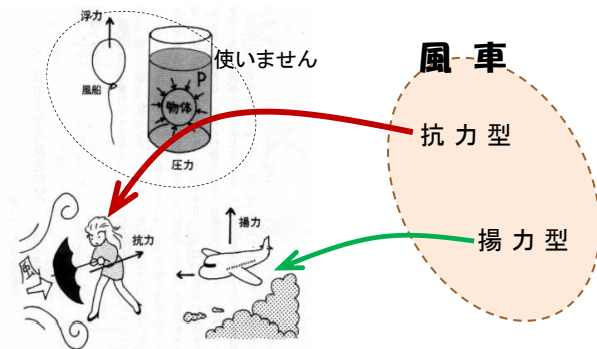


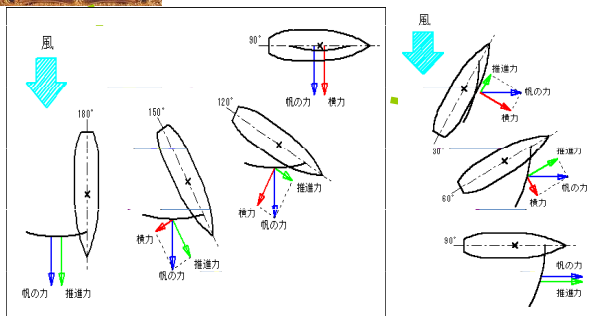
風車の分類

1

風車で利用する力の種類

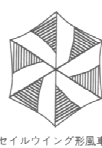
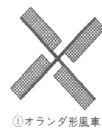


帆船の力学



風車の種類(水平軸タイプ)

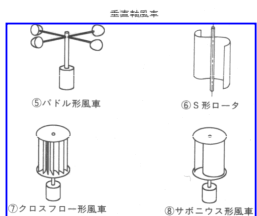
抗力型



風車の種類(垂直軸タイプ)

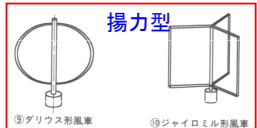
ダリウス型

トロポスキ形状

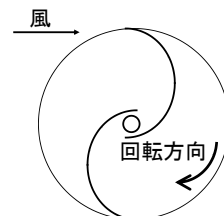
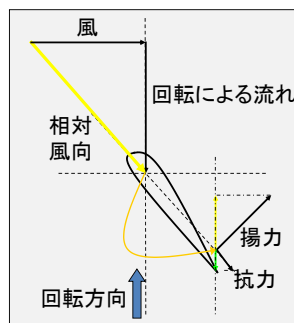


垂直軸風車の特性

	自己起動	出力
揚力型	×	◎
抗力型	◎	△

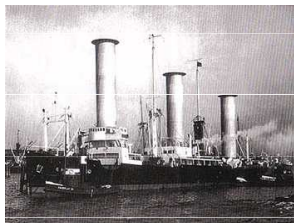
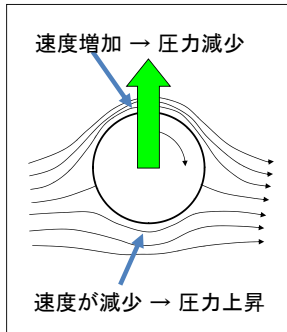


揚力型風車・抗力型風車



風速以上では回転できない!

マグナス効果(粘性の利用)

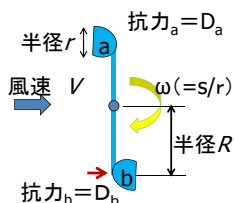


山田式風車



小型分散型電源として戦前戦後を通じての唯一の成功例。
東北、九州、南米やアフリカでも利用。
⇒昭和30年代には1万台以上普及。300W機は1式6万円で、北海道と農林省から2万円ずつの補助があり自己負担は2万円。

たとえば... 算出方法例(水力学レベル?)



