

電験どうでしょう管理人  
*KWG presents*

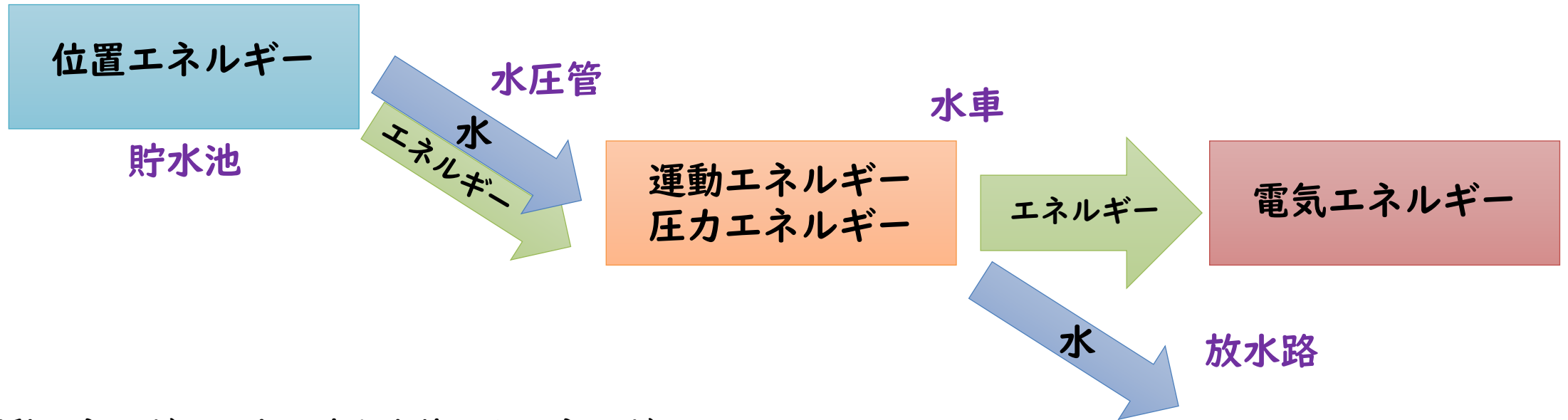
電験オンライン塾

第2回  
水力発電の電力計算

2022.04.16 Sat

# 水力発電

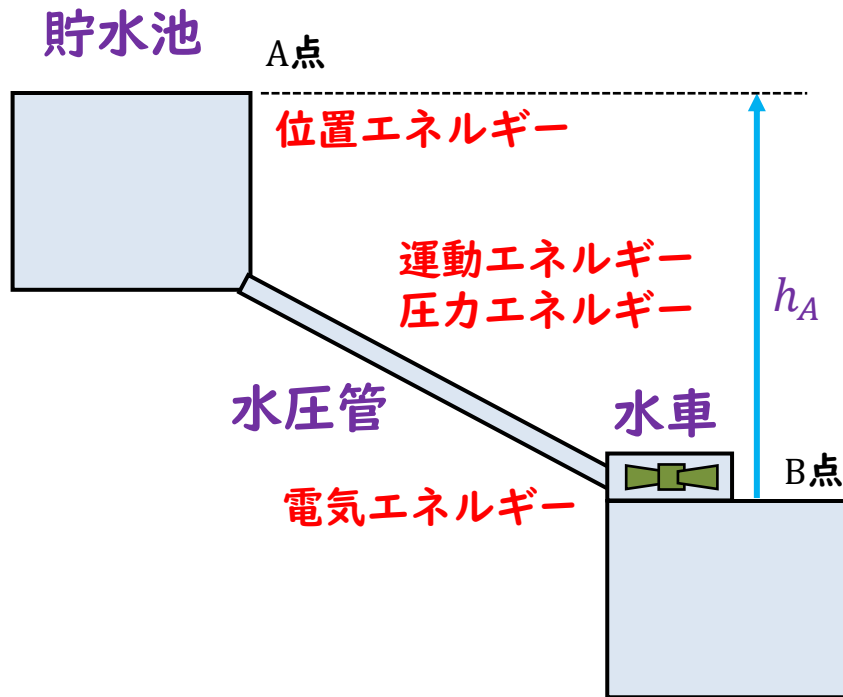
水が高いところから低いところへ落ちるときに発生するエネルギーを利用して、水車（発電機）を回転させて電力を得る



運動エネルギー：水の速さを使ったエネルギー

圧力エネルギー：水の重さ（押し付ける力）を使ったエネルギー

# 水力学（水頭と電力）



$$h_A + \frac{p_A}{\rho g} + \frac{v_A^2}{2g} = h_B + \frac{p_B}{\rho g} + \frac{v_B^2}{2g} = \text{一定 [m]}$$

