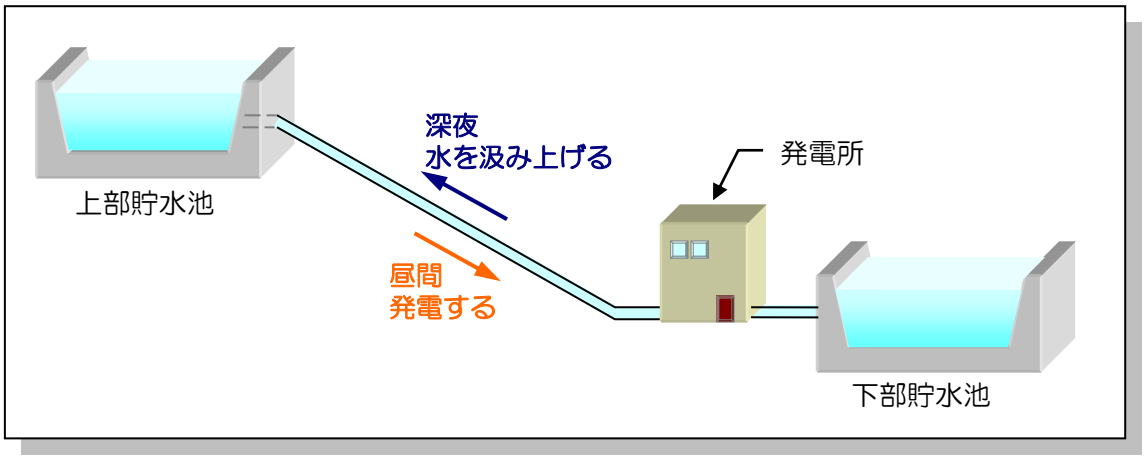
揚水発電 No.1

揚水発電のしくみ

揚水発電は 上部貯水池 と 下部貯水池 の 2 つの貯水池を持ち、深夜等の電力使用量の少ない時間帯に「ポンプ(と電動機)」で上部貯水池に水を汲み上げ、昼間のピーク電力時に 上部貯水池から水を流し「水車(と発電機)」を回して発電する方式のことです。



揚水発電では、電力使用量の少ない時間帯に余剰電力で揚水ポンプを回して上部貯水池に水を汲み上げ、電力消費の多い時間帯に放水して発電します。
つまり、夜間等の余剰電力を昼間のピーク時に使用できる利点があります。(＊1)

また近年では、太陽光発電の普及によって昼間に電力の余剰が発生し、その電力を揚水ポンプの汲み上げに使用するケースもあります。

注釈

(＊1)
揚水発電は、余った電力を蓄電して電力需要の多い時間帯に放電するという大容量蓄電装置としての働きをしている。超大容量バッテリーがあればそれに代わると思うが、今の技術では難しいので揚水発電が行われている。
また、深夜に余剰電力があるなら「夜間は発電所を停止すればいいのでは？」と思うかもしれないが、原子力発電や自然の力を利用した水力、風力、地熱発電などのベースロード電源(ベース電源)は 24 時間稼動していて停止できない(停止しにくい)発電方法になる。
したがって深夜には余剰電力が発生する。

揚水発電所の主要機器

揚水発電所の主要機器には水車、発電機、ポンプ、電動機があります。

水車と発電機

水車と発電機はセットで使われるもので、同一軸上に設置されています。

水車が水の流れを受けて回転すると、同一軸上にある発電機も回転して発電します。
揚水発電では、上部貯水池から下部貯水池へ放水するときに使われます。

ポンプと電動機

ポンプと電動機もセットで使われるもので、同一軸上に設置されています。

電動機を回転させれば、同一軸上にあるポンプも回転して水を汲み上げます。
揚水発電では、上部貯水池に水を汲み上げるときに使われます。

発電機 と 電動機

「発電機」と「電動機」は ほぼ同じ構造のもので、水車の力(水のエネルギー)を使って回せば「発電機」になるし、電気の力を使って回せば「電動機」になります。
したがって、揚水発電所に一台の発電機(電動機)があれば、発電機／電動機兼用の機器として使用することができます。
発電機／電動機兼用の機器として使用する場合、これを**発電電動機**と言います。

発電機・・・水車の力(水のエネルギー)を使って発電する機器
電動機・・・電気の力を使ってポンプを回すための機器
発電電動機・・・発電機としても電動機としても使用できる機器

