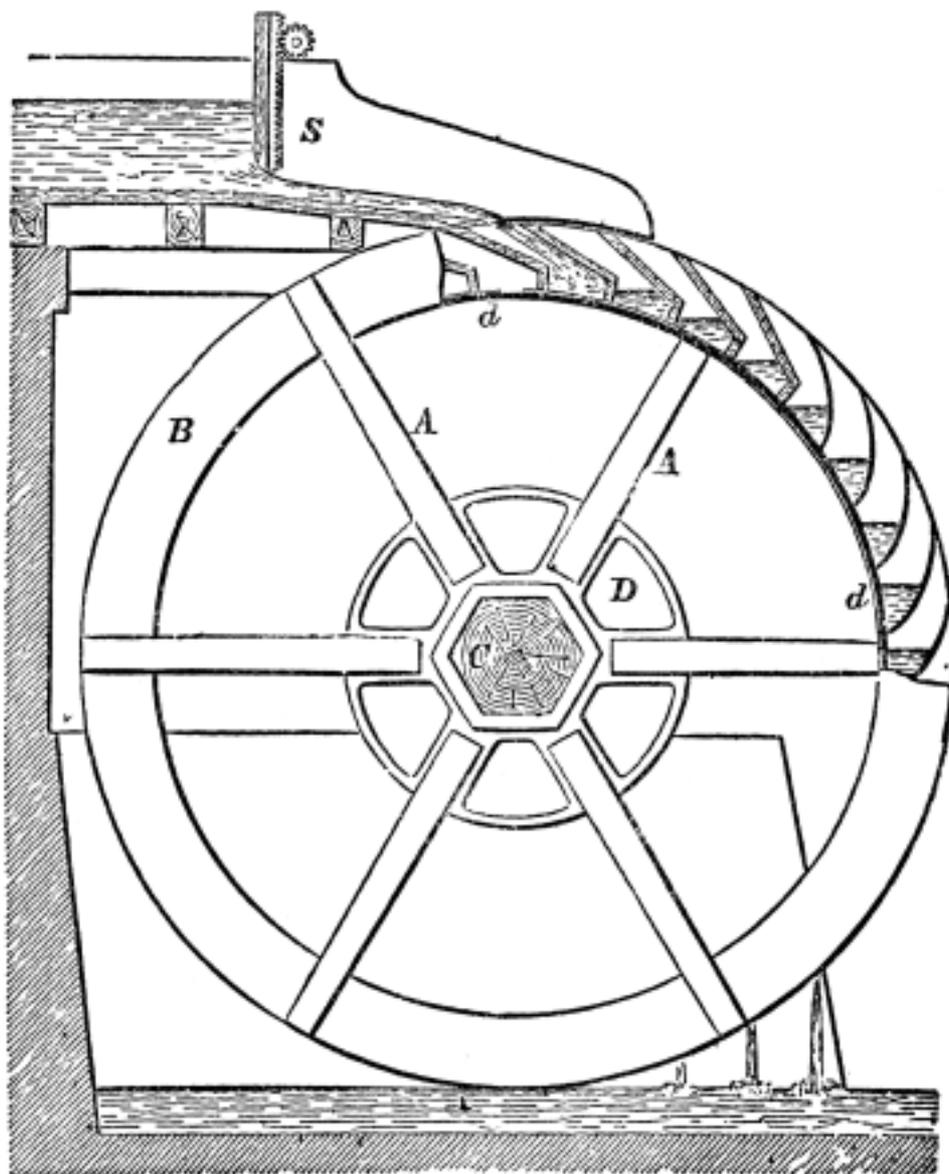


木製水車における出力計算の考え方



始めに：

地球を守る環境改善の一貫として、自然エネルギー利用が見直され、その中で昔見たと言われる、木製水車の回顧復帰が豊に増し、揚水や穀物の石臼に利用する事から、この頃は発電を望まれる事になって来ましたが、実際木製水車で発電予想を行なう事は、文献など調べても、多く出回っていません。発電専門の方々の文献も見受けられますが、素人には計算式は理解し難く、インターネットの時代に検索をかけても、明快な計算基準も見当たりません。

アメリカでの文献の中で、比較的わかり易い物を見つけましたので、以下お知らせしますが、エネルギー単位用語も多岐に渡る為、理解の為には各種換算表も必要で、可能な限りの換算表も本資料に取りいれました。

