

サボニウス形風車による地下水汲み上げに関する検討

押谷 一¹⁾・岡本 全弘²⁾・山下 亜紀郎³⁾・谷口 克典⁴⁾・上山 博明⁵⁾
宮田 三芳⁶⁾・山本 一枝⁷⁾

The experiment of pumping of groundwater with a sabonius type windmill

Hajime OSHITANI¹⁾, Masahiro OKAMOTO²⁾, Akio YAMASHITA³⁾, Katsunori TANIGUCHI⁴⁾, Hiroaki UYAMA⁵⁾
Mitsuyoshi MIYATA⁶⁾ and Kazue YAMAMOTO⁷⁾
(November 2007)

1. はじめに

気候変動に関する政府間パネル (IPCC) では、最近の地球温暖化の原因を人間の活動によるものと断定し、今後さらに温暖化が進行すると生態系や経済活動に大きな影響を与えると予測している。実際に世界各地では、洪水や干ばつなど気候変動に伴う現象の報告が相次いでいる。最近の50~100年で地球の平均気温は、1.5°C上昇したといわれている。冷夏や暖冬など気候は常に変動していることからこの程度の気温上昇は深刻ではないようにみえるが、平均気温の変動の幅からみても、こうした気温の変動によって生態系や人々に与える影響は計り知れない。温暖化がすすむことによって顕在化する影響は、気温上昇をはじめとして降雨量の変化などが懸念され地域の農業生産に甚大な影響を与えるおそれがある。

IPCCの報告によれば気候変動の主な原因は、石油等の化石燃料の消費に伴う二酸化炭素 (CO₂) の排出にある。現代社会においてエネルギー消費を抑制することは容易ではないがエネルギー消費効率を高めるだけでなく、自然エネルギーの利用など脱化

石燃料型の技術を実用化することが求められる。自然エネルギーとしては風力が注目されている。しかしながら風は風速、風向さらに吹く時期などが地域によって大きく異なっているためその利用は地域的に限定される。局所的な風力を利用する場合には風況によって低速発電型、高速発電型のなかから最適な種類を選定する必要がある。一方、電力は常時、安定していることが求められるため、風力を利用した発電設備は大型化の傾向にあるが、設置場所の選定にあたってはさまざまな制約条件がある。運転時には化石燃料をほとんど必要ないことから温暖化防止効果が期待されるがバードストライクと呼ばれる野鳥の衝突など生態系に与える影響なども懸念される。そのため小型で建設費が安価で風力を利用できる設備が求められていることから、小型の風車による動力の農業利用の可能性について検討を行った。

2. 農業における風力の利用

農業で利用する動力は、製造業などとは異なり大規模な動力を必要としないものもあることや、出力が安定していなくても利用が可能であることから、発電せずに風を小型の動力源として利用することに

¹⁾ 酪農学園大学環境システム学部地域環境学科資源再利用学研究室

Department of Regional Environmental Studies, Resource Conservation and Recycling, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido, 069-8501, Japan

²⁾ 酪農学園大学酪農学部酪農学科畜産養学研究室

Department of Dairy Science, Animal Nutrition, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido, 069-8501, Japan

³⁾ 酪農学園大学環境システム学部地域環境学科都市空間情報学研究室

Department of Regional Environmental Studies, Spatial Information Science for Urban Studies, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido, 069-8501, Japan

⁴⁾ 株式会社北陽

Hokuyo Co., Ltd. 3-10, Higashi3, Kita 41-jo, Higashi-ku, Sapporo, Hokkaido, 007-0841, Japan

⁵⁾ 上山試錐工業株式会社

Ueyama Co., Ltd. 13, Kita 2-jo, Chuo-ku, Sapporo, Hokkaido, 060-0032, Japan

⁶⁾ サンエス電気株式会社

SAN-ESU DENKI TSUSHIN Co., LTD. 1-1, Higashi19, Kita 46-jo, Higashi-ku, Sapporo, Hokkaido, 007-0846, Japan

⁷⁾ 株式会社ウェザーコック

Weathercock Co., Ltd. 7-1-31, Tsukisamu Nishi3-jo, Toyohira-ku, Sapporo, Hokkaido, 062-0023, Japan

