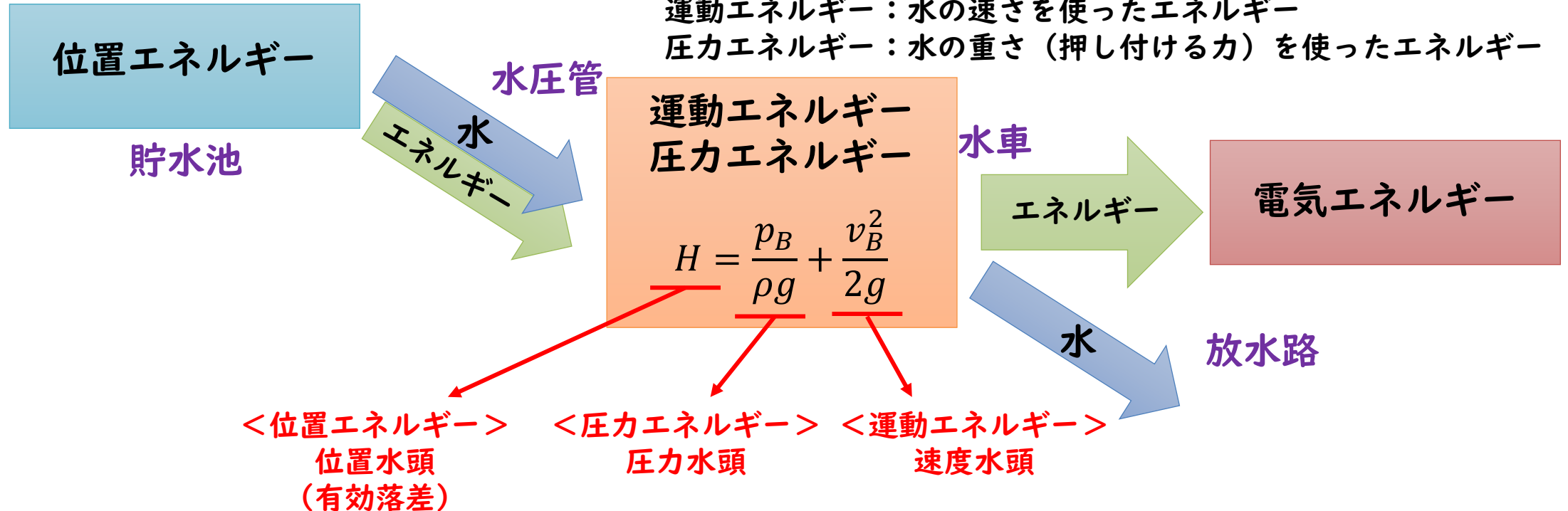


電験二種 オンライン講座

電力管理 水力発電 水力発電の仕組みと重要事項

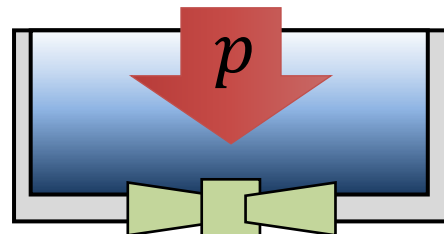
水力発電と水車



<圧力エネルギー>
圧力水頭

を使う水車→反動水車

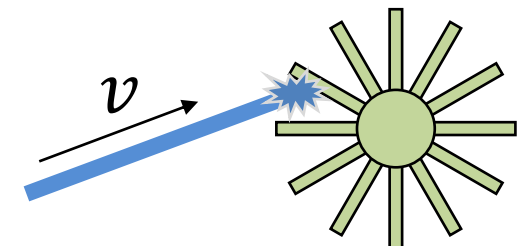
水の重み（圧力）で
押し込むように水車