結論的に、木製水車発電は可能ですが、

- (1) 高低差を得る為には上掛け水車が望ましい
- (2) 増速でのエネルギーロスが多すぎ、大口径の水車からの発電量は思ったほど多くはありません。

簡単な目安は、従来の、発電量計算方式を応用し、目安をつけることで、予想は可能です。後は、出来るだけ低回転でも効率よく発電する発電機を利用し、蓄電池に貯め、有効利用する事で、木製水車発電の可能性を発揮出来ると信じます。弊社では低回転でも有効な発電を得られる特殊発電機を販売しています。

計算の基準； **比較参考演算式：kW=9.8×リッター・秒÷1000×高さM ×効率 0.65**

目次：

トルクについて	3 ページ
トルクの単位と換算表	4 ページ
単位の換算 動力の換算	4 ページ
フィッツ水車での出力計算(HP)	5 ページ
フィッツ水車での出力計算(トルク)	5 ページ
水車回転軸での馬力計算	6 ページ

1)トルクとは、回転軸にかかる力のことで、単位はN・m(ニュートンメートル)あるいはKgf・m

(キログラムメートル)。自転車で例えるならペダルをこぐ力の強さ。例えば、エンジンの最大トルク値が10kgf・m/5000rpmなら、エンジンが毎分5000回転しているときにクランク軸から1mの腕の先に10kgの力がかかるということになる。

トルクに毎分回転数という時間の概念(と係数 約0.0014)をかけたものが馬力(上記の例では $10 \times 5000 \times 0.0014 = 70$ 馬力)。つまり、高回転で高トルクを発生するエンジンほど馬力が高いといえる

2) kgf・mとは、トルク(力)を表す単位。

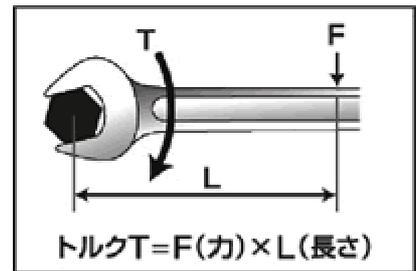
1 kgf・mは、1 kgの物体に9.8m/s²の加速度(標準重力加速度)を生じさせる力の大きさ。

新計量法(1993年)の施行によるSI単位(ISO国際規格)「N・m」への変更まで主流だった。

N・mで表すと、1 kgf・mは約10 N・mに相当する。

3)トルクとは

右図のように、Lの長さのレンチ()でFの力をかけた時にボルトに与える回転力Tの事です。例えば、1mの長さのレンチで100N(約10kgf)の力をかけた時のトルクは100N・m(約10kgf・m)となります。



れ
か

$$F(100\text{N}) \times L(1\text{m}) = T(100\text{N} \cdot \text{m})$$

また、200mmのレンチで10N・m(約1kgf・m)のトルクをかける場合に必要な力は50N(約5.1kgf)となります。

$$F(\text{力}) \times L(0.2\text{m}) = T(10\text{N} \cdot \text{m})$$

$$F(\text{力}) = T(10\text{N} \cdot \text{m}) \div L(0.2\text{m}) = 50\text{N}$$

正確には、Lはボルトの回転軸から力をつける点までの距離(右図参照)ですが、このページ内では説明を容易にするため、レンチの全長をLと表現しています。

トルクの単位は以前はkgf・m(キログラムメートル)が用いられていましたが、1993年に施行された「新計量法」によりSI単位(ISO国際規格)への移行が義務づけられ、現在では力の単位にはN(ニュートン)、トルクの単位にはN・m(ニュートンメートル)が使われています。1N・mは0.10197kgf・mで、逆に1kgf・mは9.8067N・mとなります。実際の作業においては1kgf・mは約10N・mと考えれば目安となるでしょう。

$$1\text{kgf} \cdot \text{m} = 9.8067\text{N} \cdot \text{m}$$

$$1\text{kgf} \cdot \text{m} \approx 10\text{N} \cdot \text{m}$$

$$1\text{N} \cdot \text{m} \approx 0.1\text{kgf} \cdot \text{m}$$

デジラチェの測定単位もN・mですが、換算機能により設定値や測定値をkgf・m、lbf・in、lbf・fに切り替えられます

4)

