂範君(現・株式会社鈴木製作所)、水戸貴行君(現・株式会社メドテック)の2人に取り組んでもらった。以下にその報告を行う。

2. 融雪システムの考え方

今回の卒業研究で製作した融雪システムは、揚水用風車、太陽熱温水器、発電用風車からなっている。すなわち不凍液を揚水風車でくみ上げ、太陽熱温水器および電熱器で温める。その後、不凍液をパイプで循環させ融雪を行い、再びタンクへ戻すものであ

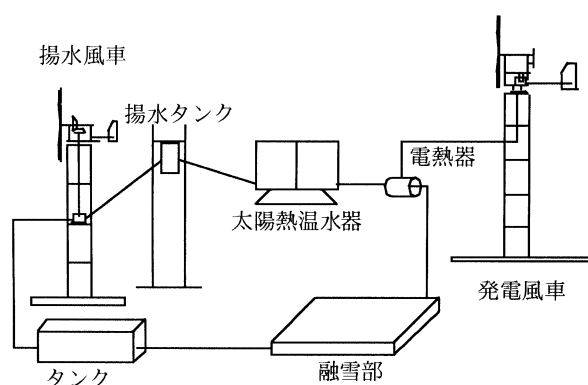


図1 融雪システムの概略

る(図1)。

卒業研究で製作する実験装置は小規模分散型エネルギー供給システム³⁾の考え方に基づいている。つまり、大規模電力網などの大規模商用エネルギーに対して各家庭でのエネルギーの生産を目指したものである。また、半期で卒業研究の製作を終えなければならないこと、本短大校における工作機械の加工範囲の限界などを考慮すると、小型の装置ですむ小規模分散型エネルギー供給システムの考え方が妥当であるという結論に達した。

3. 製作のための構想

本短大校での卒業研究は2年生の後期から始まる。しかし、構想から製作、実験までを後期のみで行うことは困難であるため、週1回1コマの授業であるゼミナールを卒業研究のための時間に当てた。つまり、学生は文献などを読み、卒業研究のための計画

を立て、週1回発表を行い、教官と討論を行うのである。大学などと違い研究室の伝統を先輩後輩の学生同士で受け継ぐことはないので、継続して行うテーマの場合、教官が過去の卒業研究について教えないといけない。主な内容としては、過去に製作した実験装置に関する説明である。また文献に関しては学生には図書館で本を探す以外の手段がない。論文に関しては、教官が入手した文献を学生へ提供するしかない。よって学生が独自に文献を探してくることは少ない。問題について考えるための手がかりが主に教官の与えるものによるということは、私は卒業研究としては物足りなさを感じている。

卒業研究を進める第一歩として、まず教官がどのようなものを実験装置として作りたいのか正確に学生に理解させることから始める。前記した図1のような図を書いて学生に説明するのである。この説明により、学生にどのようなものを作るのか明確な目標を与える。この段階では学生の意見はまだ反映されない。その後、教官の与えた文献を調べて風車、太陽熱温水器についての基礎的な知識を蓄える。そして、風車および太陽熱温水器、融雪部にどのような形式のものを採用するか議論して決定するのである。

決定した内容について説明を行う。太陽熱温水器は桶形放物面鏡による集熱装置に決定した。また太陽電池を2枚用いて太陽の自動追尾を行うことも決定した。くみ置き型でないのは重量を軽くして自動追尾を容易にするためである。発電風車は水平式3枚翼プロペラ風車を採用した。揚水風車は水平式の多翼型風車を採用した。さらに、それぞれの風車には強風対策を施すこととした。

その後目的および実験内容についての議論が始まる。目的は融雪システム全体と実験装置を構成するそれぞれの機器について立てた。目的を受けて仮説を立て、それを証明するための実験内容を決定した。その中身について要約すると、

目 的

1 m²の面積に存在する0.05mの深さの雪を、1時間で融かすのに必要な熱量を太陽熱温水器および発電風車で発生する。この熱を不凍液に与え循環させロードヒーティングによる融雪を行う。