を回転させる



<運動エネルギー>
速度水頭

を使う水車→衝動水車

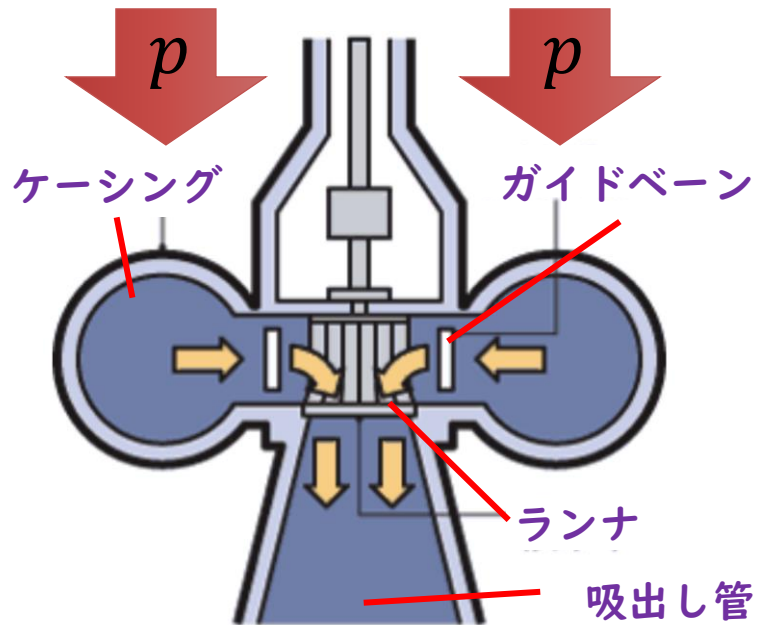
水を勢いよく
ぶつけて（速度）で
水車を回転させる



反動水車

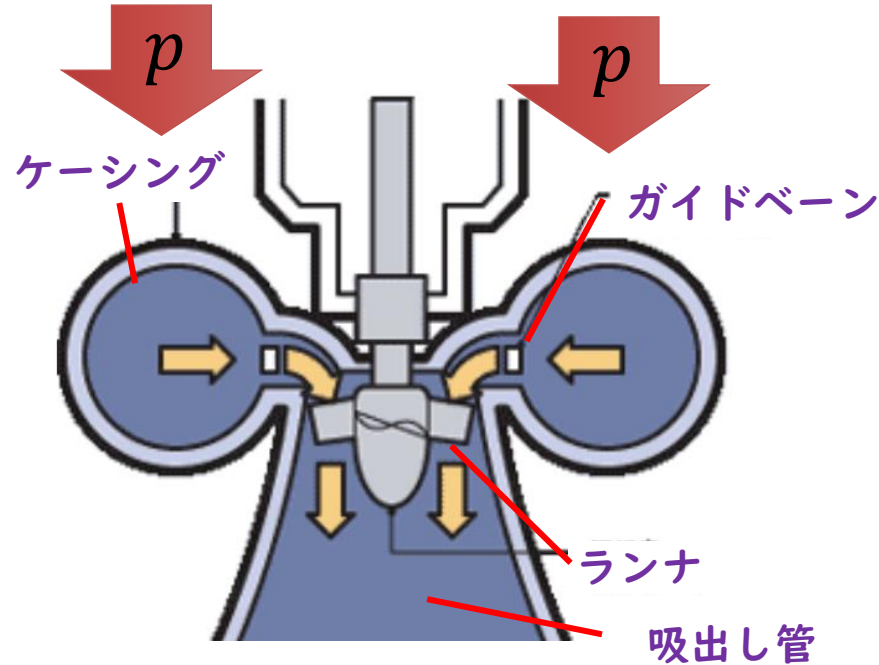
https://www.chuden.co.jp/energy/renew/ren_shikumi/wat_shikumi/suisha/