トルクの単位と換算表			
	重力単位系 (kgf・cm)	SI 単位系 (N・m)	インチ・ポンド 単位系
トルクの単位	kgf・cm kgf・m gf・cm	N・m N・cm kN・m	lbf・in lbf・ft ozf・in
同一単位内の換算	1kgf・m = 100kgf・cm 1kgf・cm = 1000gf・cm 1kgf・cm = 10kgf・mm	1N・m = 100N・cm 1kN・m = 1000N・m	1lbf・ft = 12lbf・in 1lbf・in = 16ozf・in
他系列単位間の換算	1kgf・cm = 0.09807N・m 1kgf・cm = 0.8680lbf・in 1kgf・cm = 0.07233lbf・ft	1N・m = 10.20kgf・cm 1N・m = 8.850lbf・in 1N・m = 0.7376lbf・in	1lbf・in = 1.152kgf・cm 1lbf・in = 0.1130N・m 1lbf・ft = 13.83kgf・cm 1lbf・ft = 1.365N・m
力の単位	1kgf = 9.807N 1kgf = 2.205lbf	1N = 0.1020kgf 1N = 0.2248lbf	1lbf = 0.4536kgf 1lbf = 4.448N (1lbf = 16ozf)
長さの単位	1cm = 0.3937in	1m = 3.281ft	1in = 2.540cm 1ft = 0.3048m (1ft = 12in)

1in=2.54cm/1ft=30.4cm/1lb=0.454kg/1in・lbs=1153kgf・cm/1ft・lbs=13.83kgf・cm/1kgf・cm=0.8673in・lbs

5) 単位の換算 動力の換算

kW キロワット	PS (公馬力)	HP (英馬力)	kgf・m/s	ft.lbf/s	kcal/s	Btu/s
1	1.3596	1.341	101.97	737.6	0.2388	0.9478
0.7355	1	0.9863	75	542.5	0.17567	0.6971
0.7457	1.01387	1	76.04	550	0.17811	0.7068
0.00980665	0.013333	0.01315	1	7.233	0.002342	0.009295
0.0013558	0.001843	0.001818	0.138260.251996	1	0.0003238	0.001285
4.1868	5.692	5.615	426.935	30883412.1	1	3.968
1.0551	1.4345	1.4149	107.96	778.17	0.252	1

1 W = 1 J/s

1 HP (horse power : 英馬力) = 746 W (廃止された)

1 PS (pferdestrike の略 : 公馬力) = 735.5 W = 0.7355 kW = 75 kgf・m/s

1 kcal = 4.1868 kJ (国際蒸気表カロリー、1956年)

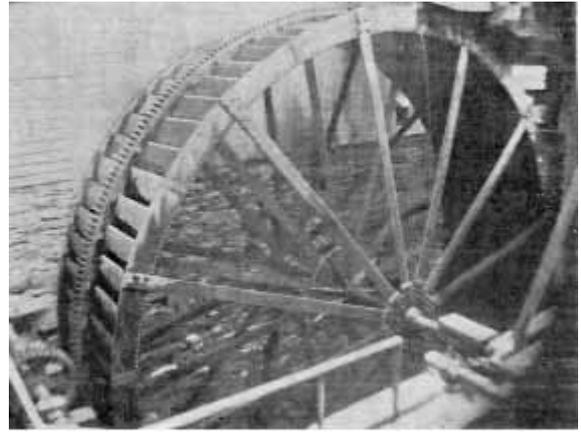
車のエンジンなどは馬力を使い馴れているので、

1 kW = 1.34 HP (英馬力)

1 kW = 1.36 PS (公馬力)

6) フィッツ水車(USA)での出力計算 (HP)

研究者 R.L. Omland 氏は1984年古い水車の保存協会に対しフィッツ水車の研究論文を発表しその背後に得られた数式を解明し、ここに参考になる数式を示します。