S: パケットの接線速度
(外周での回転速度の接線方向成分)

相対風速=(風速)-(接線速度)

aでの相対風速: $V - r\omega$

bでの相対風速: $V + r\omega$

aに作用する力 $D_a = C_{Da} \cdot 1/2 \rho A (V - r\omega)^2$

bに作用する力 $D_b = C_{Db} \cdot 1/2 \rho A (V + r\omega)^2$

$R \cdot D_a = R \cdot D_b$

(∵一定速で回転 = 軸周りのモーメント = 0)

$C_{Da} \cdot 1/2 \rho A (V - r\omega)^2 = C_{Db} \cdot 1/2 \rho A (V + r\omega)^2$

∴ $\omega = (\sqrt{(C_{Da})} - \sqrt{(C_{Db})}) / (\sqrt{(C_{Da})} + \sqrt{(C_{Db})}) V$ [rad/s]

羽根のない風車?の開発



Vortex(スペイン)



マグナス風車



10

釜石広域ウインドファーム



2004年12月稼働
総出力: 42,900kW
(約3万世帯分相当)

日本最大級の
ウインドファーム

- 釜石市 17基
 - 遠野市 12基
 - 大槌町 14基 合計 43基
- 送電線 地中40km



風車設置≠発電

ニュースプリズム: 「回らない」風力発電で監査請求 揺らぐ「理想の事業」 / 茨城

つくば市が、04年度から3カ年計画で市内の小・中学校全52校に小型風車75基を設置する「まほろば事業」で、期待していた発電量を得られていないとして、市民団体が市原健一市長に事業費約3億円の弁済を求める監査請求を起こした。環境教育と、消費電力の削減の両面を持つ理想の事業が、大きく揺れている。【栗本優】

◇つくば市と早大は説明を

■事業破たん

「回っていない風車を、児童に何と説明すればいいのか」。風車のそばで、児童が無邪気に遊ぶ傍ら、市内のある学校の教諭は頭を抱える。風力発電の一部を売電し、地域通貨として発行することで、児童らの環境教育として使う「車のNeco2チップ」事業は、事実上、止まったままだ。教諭は「児童らは地域通貨を楽しみにしていた。市は児童にもわかりやすい説明をしてほしい」と訴える。

まほろば事業は、総事業費が約7億5000万円。04年度予算の約3億円のうち、国は約1億8500万円、市が残りの約1億2000万円を負担し、市内小・中学校19校に計23基の風車を設置した。全52校に計75基の風車が設置されて機能すれば、全校の年間消費電力の1割をまかなえ、一部を環境教育に充てることができるはずだった。

ところが、市民団体「市井ランダム倶楽部」が調査したところ、稼働した昨年7月から11月の発電量は、見込んでいた6万キロワットの0・002%しかない103キロワット。風車は当初からほとんど回らなかった。市は環境省と協議し、2カ所に風速計を設置して、風量などの調査を開始せざるを得ない事態になった。

■ずさんな計画

同倶楽部の亀山大二郎さんは「風車の設置前に早稲田大に依頼して作成された報告書に問題があった」と指摘する。

12

風車の出力特性

風のエネルギー(風車の出力)
⇒ 風速の3乗に比例

風速12m/sの時 **出力500W** の風車があったとする

↓
1/2の風速6m/sでは ⇒ **62.5W** (1/8) **250Wではない!**

↓
1/4の風速3m/sでは ⇒ **7.8W** (1/64) **125Wではない!**

13

風車の効率(風のエネルギーの何%取り出せるか)

プロペラ(揚力)型: 59.3% Betz Lanchester limit
ベッツ・ランチェスター限界

速度低減率 1/3 の時, 効率最大

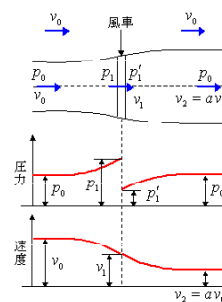
抗力型: 14.8%

この理論値+形状から来る揚力が作用するため実際は20%程度

以後で導出

風車の基礎理論

風車の効率(Betz limit)



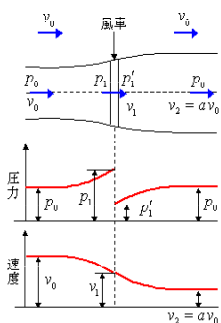
左図でBernoulliの法則から

$$p_0 + \frac{\rho}{2} v_0^2 = p_1 + \frac{\rho}{2} v_1^2$$

$$p_0 + \frac{\rho}{2} v_2^2 = p_1 + \frac{\rho}{2} v_1^2$$

従って風車前後の圧力差は

$$p_1 - p_1' = \frac{\rho}{2} (v_0^2 - v_2^2) \dots (1)$$



風車の受ける力Fは、運動量の法則から

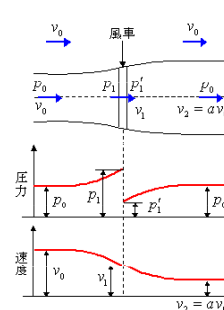
$$F = \pi R^2 (p_1 - p_1') = \pi R^2 \rho v_1 (v_0 - v_2) \dots (2)$$