ベルヌーイの定理

※単位が『m』であることに注意  
各エネルギーを位置エネルギーの高さに換算したもので『水頭』という

A点からB点までの全てのエネルギーが電気エネルギーに変換されることを考えると

$$h_A + 0 + 0 = 0 + \frac{p_B}{\rho g} + \frac{v_B^2}{2g} \rightarrow h_A = \frac{p_B}{\rho g} + \frac{v_B^2}{2g}$$

B点の圧力エネルギーと運動エネルギーが全て電気エネルギーに変わる

位置エネルギー

$$U_A = F \cdot h_A = mg \cdot h_A = \rho V g \cdot h_A$$

電力はエネルギーの時間変化量なので

$$P = \frac{dU_A}{dt} = \frac{d}{dt}(\rho V g h_A) = \rho g h_A \frac{dV}{dt} = \rho g h_A Q$$

体積の時間変化量は流量  $Q$  [m<sup>3</sup>/s]  
連続の定理より流量はどこでも同じ

理論水力

$$P_0 = 9.8 QH \text{ [kW]}$$

$$P \text{ [W]} = \frac{1000 \text{ [kg/m}^3\text{]} \times 9.8 \text{ [N/kg]} \times Q h_A}{1000} \rightarrow P \text{ [kW]} = 9.8 \times Q h_A$$

水は1000 cm<sup>3</sup>で1 kg  
1 m<sup>3</sup>で1000 kg

# R02 問15

問 15 ある河川のある地点に貯水池を有する水力発電所を設ける場合の発電計画について、次の(a)及び(b)の間に答えよ。

(a) 流域面積を  $15\,000\text{ km}^2$ 、年間降水量  $750\text{ mm}$ 、流出係数  $0.7$  とし、年間の平均流量の値 $[\text{m}^3/\text{s}]$ として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 25      (2) 100      (3) 175      (4) 250      (5) 325

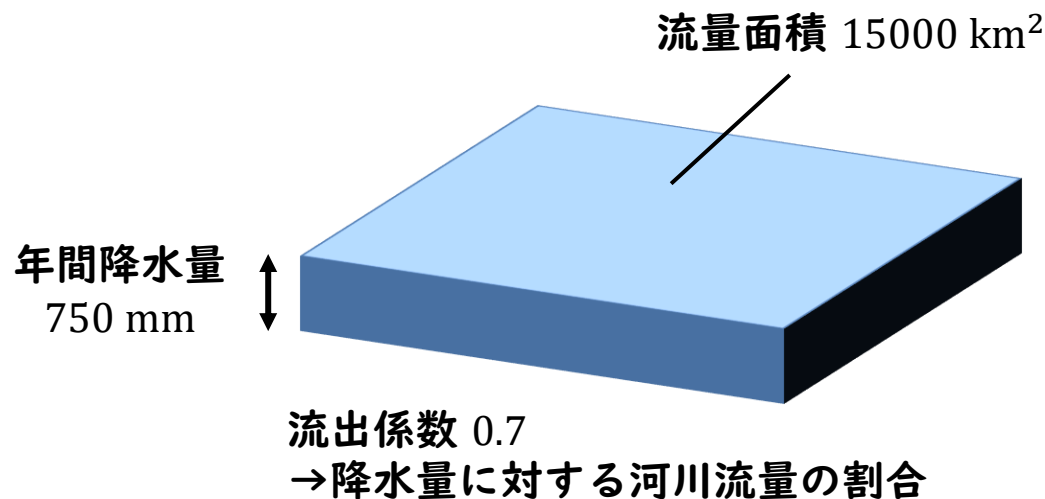
(b) この水力発電所の最大使用水量を小問(a)で求めた流量とし、有効落差  $100\text{ m}$ 、水車と発電機の総合効率を  $80\%$ 、発電所の年間の設備利用率を  $60\%$  としたとき、この発電所の年間発電電力量の値 $[\text{kW}\cdot\text{h}]$ に最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

| 年間発電電力量 $[\text{kW}\cdot\text{h}]$ |               |
|------------------------------------|---------------|
| (1)                                | 100 000 000   |
| (2)                                | 400 000 000   |
| (3)                                | 700 000 000   |
| (4)                                | 1 000 000 000 |
| (5)                                | 1 300 000 000 |

# 導出のポイント

問 15 ある河川のある地点に貯水池を有する水力発電所を設ける場合の発電計画について、次の(a)及び(b)の間に答えよ。

(a) 流域面積を  $15\,000\text{ km}^2$ 、年間降水量  $750\text{ mm}$ 、流出係数  $0.7$  とし、年間の平均流量の値  $[\text{m}^3/\text{s}]$  として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。



$$\text{平均流量 } Q [\text{m}^3/\text{s}] = \frac{\text{河川として得られる水 } [\text{m}^3]}{\text{一年間分の時間 } [\text{s}]}$$

$$Q = \frac{750 \times 10^{-3} \times 15000 \times 10^6 \times 0.7}{365 \times 24 \times 60 \times 60} = 250\text{ m}^3/\text{s}$$