フランシス水車



ケーシング：ランナに水を送る
ランナ：水車の羽根の部分
ガイドベーン：水の流量を調整
吸出し管：ランナ出口から放水口までの管

プロペラ水車

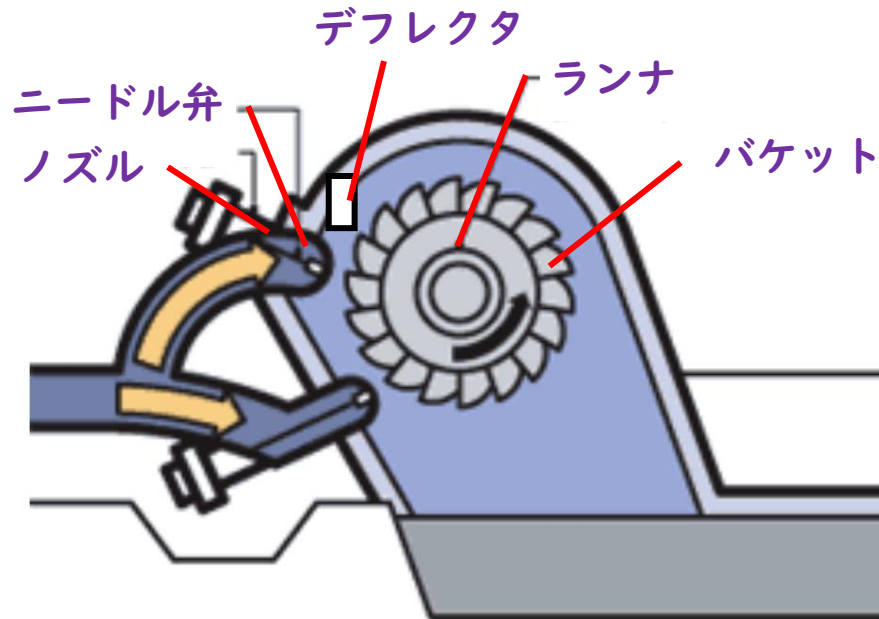


プロペラ水車は落差が小さく流量が多い発電所で採用される。
また、ランナを調整するために羽根が可動式になっているものをカプラン水車という。

衝動水車

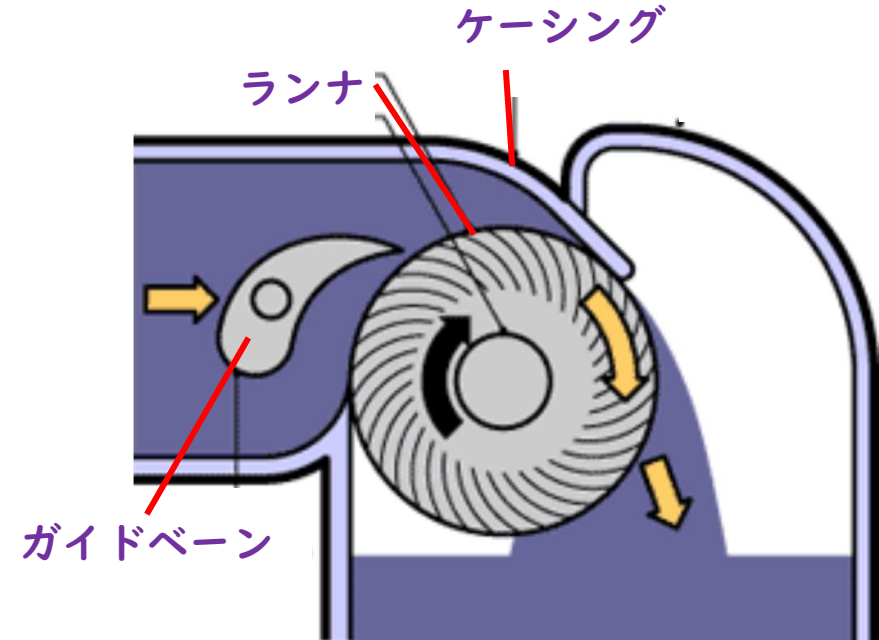
https://www.chuden.co.jp/energy/renew/ren_shikumi/wat_shikumi/suisha/

ペルトン水車



- ノズル：ランナに水を噴出する
- ランナ：水車の羽根の部分
- バケット：羽根の構造が水受けのようになっている
- ニードル弁：ノズルの噴出口の開閉を行い、流量調整をする
- デフレクタ：ノズルから噴出された水を遮る（ランナの停止用）

クロスフロー水車



部品構成はフランシス水車と同じだが、ランナの軸が水平方向についており、ランナは水の勢い（速度）により回転するため衝動水車である。

H28 問1

問1 水力発電所の部分負荷運転時における水車効率の向上策に関して、次の問に答えよ。

- (1) ペルトン水車の運用方法による部分負荷運転時の水車効率の向上策について説明せよ。
- (2) クロスフロー水車について、部分負荷運転時の水車効率を向上させる目的で設置する設備の特徴とともにその運用方法を説明せよ。
- (3) カプラン水車や斜流水車の運用方法による部分負荷運転時の水車効率の向上策について説明せよ。

部分負荷運転：定格よりも少ない流量で運転すること

H28 問1

部分負荷運転：定格よりも少ない流量で運転すること

問1 水力発電所の部分負荷運転時における水車効率の向上策に関して、次の問に答えよ。

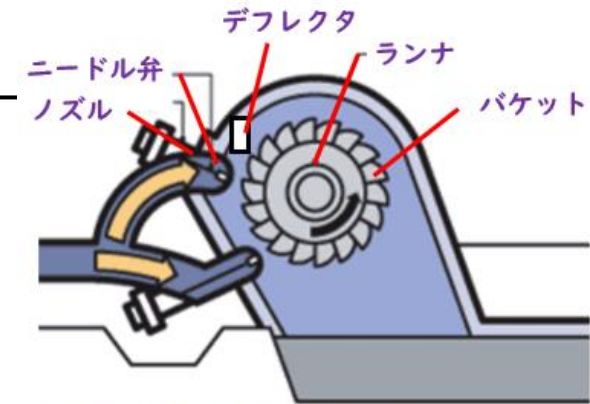
- (1) ペルトン水車の運用方法による部分負荷運転時の水車効率の向上策について説明せよ。