水車 と ポンプ

「水車」と「ポンプ」は似たような構造のもので、水の力を使って回したときには「水車」、電動機の力を使って回したときには水を汲み上げるための「ポンプ」になります。
したがって、理屈としては揚水発電所に一台の水車(ポンプ)があれば、水車／ポンプ兼用の機器として使用することができます。

しかし実際には、水車とポンプを兼用の機器として使用する場合には、「**ポンプ水車**」という専用の機器が必要になります。

水車・・・水の力で回転するもの
ポンプ・・・回転させて水を汲み上げるもの（水の圧力を高め、水を高所へと送るもの）
ポンプ水車・・・水車としてもポンプとしても使用できるもの

機器配置による分類

揚水発電所には水車、発電機、ポンプ、電動機が設置されていますが、その配置方法により次の 3 つの方式に分けられます。

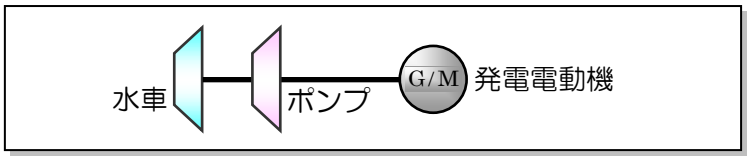
(1) 別置式
(2) タンデム式
(3) ポンプ水車式

(1) 別置式

「**水車**ー**発電機**」と「**ポンプ**ー**電動機**」を別々に設置する方式。

(2) タンデム式

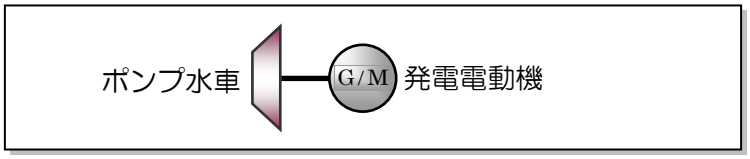
「**水車**ー**ポンプ**ー**発電電動機**」を同一軸上に設置する方式。



発電時には水車が水を受けて回転、同一軸上にある**発電電動機**を回転させ発電する。
揚水時には**発電電動機**でポンプを回して上部貯水池に水を汲み上げる。
発電電動機は、放水時には発電機として働き、揚水時には電動機として働きます。

(3) ポンプ水車式

「**ポンプ水車** ー **発電電動機**」を同一軸上に設置する方式。



ポンプ水車は、放水時には水車として働き、揚水時にはポンプとして働きます。
発電電動機は、放水時には発電機として働き、揚水時には電動機として働きます。

(3)の**ポンプ水車式**は、機器の数が少ないので建設費が安くなり、
(1)の**別置式**は、機器の数が多いので建設費が高くなります。
別置式は建設費が高くなるので、現在ではほとんど使われていません。

揚水電力

水を汲み上げるときに必要となる電力（揚水電力）を求める式は次のようになります。

公式

揚水ポンプが、毎秒 Q[m³]の水を 全揚程 H[m] 汲み上げるのに必要とする電力を求める公式

$$P = \frac{9.8\,QH}{\eta_p\,\eta_m}$$

P [kW]： 揚水電力（ポンプ入力）
Q [m³/s]：1 秒当たりの水の流量
H [m]： 全揚程
η_p： ポンプ効率
η_m： モーター効率

全揚程 H は、次の式で求められます

全揚程 H = 総落差 ＋ 損失水頭 （＊2）

<u>出力を求める場合の落差 と ポンプ電力を求める場合の落差</u>

前項に出てきた、水力発電の出力を求める式 $P = 9.8\,Q\,H\,\eta_t\,\eta_g$ では、式中の **H** は**有効落差**を表します。
<u>水力発電の出力を求める式</u> の H は**有効落差、**
<u>揚水発電のポンプ電力を求める式</u> の H は**全揚程、**
このように、2 つの式では H の値は違うものになります。

水力発電の出力を求める式（揚水発電の出力を求める式）

$P = 9.8\,Q\,H\,\eta_t\,\eta_g$

引く

この場合の H を求める式は、 有効落差 H = 総落差 － 損失水頭

（総落差 から 損失水頭 を差し引く）

揚水発電のポンプ電力を求める式

$$P = \frac{9.8\,QH}{\eta_p\,\eta_m}$$

足す

この場合の H を求める式は、 全揚程 H = 総落差 ＋ 損失水頭

（総落差 に 損失水頭 を加える）

注釈

（＊2）

損失水頭（損失落差）

水路や水圧管 と 水との摩擦によるエネルギー損失に相当する高さのことを
損失水頭(損失落差)と言います。