河川として得られる水を1年かけて使用する  
→ 水の量を1年で割ると年間の平均流量となる

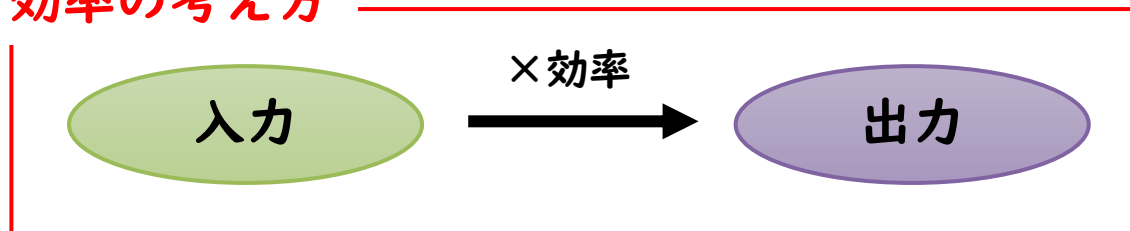
# 導出のポイント

(b) この水力発電所の最大使用水量を小問(a)で求めた流量とし、有効落差 100 m, 水車と発電機の総合効率を 80 %, 発電所の年間の設備利用率を 60 % としたとき、この発電所の年間発電電力量の値[kW・h]に最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

年間発電電力量[kW・h]

|     |               |
|-----|---------------|
| (1) | 100 000 000   |
| (2) | 400 000 000   |
| (3) | 700 000 000   |
| (4) | 1 000 000 000 |
| (5) | 1 300 000 000 |

## 効率の考え方



## 理論水力

$$P_0 = 9.8 QH \text{ [kW]}$$

小問 (a) より

$$Q = 240 \text{ [m}^3/\text{s]}$$

平均電力を求める

$$\begin{aligned}
 P &= 9.8QH \times (\text{総合効率}) \times (\text{利用率}) \\
 &= 9.8 \times 250 \times 100 \times 0.8 \times 0.6 \\
 &= 117,600 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

年間発電電力を求める

$$W \text{ [kW} \cdot \text{h]} = 117,600 \times 365 \times 24 = 1,030,000,000 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

# R02 問15

問 15 ある河川のある地点に貯水池を有する水力発電所を設ける場合の発電計画について、次の(a)及び(b)の間に答えよ。

(a) 流域面積を  $15\,000\text{ km}^2$ 、年間降水量  $750\text{ mm}$ 、流出係数  $0.7$  とし、年間の平均流量の値 [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 25      (2) 100      (3) 175      (4) 250      (5) 325

(b) この水力発電所の最大使用水量を小問(a)で求めた流量とし、有効落差  $100\text{ m}$ 、水車と発電機の総合効率を  $80\%$ 、発電所の年間の設備利用率を  $60\%$  としたとき、この発電所の年間発電電力量の値 [ $\text{kW}\cdot\text{h}$ ] に最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

| 年間発電電力量 [ $\text{kW}\cdot\text{h}$ ] |               |
|--------------------------------------|---------------|
| (1)                                  | 100 000 000   |
| (2)                                  | 400 000 000   |
| (3)                                  | 700 000 000   |
| (4)                                  | 1 000 000 000 |
| (5)                                  | 1 300 000 000 |

# H2I 問I

---



問1 水力発電所において、有効落差 100 [m]，水車効率 92 [%]，発電機効率 94 [%]，定格出力 2 500 [kW] の水車発電機が 80 [%] 負荷で運転している。  
このときの流量 [m<sup>3</sup>/s] の値として、最も近いのは次のうちどれか。

- (1) 1.76      (2) 2.36      (3) 3.69      (4) 17.3      (5) 23.1

# 導出のポイント

問1 水力発電所において、有効落差 100 [m]，水車効率 92 [%]，発電機効率 94 [%]，定格出力 2500 [kW] の水車発電機が 80 [%] 負荷で運転している。  
このときの流量 [m<sup>3</sup>/s] の値として、最も近いのは次のうちどれか。

- (1) 1.76    (2) 2.36    (3) 3.69    (4) 17.3    (5) 23.1

$$\begin{aligned} P &= 9.8QH \times (\text{水車効率}) \times (\text{発電機効率}) \\ &= 9.8 \times Q \times 100 \times 0.92 \times 0.94 \\ &= 2500 \times 0.8 \end{aligned}$$