部分負荷運転時は使用するノズルの数を減らしたり、ニードル弁を閉じ、ランナに与える運動エネルギーが小さくならないようにすることで水車効率を改善できる。

- (2) クロスフロー水車について、部分負荷運転時の水車効率を向上させる目的で設置する設備の特徴とともにその運用方法を説明せよ。

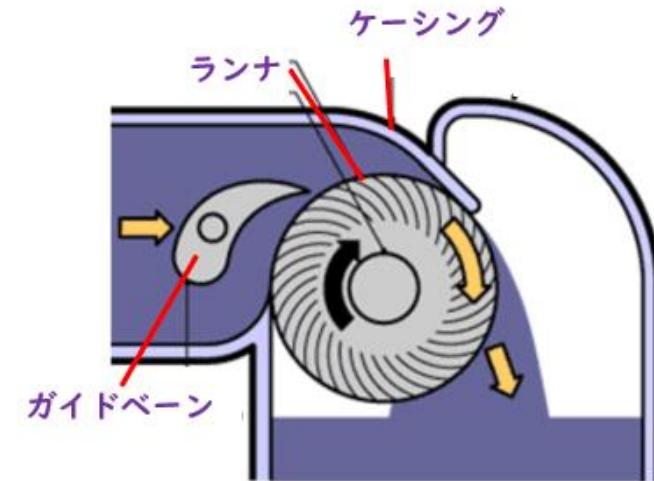
部分負荷運転時はガイドベーンを調整し、ランナに与える運動エネルギーが小さくならないようにすることで水車効率を改善できる。

ペルトン水車



ノズル：ランナに水を噴出する
ランナ：水車の羽根の部分
バケット：羽根の構造が水受けになっている
ニードル弁：ノズルの噴出口の開閉を行い、流量調整をする
デフレクタ：ノズルから噴出された水を遮る（ランナの停止用）

クロスフロー水車



部品構成はフランシス水車と同じだが、ランナの軸が水平方向についており、ランナは水の勢い（速度）により回転するため衝動水車である。

H28 問1

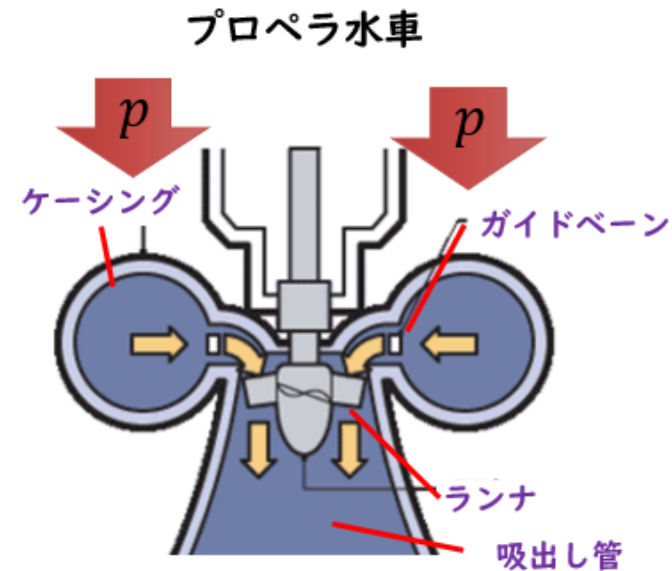
部分負荷運転：定格よりも少ない流量で運転すること

問1 水力発電所の部分負荷運転時における水車効率の向上策に関して、次の間に

答えよ。

(3) カプラン水車や斜流水車の運用方法による部分負荷運転時の水車効率の向上策について説明せよ。

部分負荷運転時はランナの羽根の角度を調整し、ランナに与える圧力エネルギーが小さくならないようにすることで水車効率を改善できる。



プロペラ水車は落差が小さく流量が多い発電所で採用される。
また、ランナを速度を調整するために羽根が可動式になっているものをカプラン水車という。

比速度

比速度：水車の形状はそのまま大きさを変えて、単位落差(1 m)で単位出力(1 kW)を発生させる仮想水車の回転速度のこと

$$n_s = n \frac{P^{1/2}}{H^{5/4}} = n \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}}$$

n_s : 比速度

n : 水車の回転速度 [min^{-1}]

P : 定格出力 [kW]

H : 有効落差 [m]

Q : 流量 [m^3/s]

水車の種類		適用落差 H [m]	比速度 n_s	水車構造
衝動水車	ペルトン水車	150 ~ 800	17 ~ 25	
	クロスフロー水車	5 ~ 100	50 ~ 225	
反動水車	フランシス水車	40 ~ 500	75 ~ 350	
	斜流水車	40 ~ 180	140 ~ 370	
	プロペラ水車 (カプラン) 水車	5 ~ 80	250 ~ 980	

比速度が大きいと水車は回転しやすいが、高落差に適さない

電験三種 H30 問2

問2 次の文章は、水車の比速度に関する記述である。

比速度とは、任意の水車の形(幾何学的形状)と運転状態(水車内の流れの状態)とを (ア) 変えたとき、 (イ) で単位出力(1 kW)を発生させる仮想水車の回転速度のことである。