(1)を(2)に代入すると

$$v_1 = \frac{v_0 + v_2}{2}$$

これを用いると、風車の理論出力Lは

$$L = F v_1 = \pi R^2 v_1 (p_1 - p_1') = \frac{\pi R^2 \rho (v_0 - v_2) (v_0 + v_2)^2}{4}$$



減速比 $a = v_2/v_0$ を用いて表すと

$$L = \frac{\pi R^2 \rho v_0^3 (1-a)(1+a)^2}{4} \dots \text{function of "a"}$$

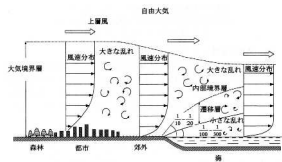
また、風を持つ動力 L_w は、

$$L_w = \frac{1}{2} \pi R^2 \rho v_0^3$$

理論効率 $\eta = L/L_w$ は次のようになる

$$\eta = \frac{(1-a)(1+a)^2}{2} \dots (3)$$

地上高と風速



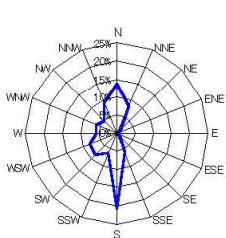
観測高さとハブ高さの補正

地表状態	Zo(cm)
短い草地	1~
長い草地・麦畑	4~
高さ10mの雑木林	50~
郊 外	100~
都市内	100~
海 面	0.001~

$$V_z = V_h \left(\ln \frac{z}{z_0} / \ln \frac{h}{z_0} \right)$$

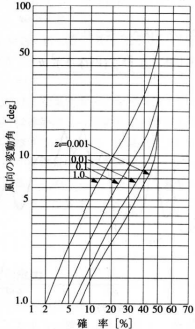
V_z, V_h : 地上高 z, h での風速
 z_0 : 粗度係数

風向の変動



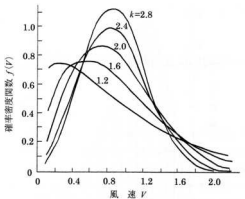
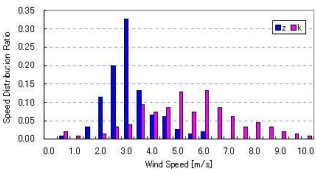
工学部上空の年間風配図

- ・卓越風向は南(約21%)
- ・但し北よりの風も約32%存在



風向変動の確率密度

風況の数学的表示 (ワイブル分布)



$$f(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{V}{c} \right)^k \right] \quad (k > 0, V > 0, c > 1)$$

 V : 風速
 $f(V)$: 風速の度数
 k : 形状定数 (shape parameter)
 c : 尺度定数 (scale parameter)

→ 風速度数の最大側は弱風側に片寄る。
→ 圧倒的にweibull分布が用いられる

確率密度の計算

風速 V が V_a 以上となる確率は

$$P(V \geq V_a) = \int_{V_a}^{\infty} f(V) dV = \exp \left[- \left(\frac{V_a}{c} \right)^k \right]$$

したがって、風速が V_a 以下となる確率は

$$P(V \leq V_a) = 1 - \int_{V_a}^{\infty} f(V) dV = 1 - \exp \left[- \left(\frac{V_a}{c} \right)^k \right]$$

また、 V_a を中央値とする 1m/s 以内の風速の確率は

$$P(V_a - 0.5 \leq V \leq V_a + 0.5) = \int_{V_a - 0.5}^{V_a + 0.5} f(V) dV$$

$$= \exp \left[- \left(\frac{V_a - 0.5}{c} \right)^k \right] - \exp \left[- \left(\frac{V_a + 0.5}{c} \right)^k \right]$$

$$\equiv f(V_a) \Delta V = f(V_a)$$

例題

※ワイブルパラメータ $k=2.0, c=5\text{m/s}$ のとき風速 6~7m/s の間の風速の確率はいくらになるか？

前スライドの式より $P(6.0 \leq V < 7.0) = f(6.5)$

$$f(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{V}{c} \right)^k \right] \quad (k > 0, V > 0, c > 1)$$

$$= \frac{2.0}{5} \left(\frac{6.5}{5} \right)^{2-1} \exp \left[- \left(\frac{6.5}{5} \right)^2 \right] = 0.096$$