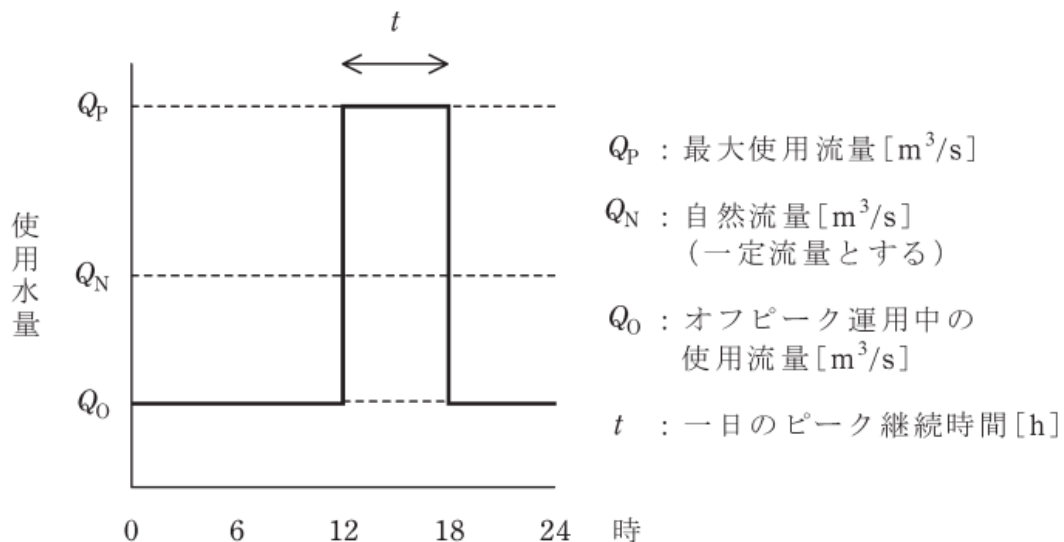
$$Q = \frac{2500 \times 0.8}{9.8 \times 100 \times 0.92 \times 0.94} = 2.36 \text{ m}^3/\text{s}$$

# H30 問15

問 15 調整池の有効貯水量  $V$  [ $\text{m}^3$ ]，最大使用水量  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  であって，発電機 1 台を有する調整池式発電所がある。

図のように，河川から調整池に取水する自然流量  $Q_N$  は  $6 \text{ m}^3/\text{s}$  で一日中一定とする。この条件で，最大使用水量  $Q_P = 10 \text{ m}^3/\text{s}$  で 6 時間運用（ピーク運用）し，それ以外の時間は自然流量より低い一定流量で運用（オフピーク運用）して，一日の自然流量分を全て発電運用に使用するものとする。

ここで，この発電所の一日の運用中の使用水量を変化させても，水車の有効落差，水車効率，発電機効率は変わらず，それぞれ  $100 \text{ m}$ ， $90\%$ ， $96\%$  で一定とする。



調整池式発電所の日調整運用

(a) このときの運用に最低限必要な有効貯水量  $V$  [ $\text{m}^3$ ] として，最も近いものを次の (1)～(5) のうちから一つ選べ。

- (1) 86 200      (2) 86 400      (3) 86 600      (4) 86 800      (5) 87 000

(b) オフピーク運用中の発電機出力 [kW] として，最も近いものを次の (1)～(5) のうちから一つ選べ。

- (1) 2 000      (2) 2 500      (3) 3 000      (4) 3 500      (5) 4 000

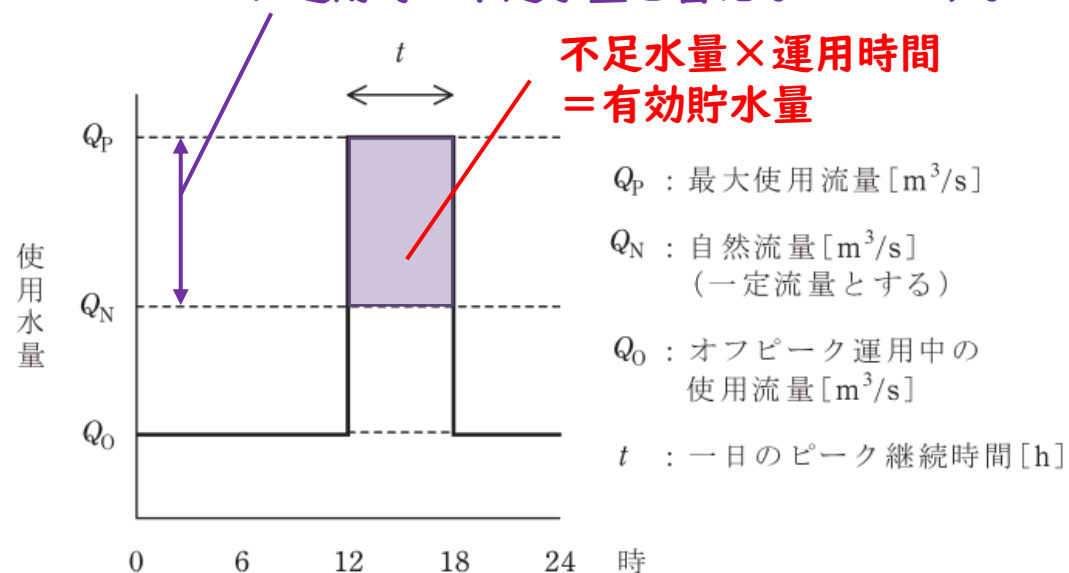
# 導出のポイント

問 15 調整池の有効貯水量  $V$  [ $\text{m}^3$ ], 最大使用水量  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  であって, 発電機 1 台を有する調整池式発電所がある。