水車では、ランナの形や特性を表すものとしてこの比速度が用いられ、水車の (ウ) ごとに適切な比速度の範囲が存在する。

水車の回転速度を n [min^{-1}]、有効落差を H [m]、ランナ1個当たり又はノズル1個当たりの出力を P [kW]とすれば、この水車の比速度 n_s は、次の式で表される。

$$n_s = n \cdot \frac{1}{5} \frac{P^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{5}{4}}}$$

通常、ペルトン水車の比速度は、フランシス水車の比速度より (エ) 。

比速度の大きな水車を大きな落差で使用し、吸出し管を用いると、放水速度が大きくなって、 (オ) やすくなる。そのため、各水車には、その比速度に適した有効落差が決められている。

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)、(エ)及び(オ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)
(1)	一定に保って有効落差を	単位流量(1 m ³ /s)	出力	大きい	高い効率を得
(2)	一定に保って有効落差を	単位落差(1 m)	種類	大きい	キャビテーションが生じ
(3)	相似に保って大きさを	単位流量(1 m ³ /s)	出力	大きい	高い効率を得
(4)	相似に保って大きさを	単位落差(1 m)	種類	小さい	キャビテーションが生じ
(5)	相似に保って大きさを	単位流量(1 m ³ /s)	出力	小さい	高い効率を得

電験三種 H30 問2

問2 次の文章は、水車の比速度に関する記述である。

比速度とは、任意の水車の形(幾何学的形状)と運転状態(水車内の流れの状態)とを **相似に保って大きさを** (ア) 変えたとき、(イ) で単位出力(1 kW)を発生させる仮想水車の回転速度のことである。 **単位落差(1 m)**

水車では、ランナの形や特性を表すものとしてこの比速度が用いられ、水車の

(ウ) ごとに適切な比速度の範囲が存在する。
種類

水車の回転速度を n [min^{-1}]、有効落差を H [m]、ランナ1個当たり又はノズル

1個当たりの出力を P [kW]とすれば、この水車の比速度 n_s は、次の式で表される。

$$n_s = n \cdot \frac{1}{5} \frac{P^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{5}{4}}}$$

通常、ペルトン水車の比速度は、フランシス水車の比速度より **小さい** (エ) 。

比速度の大きな水車を大きな落差で使用し、吸出し管を用いると、放水速度が大きくなって、(オ) やすくなる。そのため、各水車には、その比速度に適した有効落差が決められている。
キャビテーションが生じ

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)、(エ)及び(オ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)
(1)	一定に保って有効落差を	単位流量(1 m ³ /s)	出力	大きい	高い効率を得
(2)	一定に保って有効落差を	単位落差(1 m)	種類	大きい	キャビテーションが生じ
(3)	相似に保って大きさを	単位流量(1 m ³ /s)	出力	大きい	高い効率を得
(4)	相似に保って大きさを	単位落差(1 m)	種類	小さい	キャビテーションが生じ
(5)	相似に保って大きさを	単位流量(1 m ³ /s)	出力	小さい	高い効率を得

R02 問1

問1 水車発電機の定格回転速度の選定の考え方に関して、次の問に答えよ。

周波数 60 Hz の系統の地点において、有効落差 162 m、出力 40 MW のフランス水車 1 台を設置する場合、最も適切な水車の定格回転速度 [min^{-1}] 及び発電機の極数を求めたい。

- (1) フランス水車において、適用できる比速度と有効落差の関係が、次式によって表されるとき、次式に基づき算出される回転速度の上限値を求めよ。

$$n_s \leq \frac{23\,000}{H+30} + 40$$

ただし、 n_s ：比速度 ($\text{m} \cdot \text{kW}$ 基準)、 H ：有効落差 [m] とする。

なお、比速度 n_s は、出力 P [kW]、回転速度 N [min^{-1}] としたとき、

$$n_s = \frac{N \times P^{\frac{1}{2}}}{\frac{5}{H^4}} \text{ で与えられる。}$$

- (2) 選定すべき定格回転速度を求めよ。また、その理由を 100 文字程度で述べよ。
(3) 小問(2)の場合の発電機の極数を導出せよ。

R02 問1

問1 水車発電機の定格回転速度の選定の考え方に関して、次の問に答えよ。

周波数 60 Hz の系統の地点において、有効落差 162 m、出力 40 MW のフランスス水車 1 台を設置する場合、最も適切な水車の定格回転速度 [min^{-1}] 及び発電機の極数を求めたい。

