

電験どうでしょう管理人  
*KWG presents*

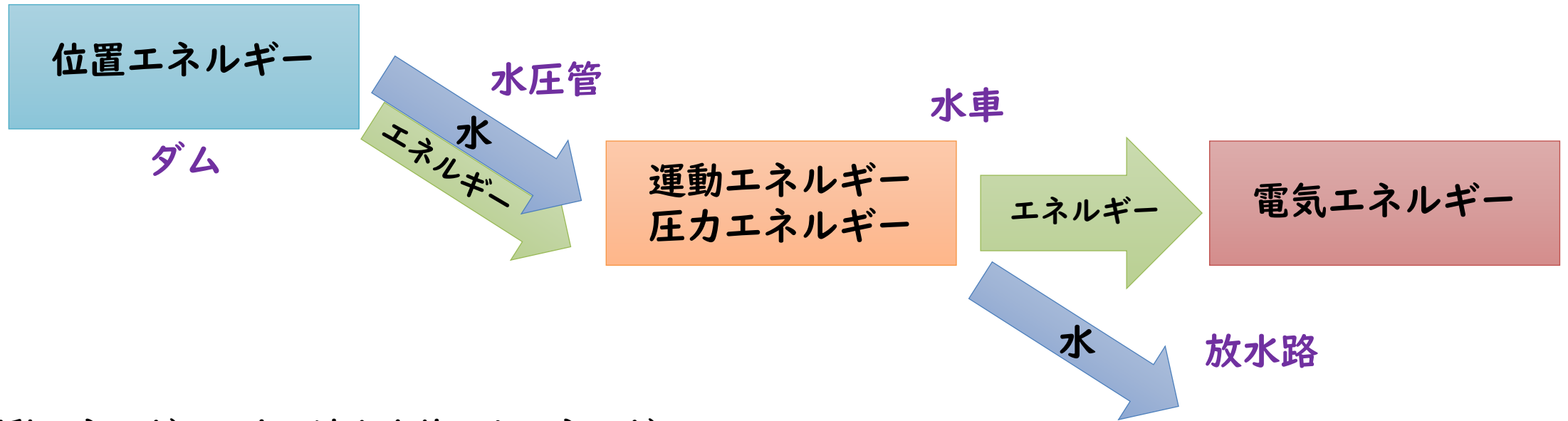
# 短期集中講座

## 第11回 水力発電

2024.02.02 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

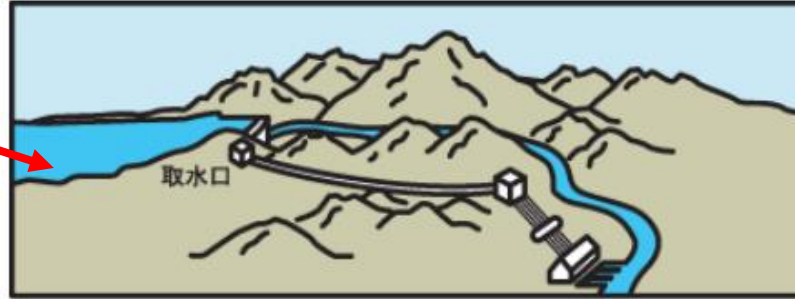


運動エネルギー：水の速さを使ったエネルギー

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

# 水力発電の分類

取水ダム  
河川上流で水を蓄えるための小さなダム



沈砂池  
水中の土砂などを取り除くための池

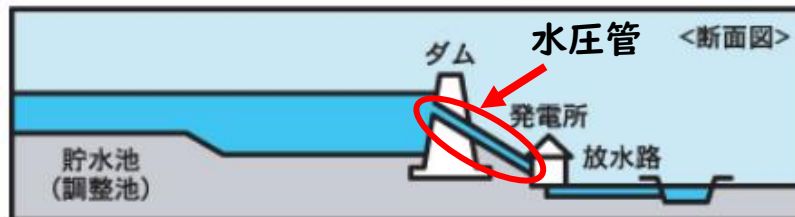
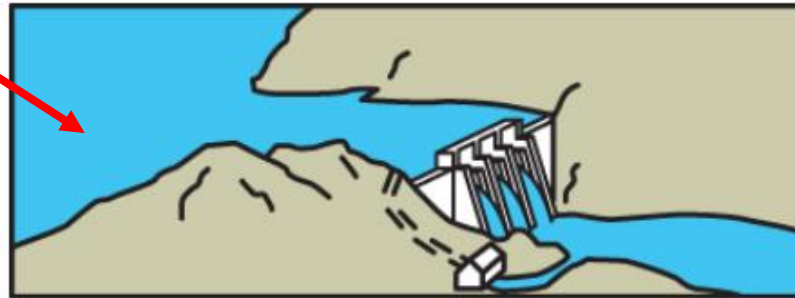


