

電験三種 GOLD

# 電力テキスト

株式会社 メディアファイブ

# 目次

## 電験三種 GOLD [電力テキスト]

### 1 水力発電

---

1. 水車の種類と適用（使用水量、落差） 4
2. 水車の比速度と回転速度 20
3. 水力発電所の出力 31
4. 水車の速度変動率と速度調定率 44
5. ダムおよび水路工作物の種類 49
6. 揚水発電所の出力と揚水電力および揚水電力量 57

### 2 汽力発電

---

1. 汽力発電所の熱サイクル 68
2. ボイラ・タービン・復水器と付属設備 81
3. 効率計算 97

### 3 原子力発電所

---

1. 原子力発電の種類 108
2. 核燃料、減速材、冷却材、制御材 127

### 4 その他の発電

---

1. ガスタービン発電、ディーゼル発電 148
2. コンバインドサイクル発電・背圧式蒸気タービン発電 157
3. 燃料電池、地熱、風力、太陽電池 169

### 5 送配電設備

---

1. 変圧器の運用（平行運転、結線） 180

2. 電力用コンデンサと力率改善 189
3. 分路リアクトルと同期調相機の運用と特性 198
4. 開閉設備とその特徴 209
5. 短絡電流と遮断機の遮断容量 225
6. 保護継電器の種類と特徴 239

## 6 送配電線路

---

1. 送電方式と送電容量 256
2. 電線、支持物、碍子と付属設備、電線の振動と原因および対策 313
3. 避雷器、異常電圧（内部、外部）とコロナ、絶縁協調 349
4. 電線のたるみ（弛度(ちど)) 371
5. 誘導障害 387

## 7 電力ケーブル

---

1. 電力ケーブルの種類と特徴 398
2. ケーブルの充電電流と充電容量、ケーブルの布設と許容電流および送電容量 420
3. ケーブルの故障点標定法 440
4. 中性点接地方式とその特徴、1線地絡電流の計算 449
5. 送配電線の電圧降下と線路損失 472

## 8 電気材料

---

- 導体・抵抗・絶縁・磁性材料 502

# 1 水力発電

---

# 1 水力発電

## 1. 水車の種類と適用（使用水量、落差）

学習の目的：水力発電所で使う水車の構造や特徴を理解する。

### （1）水車の適量落差

水車には、大きく分けて、ペルトン水車・フランシス水車・斜流水車・プロペラ水車・クロスフロー水車が、あります。プロペラ水車のうちで、落差や水量の変化によってランナ羽根の角度を変えるものを**カプラン水車**といいます。**円筒（チューブラ）水車**は、水中の円筒ケーシング内に発電機などを収め、その後部にガイドベーン・ランナ羽根を設置したものです。斜流水車のうちで、落差や水量の変化によってランナ羽根の角度を変え、効率の良い運転が可能な水車を**デリア水車**といいます。

各水車の特性は、下の表となります。

表 水車の諸特性

水車の種類	比速度の限界 [m・kW]	比速度の範囲 [m・kW]	使用水量 [m <sup>3</sup> /s]	適用落差 [m]
ペルトン水車	$N_s \leq \frac{4300}{H+195} + 13$	15～25	小	150～800
フランシス水車	$N_s \leq \frac{2100}{H+25} + 35$	70～350	大	40～500
斜流水車	$N_s \leq \frac{2000}{H+20} + 40$	140～350	大	40～180
プロペラ水車	$N_s \leq \frac{2100}{H+17} + 35$	250～980	大	5～80
クロスフロー水車	$90 \leq N_s \leq 110$		中	10～100