フィッツ水車の特徴はバケットの寸法が統一され 1 フィート(30.48cm)の幅で 2.7cfm(=1.27 リッター・秒)の水を受ける事が判明していました。バケット数は水車のフィート単位での円周に比例し、間隔は 1 フィートごとに位置しています。従って、一台の水車におけるバケット数(n)を次の方法で決定する事が可能です。

$$(n) = \text{円周率} \times (\text{Diameter}) \text{ 直径}$$

nの数が解れば間隔の計算は、s(スペース) = (円周率 × 直径)/n となります。水車に流れ込む水の速度は水車回転の 2 倍となります。水車の回転軸での馬力を知るには、水車の直径 (D) と水量(cfs=一秒辺りの立方フィート)(Q), 係数 0.1135, 最後に水車の効率%

$$\text{HP} = 0.1135 \times Q \times D \times \text{効率}$$

7) フィッツ水車でトルクの計算方式：上掛水車のトルク計算は以下の方式が便利です。

例えば直径 32 フィート(9.75m)、幅 4 フィート(1.2m)の水車を例に取ります。

トルクは、ポンド単位での水の重さが、軸へのてことして作動し、水車直径の半分が有効に働き、ポンドフット単位では以下のように計算出来ます。

$$\text{トルク} = (f) \times (\text{円周率}) \times (w) \times (D \times d - d^2) \times (15.605) \times D$$

f = バケットの充填係数(通常運動中はバケット内に 1/5 の水が保持されるので係数を 0.2 とします)

円周率 = 3.14159

w = フィート単位でのバケットの幅

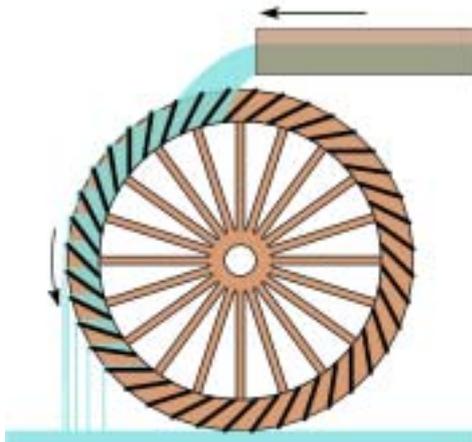
D = フィート単位での水車の直径

d = フィート単位でのバケットの円形深さ = この場合約 8 inches = 0.666 foot

15.605 = 水車で係数で水の重さとその外の要因が混在した物

$$\text{トルク} = (0.2)(3.14159)(4)[(32)(0.666) - (0.666^2)](15.605)(32) = \underline{26,191 \text{ foot-pounds}}$$

Dr. John Lovett Jr.



8) 水車回転軸での馬力計算 (HP)

上段・下段に注意

水車回転軸での馬力計算(水車効率 85%)						
		水車直径				
US ガロン/分 リッター・秒		10 フィート 3 メーター	12 フィート 3.7 メーター	15 フィート 4.5 メーター	18 フィート 5.5 メーター	20 フィート 6.1 メーター
Cft/sec 0.223	100 6.3	0.215	0.258	0.322	0.387	0.430
0.446	200 12.62	0.430	0.515	0.644	0.773	0.859
0.668	300 18.93	0.644	0.773	0.966	1.160	1.289
0.891	400 25.24	0.859	1.031	1.286	1.546	1.718
1.114	500 31.55	1.074	1.289	1.611	1.933	2.148
1.783	800 50.47	1.718	2.062	2.577	3.093	3.436
2.228	1000 63.10	2.148	2.577	3.222	3.866	4.295
3.342	1500 94.64	3.222	3.866	4.832	5.799	6.443
4.456	2000 126.18	4.295	5.155	6.443	7.732	8.591
6.680	3000 189.27	6.443	7.732	9.665	11.598	12.886

Cft/sec=キュービックフィート・秒

水量と水車の直径から馬力を計算する方法

例：水量 800 ガロン・分、15 フィート直径の水車

馬力演算式：係数×水量×高さ×効率

$$HP=0.1134 \times 1.783 \times 15 \times 0.85 = 2.577HP$$

係数の算出基準： 係数 = (ポンドでの水の重さ) ÷ (フィートポンド・秒)

$$=(62.42 \div 550.221) = 0.113491$$

1 HP=746 ワット： 水車から電気を生み出すには、先ず水車の回転数を 300 から 600%ギアで加速しなければならない。そして、そこから発電機を回転させる必要がある。この変換で軸の発電量が 1/3-1/2 に低下する。基本的に水車は機械作業のエネルギーに適する事が理解できる。

Aug 2008