水路式発電：  
河川の上流に取水ダムを設けて、緩やかな水路で水を運び発電所付近の河川の落差を得て発電

水路  
発電所付近まで緩やかな傾斜で水を運ぶ

水圧管路  
内部が水で充満した水路（圧力を逃がさないように）  
水の速度エネルギーと圧力エネルギーを発電機まで運ぶ

貯水池（調整池）  
河川をせき止めて水位をかせぐ



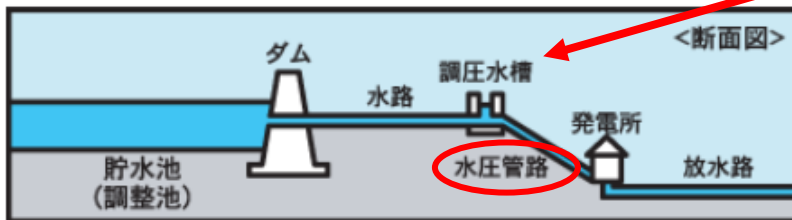
ダム式発電：  
河川を横断して高いダムを築造し、河川をせき止めることでできる水位の落差を得て発電

# 水力発電の分類

貯水池（調整池）  
河川をせき止めて水  
位をかせぐ



ダム水路式発電：  
ダムの水位と水路から発電所までの高低差できる  
落差を得て発電

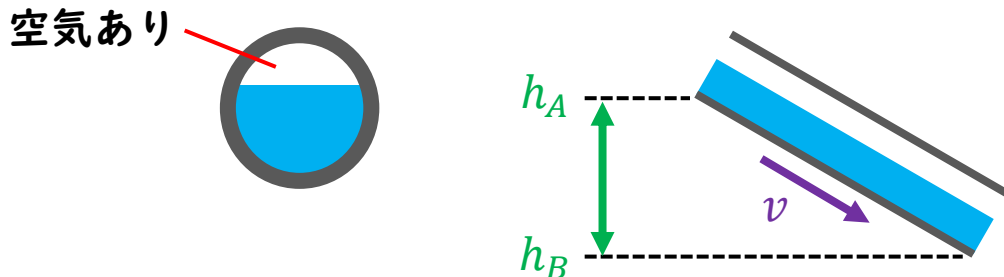


調整水槽（サージタンク）  
水圧管路内で圧力変動が生じたときに起こる衝撃波  
（水撃作用/ウォーターハンマー）を抑制するた  
めのクッションとして働く（圧力の逃げ道）

[https://www.chuden.co.jp/energy/renew/ren\\_shikumi/wat\\_shikumi/wat\\_hatsuden/](https://www.chuden.co.jp/energy/renew/ren_shikumi/wat_shikumi/wat_hatsuden/)