(1) フランスス水車において、適用できる比速度と有効落差の関係が、次式によって表されるとき、次式に基づき算出される回転速度の上限値を求めよ。

$$n_s \leq \frac{23\,000}{H+30} + 40$$

ただし、 n_s ：比速度 ($\text{m} \cdot \text{kW}$ 基準)、 H ：有効落差 [m] とする。

なお、比速度 n_s は、出力 P [kW]、回転速度 N [min^{-1}] としたとき、

$$n_s = \frac{N \times P^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{5}{4}}} \text{ で与えられる。}$$

$$n_s \leq \frac{23\,000}{H+30} + 40 = \frac{23\,000}{162+30} + 40 = 159.79$$

$$n_s \leq 159.79$$

$$n_s = \frac{N \times P^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{5}{4}}} \rightarrow N = n_s \frac{H^{\frac{5}{4}}}{P^{\frac{1}{2}}} = n_s \times \frac{H \times H^{\frac{1}{4}}}{P^{\frac{1}{2}}}$$

$$N = 159.79 \times \frac{162 \times \sqrt{162}}{\sqrt{40 \times 10^3}} = 461.78 \text{ min}^{-1}$$

R02 問1

問1 水車発電機の定格回転速度の選定の考え方に関して、次の問に答えよ。

周波数 60 Hz の系統の地点において、有効落差 162 m、出力 40 MW のフランスス水車 1 台を設置する場合、最も適切な水車の定格回転速度 [min^{-1}] 及び発電機の極数を求めたい。

(2) 選定すべき定格回転速度を求めよ。また、その理由を 100 文字程度で述べよ。

(3) 小問(2)の場合の発電機の極数を導出せよ。

周波数 60 Hz の同期発電機の同期速度 N_s は

$$N_s = \frac{120f}{p} = \frac{120 \times 60}{p} = \frac{7200}{p}$$

となり、極数 p に応じた離散的な値しかとることができない。
ここで、設問 (1) の解 $N = 461.78 \text{ min}^{-1}$ が上限となることから、

$$N_s = \frac{7200}{16} = 450 \text{ min}^{-1}$$

が選定すべき定格周波数となる。

このときの極数は、 $p = 16$ となる。

比速度の公式導出

比速度：水車の形状はそのまま大きさを変えて、単位落差(1 m)で単位出力(1 kW)を発生させる仮想水車の回転速度のこと

$$n_s = n \frac{P^{1/2}}{H^{5/4}} = n \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}}$$

n_s : 比速度

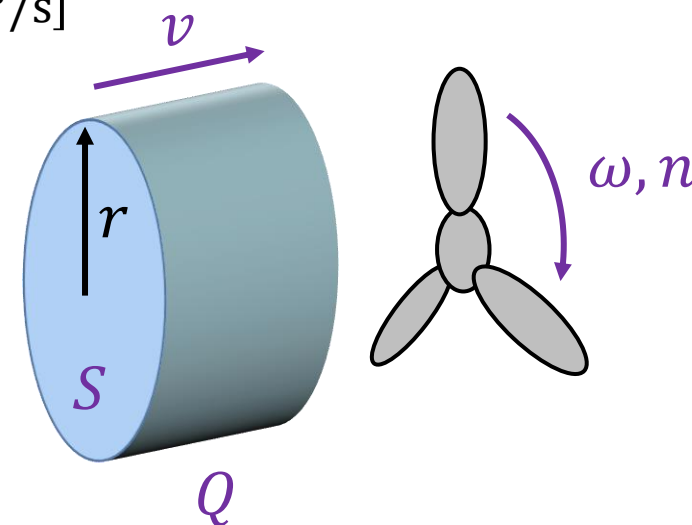
n : 水車の回転速度 [min^{-1}]

P : 定格出力 [kW]

H : 有効落差 [m]

Q : 流量 [m^3/s]

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}mv^2 &= mgH \rightarrow H \propto v^2 \\ v &= r\omega = r \cdot 2\pi \frac{n}{60} \rightarrow v \propto rn \\ Q &= Sv = \pi r^2 v \rightarrow Q \propto r^2 v \rightarrow Q \propto r^2(rn) \rightarrow Q \propto r^3 n \\ H &\propto r^2 n^2 \rightarrow r \propto \frac{H^{1/2}}{n} \\ Q &\propto \left(\frac{H^{1/2}}{n}\right)^3 n \rightarrow Q \propto \frac{H^{3/2}}{n^2} \\ P &= 9.8QH \rightarrow Q \propto \frac{P}{H} \end{aligned}$$



状態 1 : P, H, n $\rightarrow n = k \frac{H^{3/4}}{Q^{1/2}}$

状態 2 : 1 [kW], 1 [m], n_s $\rightarrow n_s = k \frac{1^{3/4}}{1^{1/2}} = k$

$$\frac{n}{n_s} = \frac{k \frac{H^{3/4}}{Q^{1/2}}}{k} = \frac{H^{3/4}}{Q^{1/2}} \rightarrow n_s = n \frac{P^{1/2}}{H^{5/4}} = n \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}}$$