図のように, 河川から調整池に取水する自然流量  $Q_N$  は  $6 \text{ m}^3/\text{s}$  で一日中一定とする。この条件で, 最大使用水量  $Q_P = 10 \text{ m}^3/\text{s}$  で 6 時間運用(ピーク運用)し, それ以外の時間は自然流量より低い一定流量で運用(オフピーク運用)して, 一日の自然流量分を全て発電運用に使用するものとする。

ここで, この発電所の一日の運用中の使用水量を変化させても, 水車の有効落差, 水車効率, 発電機効率は変わらず, それぞれ  $100 \text{ m}$ ,  $90\%$ ,  $96\%$  で一定とする。

**ピーク運用時の不足水量を蓄えないといけない**



調整池式発電所の日調整運用

(a) このときの運用に最低限必要な有効貯水量  $V$  [ $\text{m}^3$ ]として, 最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

**ピーク運用時の不足水量**

$$Q_P - Q_N = 10 - 6 = 4 \text{ m}^3/\text{s}$$

**有効貯水量**

$$(Q_P - Q_N) \times t = 4 \times 6 \times 60 \times 60 = 86400 \text{ m}^3$$

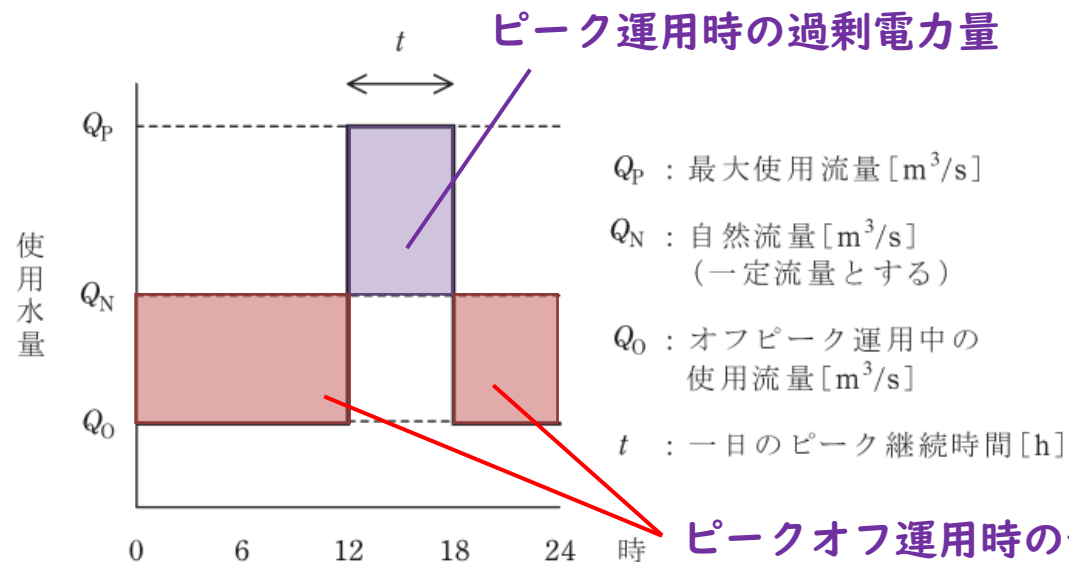
(b) オフピーク運用中の発電機出力[kW]として, 最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

# 導出のポイント

問 15 調整池の有効貯水量  $V$  [ $\text{m}^3$ ], 最大使用水量  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  であって, 発電機 1 台を有する調整池式発電所がある。

図のように, 河川から調整池に取水する自然流量  $Q_N$  は  $6 \text{ m}^3/\text{s}$  で一日中一定とする。この条件で, 最大使用水量  $Q_P = 10 \text{ m}^3/\text{s}$  で 6 時間運用(ピーク運用)し, それ以外の時間は自然流量より低い一定流量で運用(オフピーク運用)して, 一日の自然流量分を全て発電運用に使用するものとする。

ここで, この発電所の一日の運用中の使用水量を変化させても, 水車の有効落差, 水車効率, 発電機効率は変わらず, それぞれ  $100 \text{ m}$ ,  $90\%$ ,  $96\%$  で一定とする。



調整池式発電所の日調整運用

(b) オフピーク運用中の発電機出力[kW]として, 最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

過剰電力量 = 余剰電力量

$$9.8(Q_P - Q_N)H \times \eta_t \eta_g \times 6 \text{ h} = 9.8(Q_N - Q_O)H \times \eta_t \eta_g \times 18 \text{ h}$$

$$6(Q_P - Q_N) = 18(Q_N - Q_O) \rightarrow 6(10 - 6) = 18(6 - Q_O)$$

$$4 = 3(6 - Q_O) \rightarrow Q_O = 6 - \frac{4}{3} = \frac{14}{3} [\text{m}^3/\text{s}]$$