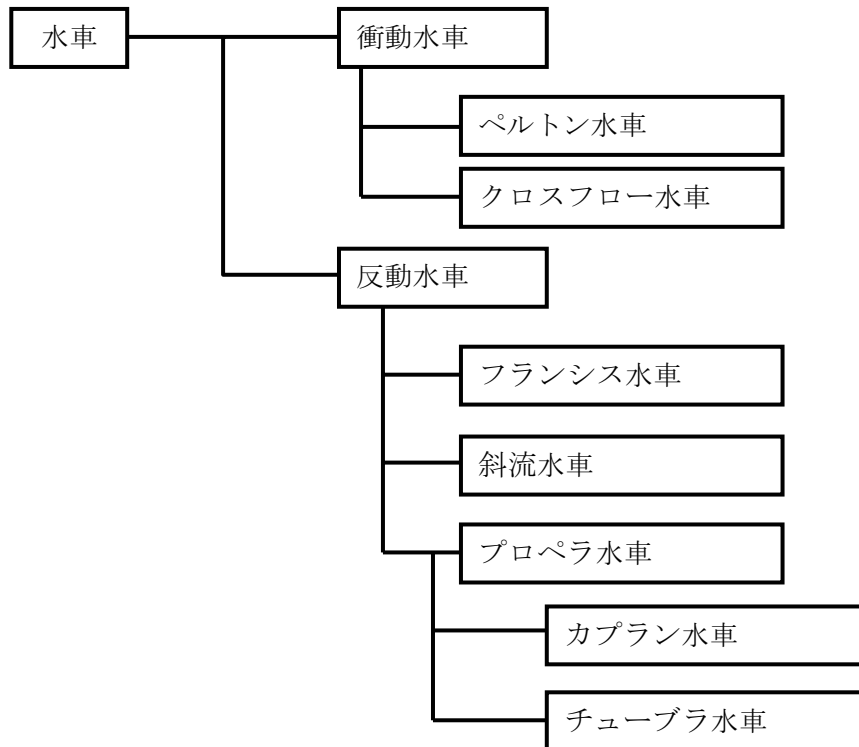
一般に、ペルトン水車は高落差小流量に、フランシス水車は中落差大流量に、プロペラ水車は低落差大流量に適用します。

水力発電所の水車形式を選ぶ場合、落差によってはフランシス水車とカプラン水車が競合する場合があります。

フランシス水車に比べてカプラン水車は、比速度を大きくとれるので回転速度が大きくなり、発電機は経済的です。また、カプラン水車の方が、高価であり、メンテナンスも複雑とされているが、部分負荷特性が良いので、流入量の変化する流込式発電所では有利となります。

(2) 各水車の形状

水車は、次のような区分方法と種類があります。  
まず衝動水車と反動水車の区分です。



1) 衝動水車

a) ペルトン水車

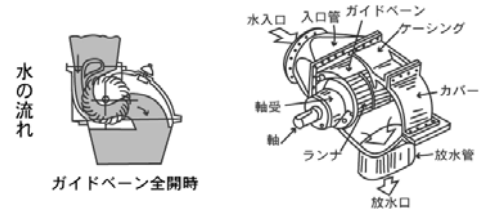
ペルトン水車は、バケットという水を受けるところに、ノズルから流水を勢いよく噴出して、流水の衝動でランナを回転させます。



a) ペルトン水車

b) クロスフロー水車

クロスフロー水車は、昔使われていた田畑に水を入れるときの水車のような形状をしています。流水は、半径方向から流入し衝動でランナを回転させて反対側の半径方向に流出します。中小容量用です。