着目した。

とくに家畜を放牧する際、飲用水の確保が重要な課題となる。季節や地域によって家畜が必要とする飲用水量は異なるが、気温の高い8月で牛1頭あたり45リットルといわれている。ちなみに途上国などの放牧地で広く飼育されているめん羊の場合は、1頭あたり3リットルである。地下水を風力によって汲み上げて、放牧用の家畜の飲用水として利用することができれば、安定した家畜生産が可能になり、さらに水汲みの労働を軽減することができる。

3. 研究の概要

本研究では、サボニウス形風車を農業用の小型動力源とすることにより地下水を汲み上げに適應することとした。

3-1 サボニウス形風車による地下水汲み上げ
小型の風車をこうした地下水の汲み上げのための動力源として利用するためには、構造が比較的単純で騒音の発生などが少ないこと、強風時においても回転数が過大になることから、運転管理の容易性や安全性に配慮しておくことが求められる。検討の結果、サボニウス(savonius)形の風車に注目した。サボニウス形風車は、羽根断面形状、羽根の配置、風の流れに関する二次元、三次元の数値解析による性能評価に関する先行研究の報告によれば、プロペラ形風車に比べてパワー係数は小さいが大きなトルクが得られると評価されている。

3-2 風車の概要

サボニウス型の風車は、図-1に示したように円筒を縦に半分に切り、中心をずらした羽根の形状であることから、どの方向からの風を受けても回転することができる。さらに風速以上には周速があがらないという性質を有する。パワー係数については、

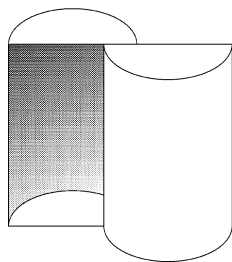


図-1 羽根の形状

プロペラ型の羽根には劣るが、大きなトルクが得られるという特徴がある。本研究では、風車によって得られる風力は、歯車比1:10のハイボンド減速機によって減速したのち、クランク機構によって上下の直線運動に変換させる構造とした。

今回、設計した風車は、図-2に示すように、直径1,257 mm、高さ1,197 mmのローターを2段に重ねることとし、地上2,133 mmの鉄骨の架台の上に設置することとした。また、風車を設置する場所の選定にあたっては、周りに風を妨げるような建物や樹木がないなどの点についても考慮した。なお、強風時にはクランクの動きを止めるために、かみ合いクラッチを装備し、さらに倒壊を防ぐために、四隅にワイヤーロープによってアンカーを設置した。

3-3 地下水の汲み上げ

風力によって地下水を汲み上げる実験を行うこととしたため、学内の設置場所については、地下水のある場所を選定する必要があったが、予算の制約上から事前にボーリング調査などによって地下水の存在する場所を確認できなかった。そのため、1999年に行われた大学構内の地盤調査結果から地質を把握し、検討を行った。

酪農学園大学の敷地は、標高20~25メートルのほぼ平坦面で、北広島市から石狩川に続く野幌丘陵台地の北限に位置している。野幌丘陵台地は第四紀洪積世の野幌層群に属し、野幌砂礫層と称する砂質土で構成されている。細~中粒砂礫に灰白凝灰質粘土の薄層がはさまれている。表層部は0.30~45メートルに第四紀現世の堆積物で、粘土、シルトなどを主体とする後背湿地堆積物である。その下部に4メートル程度、粘土質火山灰層が堆積していると推測された。

そこで1.5メートルのスリット型のストレナーパイプを先頭に、地下水の有無を探りながらケーシングパイプを打ち込み井戸を掘削することとした。

3-4 風車および揚水方法の検討

サボニウス型の風車の設計および揚水方法の検討を行った。

まず、風車の性能は先行研究⁸⁾による負荷条件式を利用して次のように設定した。風車による出力は、受風面積と風速に比例している。

風速 V (m/s)、風車ローター直径 D (m)、ローター

⁸⁾ 「サボニウス風車の動力利用における出力特性」平成12年度(独法)農業工学研究所研究成果情報(小規模利用のための風車動力変換技術の開発)