ピークオフ運転中の発電機出力

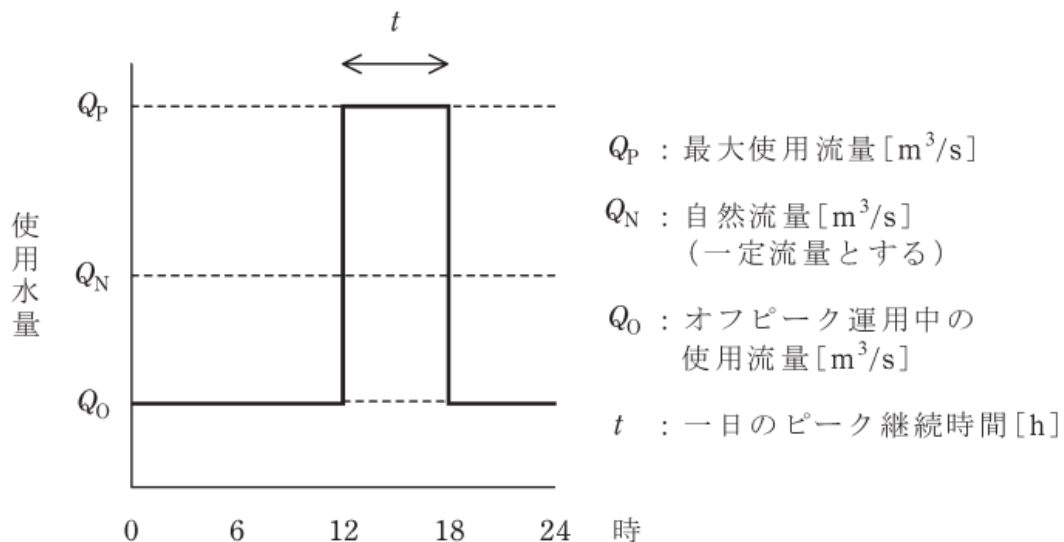
$$P_O = 9.8H Q_O \times \eta_t \eta_g = 9.8 \times 100 \times \frac{14}{3} \times 0.9 \times 0.96 = 3951 \text{ kW}$$

# H30 問15

問 15 調整池の有効貯水量  $V$  [ $\text{m}^3$ ]，最大使用水量  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  であって，発電機 1 台を有する調整池式発電所がある。

図のように，河川から調整池に取水する自然流量  $Q_N$  は  $6 \text{ m}^3/\text{s}$  で一日中一定とする。この条件で，最大使用水量  $Q_P = 10 \text{ m}^3/\text{s}$  で 6 時間運用（ピーク運用）し，それ以外の時間は自然流量より低い一定流量で運用（オフピーク運用）して，一日の自然流量分を全て発電運用に使用するものとする。

ここで，この発電所の一日の運用中の使用水量を変化させても，水車の有効落差，水車効率，発電機効率は変わらず，それぞれ  $100 \text{ m}$ ， $90\%$ ， $96\%$  で一定とする。



調整池式発電所の日調整運用

(a) このときの運用に最低限必要な有効貯水量  $V$  [ $\text{m}^3$ ] として，最も近いものを次の (1) ～ (5) のうちから一つ選べ。

- (1) 86 200    (2) 86 400    (3) 86 600    (4) 86 800    (5) 87 000

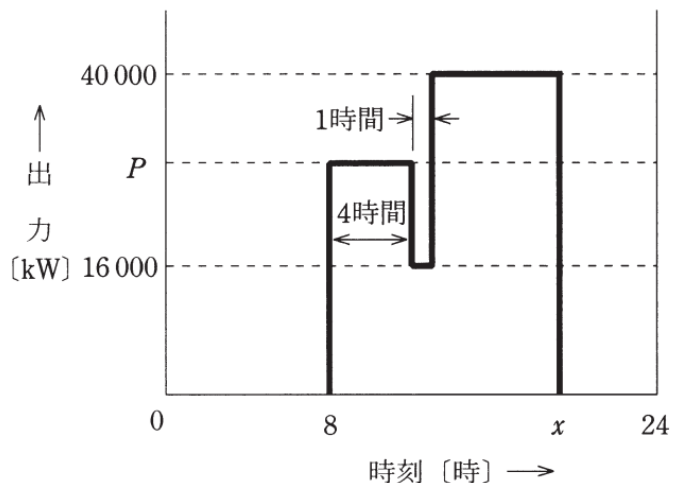
(b) オフピーク運用中の発電機出力 [kW] として，最も近いものを次の (1) ～ (5) のうちから一つ選べ。