実験内容

太陽熱温水器「日照の変化に対する温水器流入温度、流出温度の測定、太陽自動追尾の有無による集熱性能の変化の測定」

発電風車「風の持つエネルギー、および発電量の測定」

融雪部「流入水温、流出水温の測定」となった。

このことについて常に記憶しているように学生に対して注意をした。実際の加工に取りかかると製作に夢中になり、目的は何かを見失いがちである。融雪に必要な熱量 q_o (W/m²) の計算は次式⁴⁾によって求めた。

$$q_o = q_s + q_m + A_r(q_e + q_h) \dots\dots\dots(1)$$

ここで、

q_s (W/m²) : 雪を0℃まで加熱するのに必要な熱量

q_m (W/m²) : 雪の融解熱

A_r : 消雪面積率

q_e (W/m²) : 解けた雪の蒸発に要する熱量

q_h (W/m²) : 放射および対流による水膜および路面からの放熱量

消雪面積率 A_r は全面積に対する雪の積もっていない面積であり、今回の見積もりでは $A_r = 0$ と設定した。すなわち、路面がすべて雪で覆われている状態であり、蒸発および放熱による影響を考えなくてよいので、融雪に必要な熱量 q_o が小さくなる。また、 $A_r = 0$ の場合には雪がやんだ後でも数時間は雪が残る。今回の卒業研究では q_o を求めるために次のように設定した。降雪量5 cm/h、融雪面積1 m²、雪の温度0℃、雪の密度120kg/m³である。これらの値より融雪に必要な熱量は0.6kWと求めた。この値をも

とにして太陽熱温水器の開口部面積と発電風車のロータ直径を求めた。この段階で2年生の前期は終了していた。次の設計段階は2年生の後期(10月)から始めた。

4. 実際の製作過程

製作のための構想が終了すると、設計が始まる。後期からは週1回のペースでゼミナルと称して作業の進行状況の報告、および討論を行った。この討論によって細かな部分についての決定を行う。設計は分担して行った。発電風車と揚水風車に関しては水戸貴行君、太陽熱温水器と融雪部その他に関しては工藤茂範君とした。現代の学生は簡単な部品図でもCADを使いたがるようである。今回の2人の学生も2次元CAD(ME-10)を用いて設計を行った。一方、翼は自由曲面であるので3次元CAD(Ideas Master Series)を用いて設計を行った。翼の設計法としては、風車ブレードの図式的設計法⁵⁾を用いた。図式的設計法とは風車ブレードをロータ半径方向に分割し、その分割した断面でのねじり角、翼弦長を求める方法である。翼形はClark Y、周速比は7、ブレード半径は0.7m、ブレード枚数は3を設計のための条件とした。翼の設計が終了した後、3次元CADでモデリングを行い、CAM(Generative Machining)を用いてNCデータの作成を行った。

11月下旬に設計は終了した。設計まではそれぞれの分担で作業を行ったが、実際の製作段階では共同で作業を行った。つまり太陽熱温水器であれば各部品について分担し、加工および組み立てを行った。共同で製作を行い1人ひとりの分担は何かということ意識させないように心がけたのである。あくまでも2人で行う研究であり、担当分野以外には責任を持たないという姿勢をとってほしくなかったためである。

大半の製作が終了(2月上旬)した後に、発電風車の翼の加工を始めた。翼の材料は松系の積層材



図2 翼の加工風景

スプルースである。これを3軸のマシニングセンタ(VA-40 日立精機)により加工した。荒取り加工はR15のボールエンドミル、仕上げ加工はR2.5×3°テーパ刃のボールエンドミルで行った。CAMで作成したNCデータを用いて翼の加工を行うのであるが、翼の片面を削るだけで3時間かかった。また裏面を削る場合には翼が薄くなっている部分があるので慎重に削らねばならず、より時間がかかった。また、翼の加工を行っているときには、細かな木屑が大量に発生する。このまま放置しておくとも木屑が室内中に拡散する。これを取り除くために集塵機(CFO-43 昭和電機)を用いた。図2に翼の加工風景を示す。削り終わった後に翼の表面保護のためにエポキシ配合樹脂(2056, 2196 スリーボンド)を塗布した。

5. 製作した装置

製作した融雪システムのそれぞれの機器について説明を行う。循環用の不凍液は自動車用のウィンドウォッシャー液を12l使用した。不凍液を貯めておくためのタンクは保温保冷用のバスケットを用いた。このタンクから揚水風車によって不凍液を循環させる。