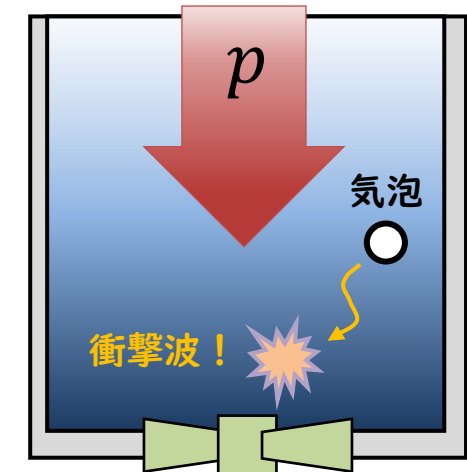
キャビテーション

管内で発生した水蒸気の気泡が水車部分で圧縮され、衝撃波となって消滅すること

なぜ水蒸気の気泡が発生？

気圧が低いと沸点が下がるように、水の周りの圧力が低いと一部の水が水蒸気となる

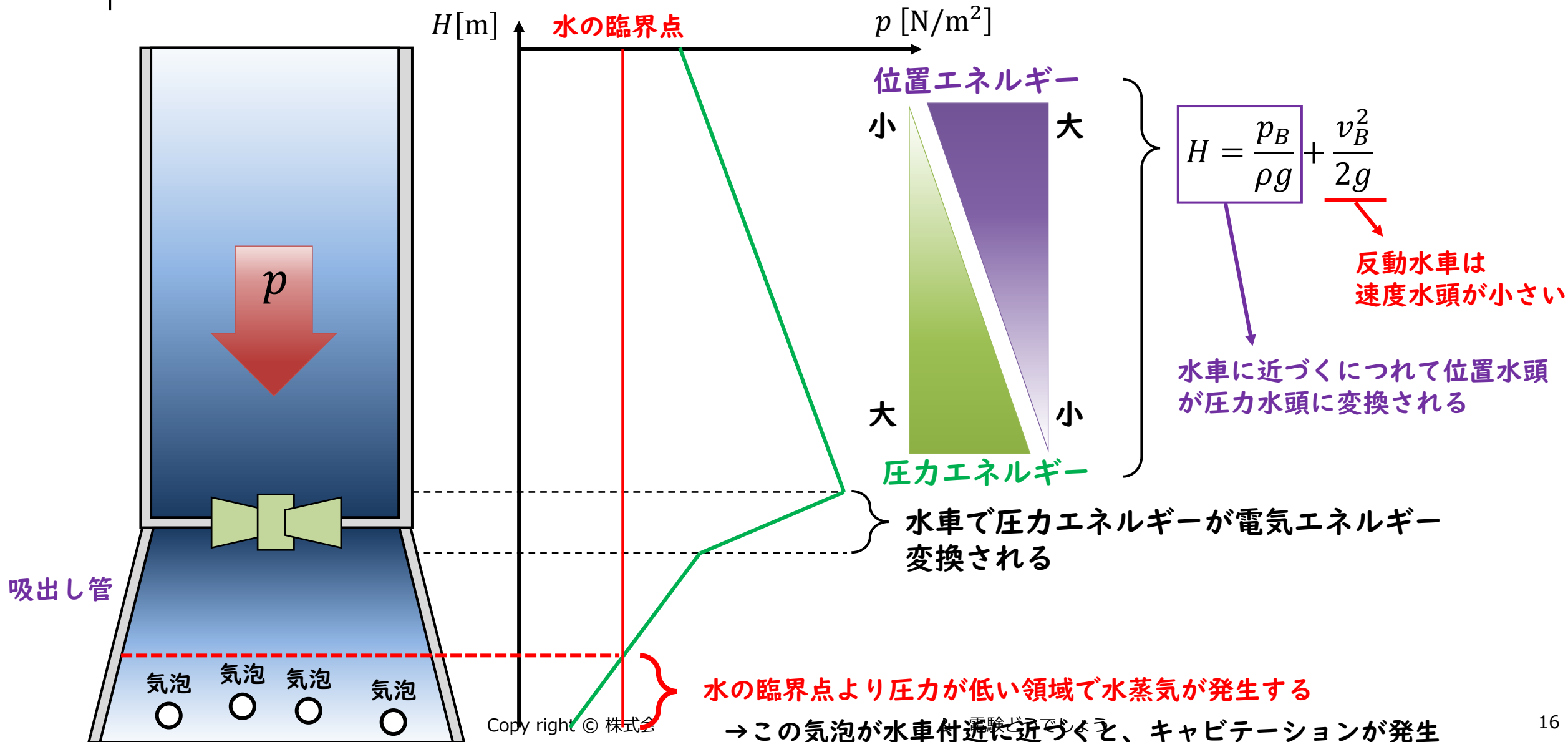
キャビテーションの原因は
水車付近（高圧力領域）の近くで水蒸気が発生（低圧力領域）ができる圧力分布になること