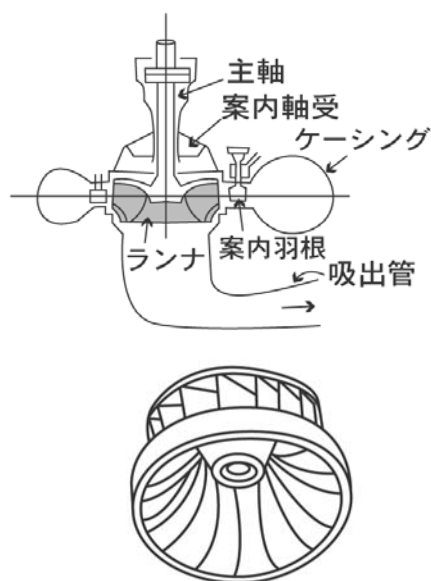
b) クロスフロー水車

2) 反動水車

c) フランシス水車

フランシス水車は、右図のような形状をしています。流水の流入は、半径方向からで、流出は、軸方向となります。

縦に置くことができる水車です。また、反動水車ですから吸出管を使い水車と放水面の落差を有効落差として回収できる水車です。高落差・大容量用の水車です。

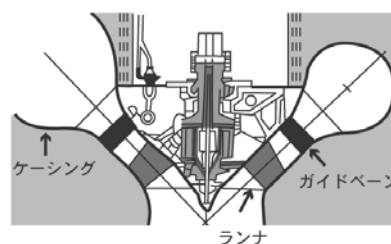


ランナを斜め下より見る

c) フランシス水車

d) 斜流水車

斜流水車は、流水を水車内で斜めに流す水車です。ランナは、可動羽根として、流量による効率低下が少ない水車です。



d) 斜流水車

3) プロペラ水車

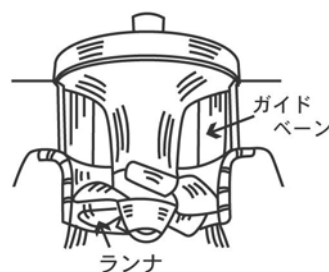
プロペラ水車は、ランナが船のスクリューのような形状をしていて、特に可動羽根構造のプロペラ水車を、次のカプラン水車やチューブラ水車と呼びます。

e) カプラン水車

カプラン水車は、ランナが右図のように縦に設置されています。

流水は、ランナを軸方向から流入し、軸方向に流出します。

また、ランナは、可動羽根となっており流量での効率低下を少なくしています。



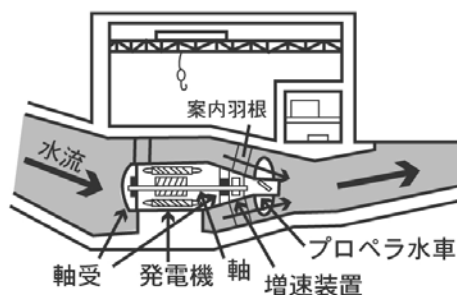
e) カプラン水車

## 1. 水車の種類と適用（使用水量、落差）

### f) チューブラ水車

チューブラ水車は、カプラン水車の水車と発電機を一体として、流水内に設置したものです。

低落差・大容量用です。



f) チューブラ水車

### (3) ペルトン水車とその特徴

ペルトン水車は、下図のような構成となります。

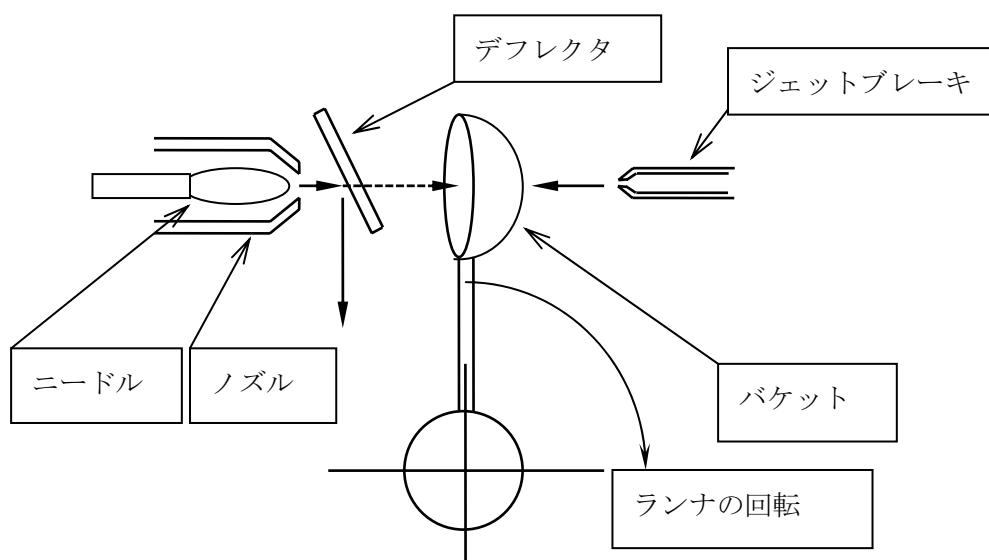


図1 ペルトン水車

図で示すようにペルトン水車は、ニードル、デフレクタ及びジェットブレーキを有する水車です。

それぞれの役割は、

ニードル：ノズルから噴出する水量を調節するバルブです。

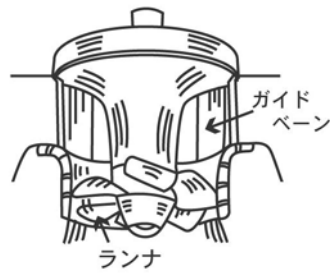
デフレクタ：デフレクタは、ノズルから噴出する水の流をそらして、バケットに当たらないようにする板です。ランナの回転を止めるときに使用します。