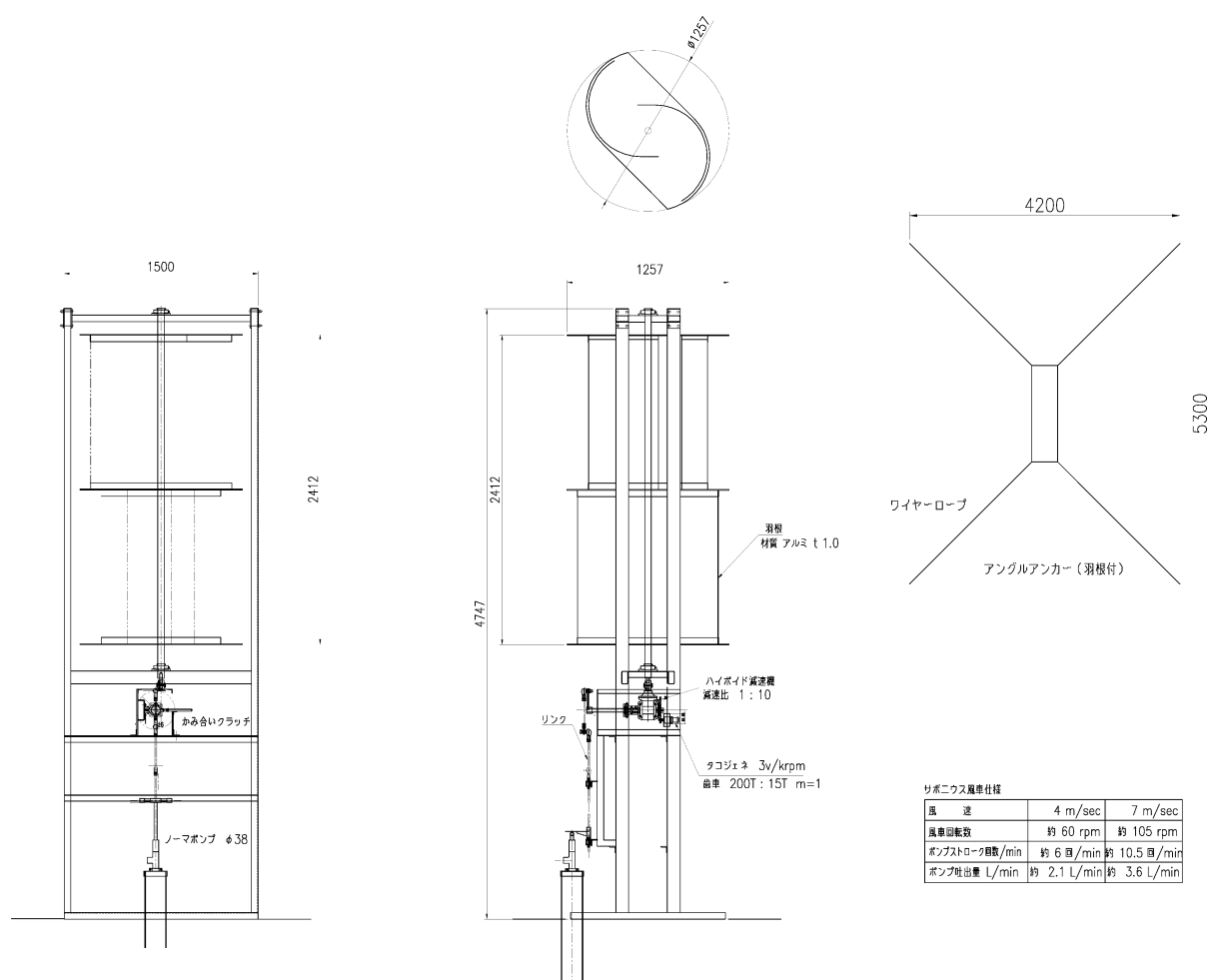


図-2 外形図

面積 A (m²), 空気密度 ρ (kg/m³) とすると, 最適負荷トルクおよび回転数は次式で表すことができる。

$$\text{最適負荷トルク} = \rho \times A \times D \times V^2 / 4 \times 0.25 \text{ (N} \cdot \text{m)}$$

$$\text{回転数} = 60 \times V / \pi \times 0.25 \text{ (rpm)}$$

その結果, 風速 4メートル/秒以上で, 次のような回転, 出力を得ることができるとの計算結果が得られた。なお, 風速 4メートル/秒は, ビューフォート風力階級によれば, 概ね風力階級 3 (3.4 <= 5.4 m/s) で木の葉や小枝がたえず動く程度の風である。風速と出力の計算値は表-1のとおりである。