- (1) 2 000    (2) 2 500    (3) 3 000    (4) 3 500    (5) 4 000

# 法規 H2 I 問 I

問13 発電所の最大出力が  $40\,000$  [kW] で最大使用水量が  $20$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]、有効容量  $360\,000$  [ $\text{m}^3$ ] の調整池を有する水力発電所がある。河川流量が  $10$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] 一定である時期に、河川の全流量を発電に利用して図のような発電を毎日行った。毎朝満水になる  $8$  時から発電を開始し、調整池の有効容量の水を使い切る  $x$  時まで発電を行い、その後は発電を停止して翌日に備えて貯水のみをする運転パターンである。次の(a)及び(b)の間に答えよ。

ただし、発電所出力 [kW] は使用水量 [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] のみに比例するものとし、その他の要素にはよらないものとする。



(a) 運転を終了する時刻  $x$  として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 19時      (2) 20時      (3) 21時      (4) 22時      (5) 23時

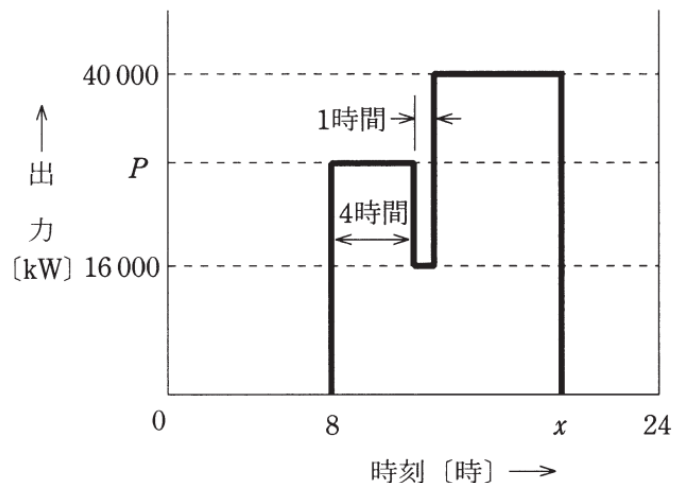
(b) 図に示す出力  $P$  [kW] の値として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 20 000      (2) 22 000      (3) 24 000      (4) 26 000      (5) 28 000

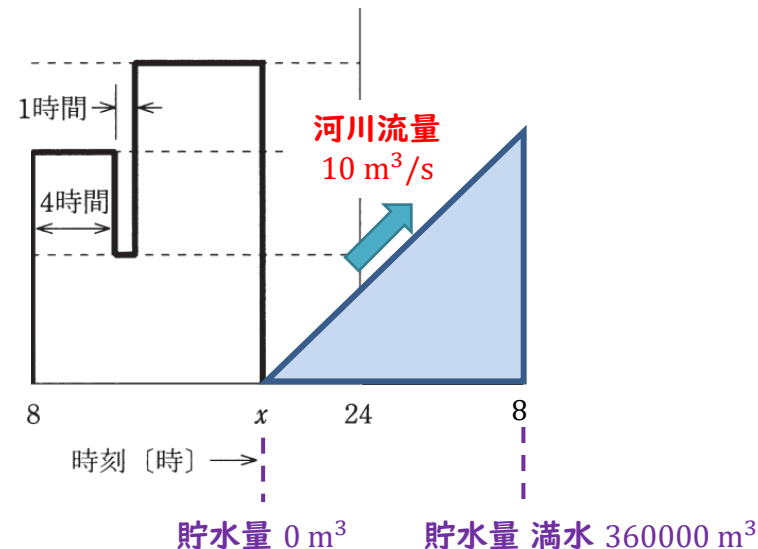
# 導出のポイント

問13 発電所の最大出力が 40 000 [kW] で最大使用水量が 20 [m<sup>3</sup>/s]，有効容量 360 000 [m<sup>3</sup>] の調整池を有する水力発電所がある。河川流量が 10 [m<sup>3</sup>/s] 一定である時期に，河川の全流量を発電に利用して図のような発電を毎日行った。毎朝満水になる 8 時から発電を開始し，調整池の有効容量の水を使い切る  $x$  時まで発電を行い，その後は発電を停止して翌日に備えて貯水のみをする運転パターンである。次の (a) 及び (b) の間に答えよ。

ただし，発電所出力 [kW] は使用水量 [m<sup>3</sup>/s] のみに比例するものとし，その他の要素にはよらないものとする。



(a) 運転を終了する時刻  $x$  として，最も近いものを次の (1)～(5) のうちから一つ選べ。



$$\frac{(24 - x + 8)}{\text{時間}} \times \frac{60}{\text{分}} \times \frac{60}{\text{秒}} \times \frac{10}{\text{河川流量}} = 360000$$