ジェットブレーキ：ジェットブレーキは、ランナの回転を素速く止めるためにバケットに回転と逆方向から水を当てるものです。

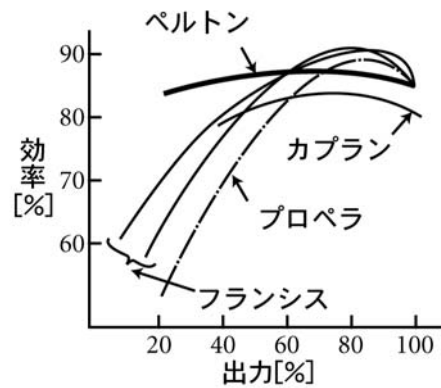
となります。

そして、ペルトン水車は、比較的**高落差**、**小水量**の地点に適した水車で、流量の変化に対する**効率**の変化が小さいため、年間の河川流量の変化が**大きい**流込式発電所に適しています。





e) カプラン水車



ペルトン水車は、衝動水車に分類され、高落差・小水量の発電所に多く採用されます。逆に低落差や大水量の発電所には、採用されない水車です。

そして、部分負荷の場合は、ノズル数を変えることによって、流量を変えることができるので、部分負荷特性があまり低下しません。

また、揚水用のポンプ水車として利用される水車は、反动水車です。ペルトン水車は、衝動水車ですから、揚水用のポンプ水車として利用されません。

#### (4) プロペラ水車（カプラン水車）とその特徴

**カプラン**水車は、プロペラ水車の一種です。特徴としては、羽（ランナ）の角度を調整することで、流量が変化しても効率低下の少ない事です。

また、低落差で使用する水車で、**中大容量**の発電所に適した**反动**水車です。

1. 水車の種類と適用（使用水量、落差）

（5）各水車の構成

水車は、次のものから構成されています。

区分	機器名称	用途・役割
回転部	ランナ	水流によって回転する部分で発電機に接続されています。
水量調節部	ガイドベーン ニードル	ランナに流入する水量を調節する部分です。ニードルは、ペルトン水車に使われます。
導水部	スピードリング ケーシング ステーベーン	圧力管路から水車へ流水を整流しながら導く部分に使われます。
放水部	吸出管 ハウジング	ランナからの流水を河川に放流する部分です。
水車の補機部	入口弁 调速装置 潤滑油装置 圧油装置 給排水装置 空気圧縮装置	ランナを停止している時に流水を止めるベンドです。 ランナの回転を一定にする装置です。 回転部分に潤滑油を供給する装置です。 機器を駆動するための圧油を供給する装置です。 冷却水や不要な水を排水する装置です。 圧油装置とともに駆動に利用したり、水面高さを調整するときを使う装置です。

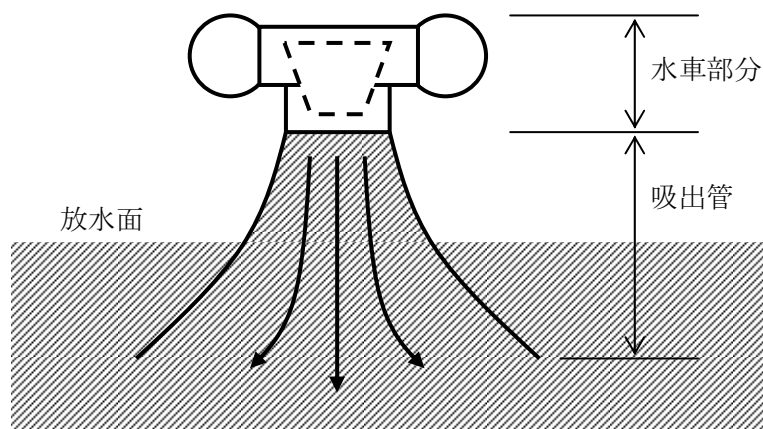
（6）反動水車、衝動水車

圧力水頭をもつ流水をランナに作用させる水車を**反動**水車と呼びます。この反動水車の中には、流水が半径方向にランナに流入し、ランナ内において軸方向に向きを変えて流出する構造の**フランシス**水車、ランナを通過する流水方向が斜めの**斜流**水車、ランナを通過する水が軸方向に流れる**プロペラ**水車があります。