図3に揚水風車を示す。揚水風車はプロペラによって得た回転を直接ポンプに伝え、不凍液をくみ上

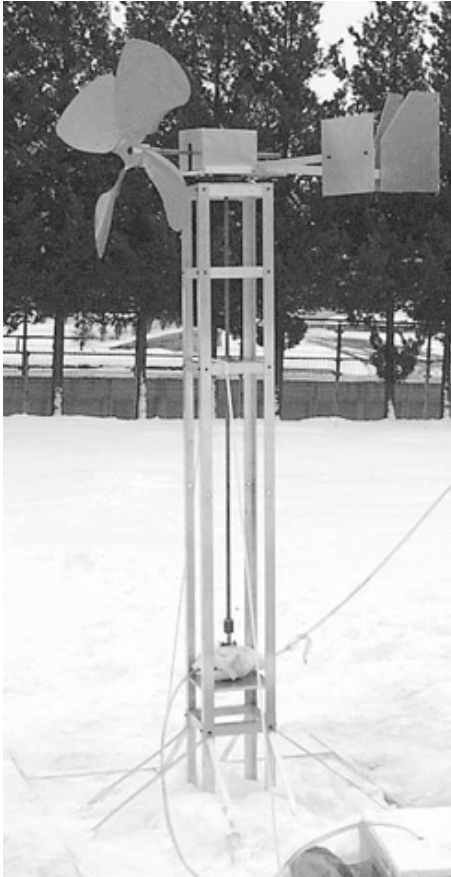


図3 揚水風車

げる役割である。風車ロータの直径は60cm、地面からロータ中心までの高さは2mである。ポンプを回転させるためにはトルクが必要であるため、揚水風車のプロペラには工場扇用のハネ（SF-60FN スイデン）を使用した。このプロペラはソリディティ比が大きいため、大トルクが期待できる。揚水用ポンプには歯車ポンプ（NG-1 ギヤーエース工業）を使用した。また、揚水風車の強風対策としては側翼式を採用した。つまり強風時には側翼によって発生するモーメントによりロータの向きを傾け、ロータの受風面積を減少させる方式である。揚水風車によってくみ上げられた不凍液は一時揚水タンクへ蓄えられる。これは液を蓄えることによって、風速変化の影響を受けないで一定量の循環を行うことを目的としている。



図4 太陽熱温水器

図4に太陽熱温水器を示す。揚水タンクから循環した不凍液をまず太陽熱温水器で加熱する。太陽熱温水器は桶形放物面鏡による集熱装置である。山形県の冬期間における南中角度を考慮して、太陽熱温水器の桶形集熱部を47°傾けた。装置には放物面鏡が2つ取り付けられている。太陽光は放物面鏡で反射して黒く塗られた銅パイプへ集光する。循環水はここを通り温められる。

温水器の開口部は0.6m²であり、快晴時には0.6kWの集熱を行う。また開口部には透明のフィルムをはり、放熱を防いだ。さらに温水器の側面両端にそれぞれ太陽電池（1.5V-400mAh）を取り付け、太陽自動追尾を実現した。すなわち、両端に取り付けた太陽電池を外側に向けることにより、光センサ兼駆動用動力源としたのである。これらを互いに極性を逆にして、太陽電池用モータ（H158 ソーラーテック）へ接続し、太陽自動追尾を行った。温水器の上部についているのは減速用のギアボックスである。モータの回転を1/8100に減速することにより、集熱部の回転に必要なトルクを発生した。

図5に発電風車を示す。発電風車によって発電した電気は電熱器に送られ、循環水を加熱する。山形での平均風速は4m/sである。この風速で0.6kWを発電する場合、風車ロータの直径は7mとなる。しかし、マシニングセンタの加工範囲の限界からロー



図5 発電風車

タ直径は1.4mとした。電熱器は呼び径10Aの銅パイプにフレキシブルヒータを巻き、ヒータの外側をグラスウール断熱材で覆った構造である。発電風車のロータ直径は1.4m、地面からロータ直径までの高さは2.5mである。発電機は誘導モータを改造し使用した。すなわち、誘導モータのロータに永久磁石（アルニコ磁石）を埋め込み、発電機に改造を行った。この改造により外部の電源供給なしに発電することを目指した。

発電風車の強風対策としては上方偏向式を用いた。これは風車ロータ部で受ける風の抵抗により上向きモーメントを得てロータを上方に偏向させ、ロータの受風面積を減少させる方式である。太陽熱温水器、電熱器で温められた循環水は次に融雪部へと送られる。融雪部は面積 1 m^2 、厚さ 1 mm のアルミ



図6 実験装置全景

板の下の部分に不凍液循環用のビニールチューブを100mmピッチで接着したものであり、放熱を防ぐためにグラスウール断熱材、および発泡スチロール板で覆ったものである。融雪部を循環した不凍液は再び、タンクへと戻る。