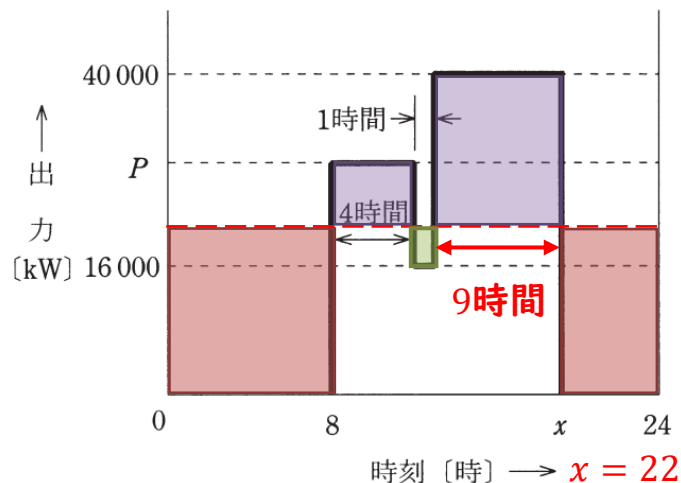
$$32 - x = \frac{360000}{60 \times 60 \times 10} \rightarrow 32 - x = \frac{360000}{60 \times 60 \times 10} = 10$$

$$x = 32 - 10 = 22 \text{ (時)}$$

# 導出のポイント

問13 発電所の最大出力が 40 000 [kW] で最大使用水量が 20 [m<sup>3</sup>/s]、有効容量 360 000 [m<sup>3</sup>] の調整池を有する水力発電所がある。河川流量が 10 [m<sup>3</sup>/s] 一定である時期に、河川の全流量を発電に利用して図のような発電を毎日行った。毎朝満水になる 8 時から発電を開始し、調整池の有効容量の水を使い切る  $x$  時まで発電を行い、その後は発電を停止して翌日に備えて貯水のみをする運転パターンである。次の (a) 及び (b) の間に答えよ。

ただし、発電所出力 [kW] は使用水量 [m<sup>3</sup>/s] のみに比例するものとし、その他の要素にはよらないものとする。



(a) 運転を終了する時刻  $x$  として、最も近いものを次の (1) ~ (5) のうちから一つ選べ。

$$P = 9.8HQ\eta \rightarrow P \propto Q \rightarrow P = kQ$$

$$P_{max} = 40000 \text{ kW} = kQ_{max} = k \times 20 \rightarrow k = 2000 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$$

河川流量により得られる平均電力を求める

$$P_{ave} = kQ_N = 2000 \times 10 = 20000 \text{ kW}$$

調整池の貯水量で得られる電力量 = 運転時の超過電力量

$$\frac{kQ_N \times (8 - 0 + 24 - 22)}{kQ_N \times (8 - 0 + 24 - 22)} = (P - 20000) \times 4 + (16000 - 20000) \times 1 + (40000 - 20000) \times 9$$

$$1000 \times 20 \times 10 = (P - 20000) \times 4 - 4000 + 20000 \times 9$$

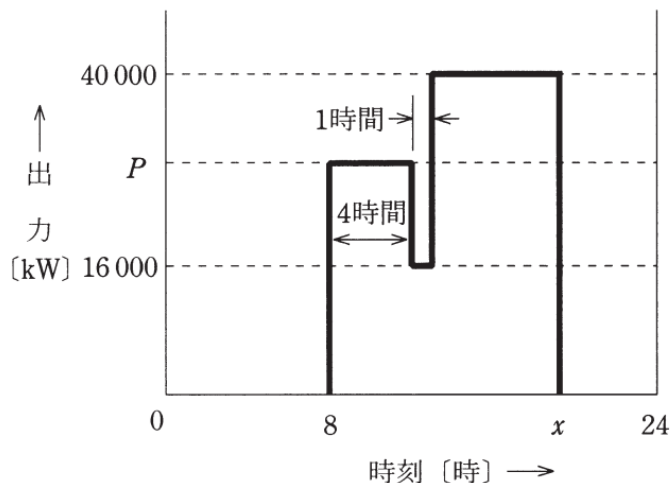
$$P - 20000 = \frac{20000 + 4000 - 20000 \times 9}{4} = \frac{24000}{4} = 6000$$

$$P = 20000 + 6000 = 26000 \text{ kW}$$

# 法規 H2 I 問 I

問13 発電所の最大出力が  $40\,000$  [kW] で最大使用水量が  $20$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]、有効容量  $360\,000$  [ $\text{m}^3$ ] の調整池を有する水力発電所がある。河川流量が  $10$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] 一定である時期に、河川の全流量を発電に利用して図のような発電を毎日行った。毎朝満水になる  $8$  時から発電を開始し、調整池の有効容量の水を使い切る  $x$  時まで発電を行い、その後は発電を停止して翌日に備えて貯水のみをする運転パターンである。次の(a)及び(b)の間に答えよ。

ただし、発電所出力 [kW] は使用水量 [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] のみに比例するものとし、その他の要素にはよらないものとする。



(a) 運転を終了する時刻  $x$  として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 19 時      (2) 20 時      (3) 21 時      (4) 22 時      (5) 23 時

(b) 図に示す出力  $P$  [kW] の値として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 20 000      (2) 22 000      (3) 24 000      (4) 26 000      (5) 28 000

ご聴講ありがとうございました!!