地下水の汲み上げ方法については, 市販されている(旬朝日工務店⁹⁾製の雨水屋ノーマポンプを使用することとした。このポンプは 10メートルのパイプを接続すれば手動で 10~12リットル/分の揚水能力があり, 防災用として注目されている。さらに既存の手押しポンプは負圧を用いているが, 体積の置換を

表-1

風速 (m/s)	回転数 (rpm)	出力 (kW)
4	48.4	0.0089
5	60.5	0.0173
6	72.6	0.0299
7	84.7	0.0476
10	121.0	0.1386
20	241.9	1.1091
30	362.9	3.7431
40	783.8	8.8725

利用しているため 10メートル以上の深さの揚水も可能である。

風のエネルギーによって得られる水平方向の回転を, 1:10の減速機によって減速させ同時に縦方向の回転に変換させることとした。それをクランクによって上下運動に変えることとした。設計では, 風

⁹⁾ 有限会社朝日工務店 長野県東御市加沢 1440-22

速 4 メートル/秒で風車の回転が 60 rpm とすれば、ポンプのストローク回転（上下運動）は毎分 6 回となり、ポンプからの吐出水量は、およそ 2.1 リットル/分とした。

3-5 風況調査

井戸の掘削予定場所に風向・風速計を設置し、風況についても把握することとした。井戸を掘る前に 2006 年 1 月に風向・風速計およびデータ記録計を設置した。

4. 結 果

風車を設置する前に測定した風況調査によれば 1 時間値ではほとんど風力は観測されず、風向については卓越風的な特徴はみられなかったことから風力を利用するには貧弱な立地条件であることがわかった。一例として、2006 年 2 月の風速の 1 時間値では月平均で 0.8 メートル/秒で、風向は、北東、南南西が多いことがわかった。

実際に風車を設置したところ、かなりの微風でも良く回転することが確認できた。本研究では風向に左右されず、微風でも回転することの可能なサボニウス型風車であれば、かなり条件の悪いところでも風力を利用することが可能ことがわかった。設置してある風向・風力計およびデータ記録計では風車の回転と同調して解析することはできないので、風車に予め設置してある直流モータの回転速度を検出するために用いられるタコジェネレータ (TG) を用いて回転を把握することとした。TG は回転数に応じて低電圧を出力する。これを電圧データロガーに記録して風車の回転状況を把握した。その結果、風況からみて比較的、良く回転していることがわかった。

しかしながら、風向・風速計のデータ記録計と同調させておらず、連続した回転性能についての解析は行っていない。

敷地の融雪を待って 6 月に井戸の掘削を行った。直径 150 mm のケーシングパイプを打ち込み、地表 (GL) マイナス 11.0 メートルの自然水位を得ることができた。今回のボーリングは、通常の掘削方式とは異なり、圧縮空気によるパーカッション方式でパイプを打ち込むものであり、土砂が連続的に排出されるため連続して土壌の状態や地下水の有無を観察することができる。観測結果をもとに現地地質を観察したところ、図-3 に示すように概ね GL マイナス 12.0 メートルまでは火山灰混じりの砂で、その上部 GL マイナス 2.0 メートルは火山灰混じりの粘