6. 野外実験の結果

今回の卒業研究は製作に時間がかかり、実験の期間が1週間ほどしか取れずに満足な実験ができなかった。時間に追われていたこともあり、学生たちは何をどのようにして測定すればよいか？というところまで頭がまわらなかったようである。結果として測定装置は教官が準備して学生へ与えた。温度測定はK型熱電対と計測器(TC08 PICO TECHNOLOGY)により行い、パソコンへ取り込んだ。また、風速の測定は熱線風速計(CLIMOMASTER 6511 KANOMAX)により行った。

実験期間が1週間しか取れなかったことから、測定を行う機器を絞って実験することとした。すなわち融雪システム全体の稼働実験は行うが、測定は太陽熱温水器と発電風車のみ行うこととした。太陽熱温水器の実験結果は良好なものが得られた。太陽電池による太陽の自動追尾は正確に動作した。また、快晴時(気温 3)における銅パイプの表面温度

は110 に達した。ただし、このときは銅パイプに不凍液は入っていない。不凍液が入った場合には温度は40 まで低下した。またパイプの温度は天候の変化に素早く応答することがわかった。つまり快晴時には110 であったが、天候が曇りになると5分間で20 まで低下した。

一方、発電風車は満足な結果を得ることができなかった。発電風車は風速3 m/sで起動することはわかったが、風車が回転しても発電機が発電しなかったのである。原因としてはロータに入れたアルニコ磁石が足りなかった、磁石とステータのギャップが大きかった、の2点が考えられる。

揚水風車は風速2 m/sから起動した。しかし、歯車ポンプのシールに問題があり、低風速時の吸い込み揚程が100mmしかなかった。また連続して風が吹き続かないと揚水タンクまで不凍液をくみ上げることができなかった。したがってポンプのシールについて改良を行う必要がある。強風対策に関しては発電風車、揚水風車ともに風速7 m/sで動作することがわかった。

今回の測定をとおして短期間での野外実験の難しさをあらためて実感した。実験は天候に大きく左右されるので、学生は落ち着かなかったことと思う。実験を行いながらも、風が吹かないときにはもっと風況の良い場所が存在したのではと考えたりもした。

7. おわりに

複数の実験装置による融雪システムを何とか形にして卒業研究としてまとめたのであるが、時間的に困難な要求であったが、卒研生たちはよくここまで作り上げてくれたと思う。ここで、いくつかの反省点があるので述べたい。

半期の卒業研究で作り上げるにはシステムが大規模すぎたか？

装置を製作するのに時間がかかりすぎて、実験を

する期間が短かった。詳細な実験内容について討論する時間がなかった。さらに温度、風速以外のデータを測定し、融雪システムに関してより深い議論を行いたかった。

もっと慎重に研究を進めればよかった

発電機が発電をしないことなど、ベンチテストを行えばすぐにわかることである。実際、手で動かしてみても発電しなかったことがわかったのであるが、時間が迫っていたこともあり回転数が上がれば発電の可能性もあると装置に組み込んでしまった。歯車ポンプも同様である。

もっと実験計画に時間を取ればよかった

メカトロニクス科の場合、熱に関する講義がないために、例えば前述の式(1)に関するイメージがわからないのである。熱を多く取り出すためにはどのような条件が必要か等の議論の時間を多く取ればよかったと思っている。

以上のような反省点を踏まえて、平成11年度は今回作成した実験装置を使用して測定および解析に重点をおいた卒業研究にする予定である。継続テーマとしてぜひ結果を残したいと思っている。

【謝辞】

大蔵精機株式会社のご好意により、発電機改造用の誘導モータをご提供いただきました。深く感謝いたします。また、卒業研究に携わりました工藤茂範君、水戸貴行君に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 加藤：「小型風力発電機の開発」, 山形県立産業技術短期大学校紀要, 第1号, pp.6-7, 1995.
- 2) 加藤：「風車を利用した融雪システムの開発」, 山形県立産業技術短期大学校紀要, 第3号, pp.12-13, 1997.
- 3) 清水編著：「自然エネルギー利用学」, p.1, パワー社, 1990.
- 4) 空気調和・衛生工学会：「空気調和衛生工学便覧」, 第12版 3, 空気調和設備設計篇, pp.163-169, 1995.
- 5) 牛山三野：「小型風車ハンドブック」, pp.107-115, パワー社, 1980.