反動水車は、流水の反動で回転するので、流水とランナの回転方向が逆になります。反動水車に対して衝動水車というのがあります。衝動水車の代表は、ペルトン水車です。衝動水車の流水とランナ回転方向は、同じになります。

### (7) 吸出管

吸出管は、下図のようになっています。



そして、吸出管は、水車ランナと**放水**面との間の**落差**を有効に利用して、ランナから放出する水の運動エネルギーを**位置**エネルギーとして回収する目的で設置されています。

### (8) キャビテーション

水車では、キャビテーションと言う現象があります。

キャビテーションとは、流水に触れる機械部分の表面やその表面近くに**(ア) 空洞**が発生することです。キャビテーションが発生すると、水が蒸発し、水の中にとけ込んで存在している空気が遊離してあわを生じます。このあわは流水とともに下流へ流れますが、圧力の**(イ) 高い**ところに出会うと急激に**(ウ) 崩壊**して大きな衝撃を生じ、流水に接する金属面を壊食したり、振動や騒音を発生させ、また、**(エ) 効率**を低下させます。キャビテーションの発生を防止するため、**(オ) 反動**水車では吸出し高さを適切に選定する必要があります。

キャビテーションは、上に記述してあるように、水車に対して、悪い影響があります。そのため、キャビテーションの発生を防ぐようにする必要があります。

キャビテーションの発生を防ぐ方法としては、次のことが行われます。

- 1) 水車の比速度を定められている範囲内に入るようにして、高くし過ぎないようにする。
- 2) 吸出管の高さを高くし過ぎないようにする
- 3) 負圧になる部分では、空気を送気する。
- 4) ランナなどの表面を円滑にして流水を滑らかに流す。
- 5) 部分負荷運転や過負荷運転を避ける。
- 6) また、キャビテーションが起こる場所は、壊食し難い材料を使う。

などです。

1. 水車の種類と適用（使用水量、落差）

では、例題で学習してみましょう。

**例題 1**

水力発電所の水車形式を選ぶ場合、落差によってはフランシス水車とカプラン水車が競合する場合があるが、**(ア)**水車の方が比速度を大きくとれるので回転速度が**(イ)**なり、発電機は経済的である。また、水車は、**(ウ)**水車の方が、高価であり、メンテナンスも複雑とされているが、部分負荷特性が良いので、流入量の変化する流込み式発電所では有利となる。

上記の記述中の空白箇所（ア）、（イ）及び（ウ）に記入する字句として、正しいものを組み合わせたのは次のうちどれか。

- (1) (ア) カプラン      (イ) 小さく      (ウ) カプラン
- (2) (ア) カプラン      (イ) 小さく      (ウ) フランシス
- (3) (ア) フランシス      (イ) 小さく      (ウ) フランシス
- (4) (ア) フランシス      (イ) 大きく      (ウ) カプラン
- (5) (ア) カプラン      (イ) 大きく      (ウ) カプラン

★解答は 19 ページ

**【解説】**

水力発電所の水車形式を選ぶ場合、落差によってはフランシス水車とカプラン水車が競合する場合があります。**(ア) カプラン**水車の方が比速度を大きくとれるので回転速度が**(イ) 大きく**なり、発電機は経済的です。また、水車は、**(ウ) カプラン**水車の方が、高価であり、メンテナンスも複雑とされているが、部分負荷特性が良いので、流入量の変化する流込み式発電所では有利となります。次の図を見て、覚えてください。

水車の種類	比速度の限界[m・kW]	比速度の範囲 [m・kW]	適用落差[m]
ペルトン水車	$N_s \leq \frac{4300}{H+195} + 13$	15~25 <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">小</span>	150~800 <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">大</span>
フランシス水車	$N_s \leq \frac{21000}{H+25} + 35$	70~350	40~500
斜流水車	$N_s \leq \frac{20000}{H+20} + 40$	140~350	40~180
プロペラ水車	$N_s \leq \frac{21000}{H+17} + 35$	250~980 <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">大</span>	5~80 <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">小</span>
クロスフロー水車	$90 \leq N_s \leq 110$		10~100