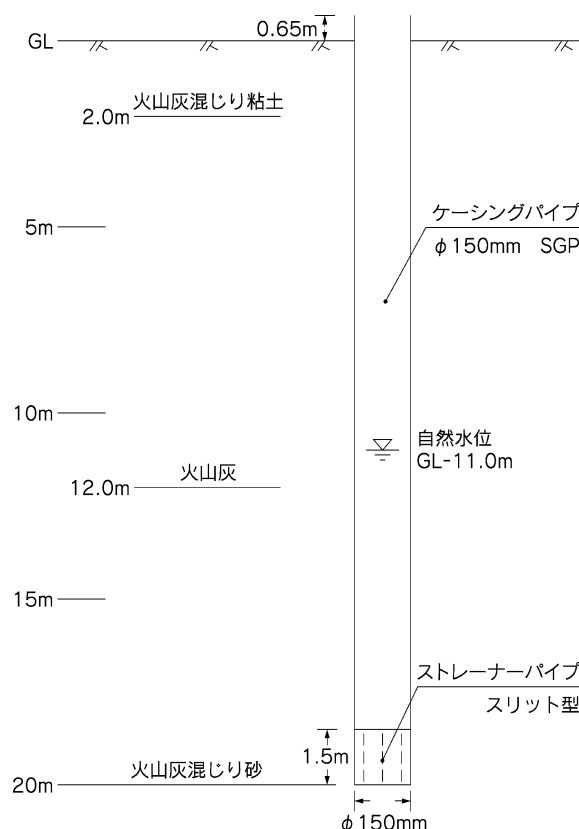


図-3 井戸断面図

土で、その上が表層部となっていることがわかった。砂状の火山灰が主体で比較的、水はけの良い土壌の状態であるため、掘削時には自然水位を得ることはできたが、地下水の浸透速度がはやく常水位を得ることは難しかった。そのため掘削した井戸内に水を強制的に注入して実験したところ、揚水できることが確認された。トルクが大きいことから、この程度の井戸の深さであっても水を汲み上げることは可能であることが確認できた。

設置したサボニウス型風車の発電可能性をみるため、風車に小型の発電機 (スカイ電子製) を設置して発電電力などを測定した。

風車に設置したロガーによる回転数とハンディタイプ熱線式風速計 (㈱テスト製小型風速風量計 405) による風速の測定結果は表-2 の通りである。その結果、風速が大きくなれば周速比も上がり、発電は十分に可能であることが確認できた。しかしながら、発電効率を高めるため増速比を 1 : 5 とし、風速 8 メートル/秒付近の周速比が 0.25 程度になることを期待したが、その半分の値となった。さらに定格 200 w の発電機を設置したが、この規模の風車には大きすぎたと思われる。そこで増速比 1 : 2 にして、80 w 定格の発電機を設置すれば、この程度の

表-2 風速一回転数

風速 (m/s)	回転数 (rpm)	周速 (m/s)	周速比
8.1	22.8	1.50	0.19
7.13	19.8	1.30	0.18
5.83	12.37	0.81	0.14
4.7	6.5	0.43	0.09
4.3	4.6	0.30	0.07
3.9	4.3	0.28	0.07

周速=風車の直径 (1257mm) $\times \pi \times$ 回転数/60

周速比=周速/風速

表-3 発電結果

風速 (m/s)	回転数 (rpm)	電流 (A)	電圧 (V)	電力 (w)
8.1	114	0.627	18.81	11.794
7.13	99	0.545	16.34	8.894
5.83	61.85	0.340	10.21	3.472
4.7	32.5	0.179	5.36	0.959
4.3	23	0.127	3.80	0.480
3.9	21.5	0.118	3.55	0.419

サボニウス型の風車においても効率的な発電ができるものと考えられる。

発電機からの電流, 電圧, 電力の結果は表-3のとおりである。発電機は回転数を風車の5倍に増速し, 発電量を測定した。発電機の特徴はメーカー出荷時検査記録をもとに推定した。なお, 抵抗負荷は 30 Ω (面状発熱体 29 Ω + 配線抵抗 1 Ω) とした。



5. 考 察

以上に述べたようにサボニウス形の風車は, 比較的風が弱く, 風向が安定していない場所においても良く回転すること, 地下水を汲み上げるためのトルクは十分にあることが確認できた。しかしながら, 地下水が十分になかったために, 実用化の可能性を検証することができなかったが, さらにポンプを効率よく揚水できるような改良についても検討することが課題である。

謝 辞

本研究は, 平成 17 年度酪農学園大学共同研究補助金を受けて実施した。

Abstract

Global warming measure is our common problem, and it's an urgent matter to minimize discharge of carbon dioxide from fossil fuel. We have to use natural energy such as wind. However, wind power generation equipment is expensive. So, we have tried to use wind without generating electricity. And examined pumping up groundwater without electricity in agricultural use. In the study, we are adopting a sabonius type windmill not using a propeller type. The following results are obtained. A sabonius type windmill is good for weak wind and any wind direction. Enough power for small agriculture can be obtained by sabonius type windmill. However, we need to improve for pumping of groundwater.

Keywords: global warming, sabonius type windmill, agriculture, natural energy