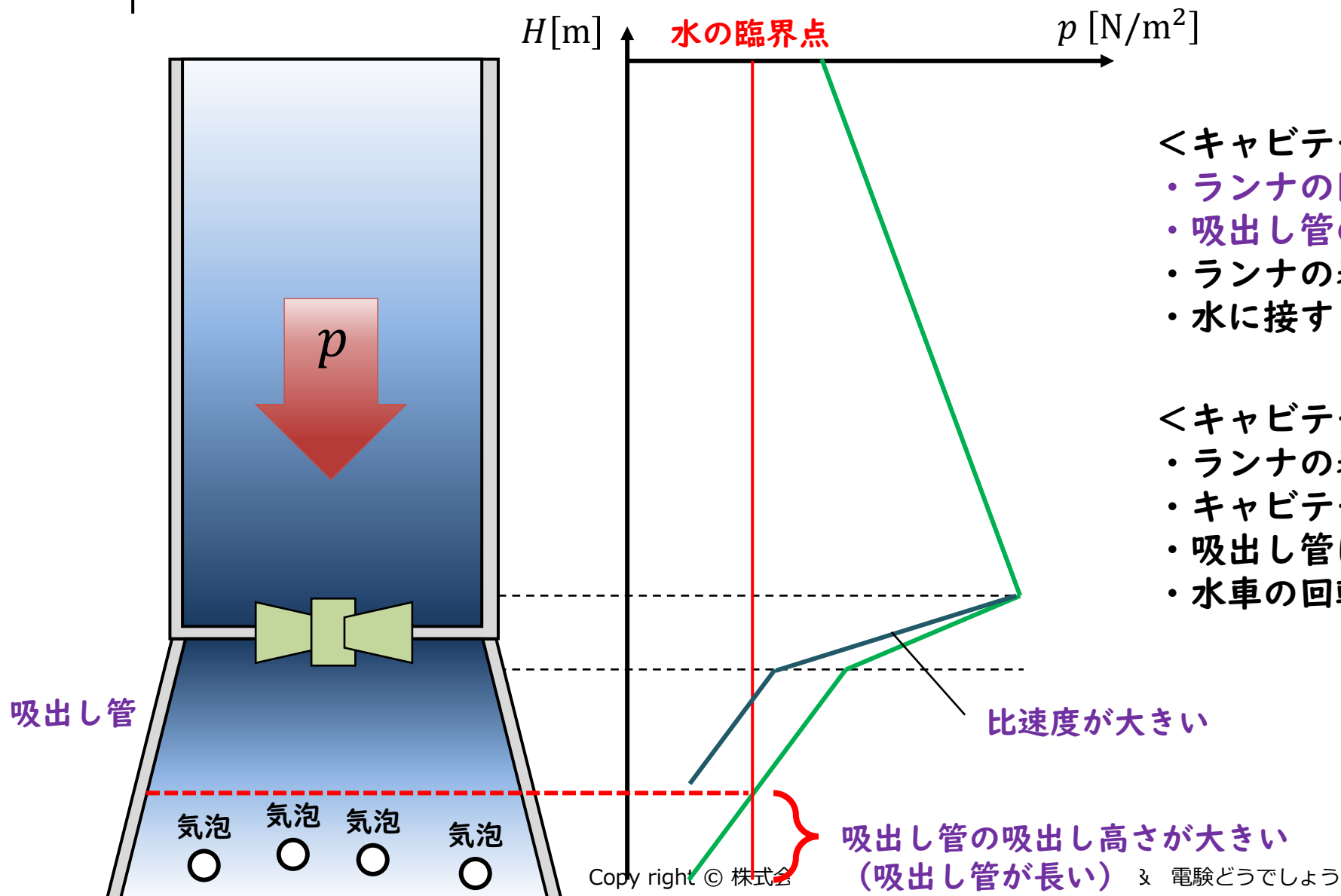
キャビテーションが起こると、

- ・ランナで振動や騒音が発生
- ・ガイドベーンやランナが壊食

キャビテーション



キャビテーション



<キャビテーションの原因>

- ・ランナの比速度が大きい
- ・吸出し管の吸出し高さが大きい
- ・ランナの表面仕上げが悪い
- ・水に接する部分の形状が適切でない

<キャビテーションの防止策>

- ・ランナの表面を平滑に仕上げる
- ・キャビテーションに耐えられる材料
- ・吸出し管に空気を入れる (圧力を上げる)
- ・水車の回転速度を上げすぎない

ご聴講ありがとうございました!!