## 水路の種類と流速

水路（開きよ、無圧トンネル）



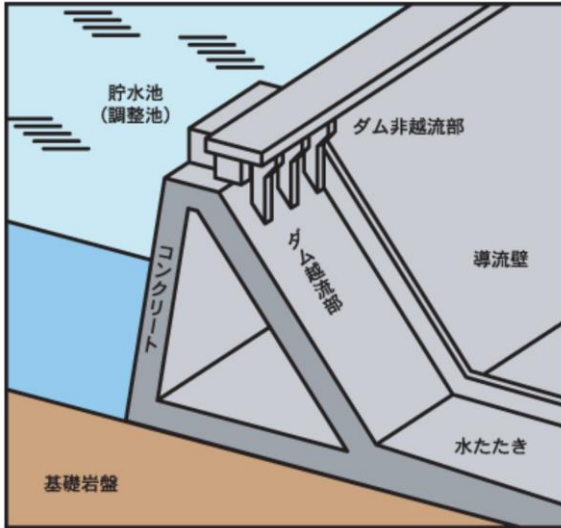
流速 $v$  は高低差で決まる

水圧管路



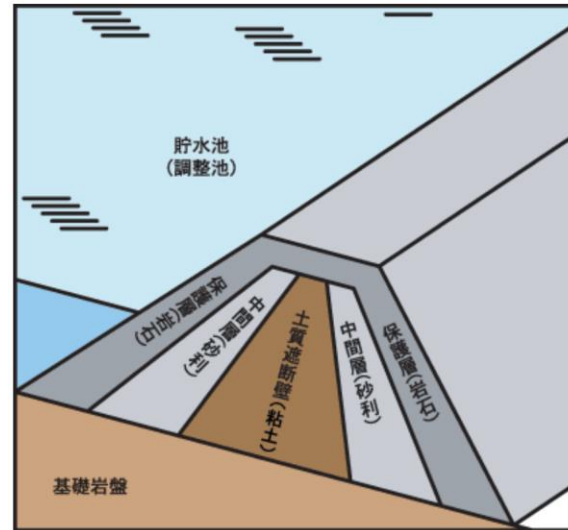
流速 $v$  は圧力差で決まる

# ダムの分類



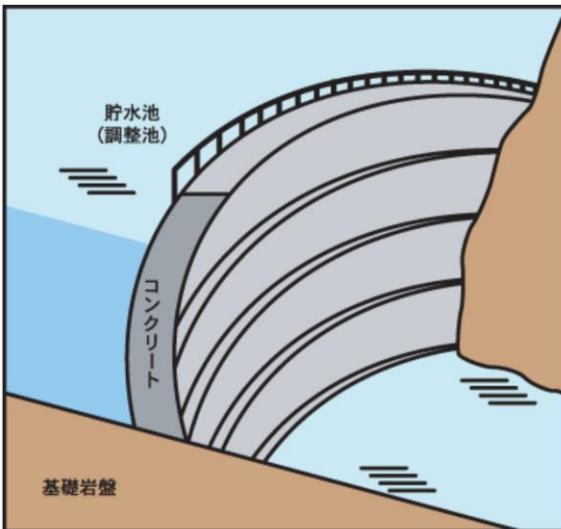
## 重カダム/中空重カダム：

ダム自体の重みで各種の外力に耐える。地震対して安全性が高く、日本のダムの約90%がこの方式。コストを下げるため、内部を空洞にしたものを中空重カダムという。



## ロックフィルダム：

岩石を積み上げ、水漏れを防ぐためにダムの内部または上流面を、水を通さない材料を用いて築いたダム。材料の岩石が近くにある場所には適している。



## アーチダム：

水圧を両岸の岩盤で支えるように、アーチ型にしたダム。ダムの厚さが薄くて済むため、材料コストが抑えられる。ダムの両岸の岩盤に大きな荷重が加わるので、両岸が狭く、岩盤が非常に丈夫な場所に適している。

# R03 問1

問1 次の文章は、水力発電所の種類に関する記述である。

水力発電所は (ア) を得る方法により分類すると、水路式、ダム式、ダム水路式があり、 (イ) の利用方法により分類すると、流込み式、調整池式、貯水池式、揚水式がある。

一般的に、水路式はダム式、ダム水路式に比べ (ウ) 。貯水ができないので発生電力の調整には適さない。ダム式発電では、ダムに水を蓄えることで (イ) の調整ができるので、電力需要が大きいときにあわせて運転することができる。

河川の自然の流れをそのまま利用して発電する方式を (エ) 発電という。貯水池を持たない水路式発電所がこれに相当する。

1日又は数日程度の河川流量を調整できる大きさを持つ池を持ち、電力需要が小さいときにその池に蓄え、電力需要が大きいときに放流して発電する方式を (オ) 発電という。自然の湖や人工の湖などを用いてもっと長期間の需要変動に応じて河川流量を調整・使用する方式を貯水池式発電という。

上記の記述中の空白箇所(ア)～(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)	落差	流速	建設期間が長い	調整池式	ダム式
(2)	流速	落差	建設期間が短い	調整池式	ダム式
(3)	落差	流量	高落差を得にくい	流込み式	揚水式
(4)	流量	落差	建設費が高い	流込み式	調整池式
(5)	落差	流量	建設費が安い	流込み式	調整池式

# 導出のポイント

問1 次の文章は、水力発電所の種類に関する記述である。

水力発電所は (ア) **落差** を得る方法により分類すると、水路式、ダム式、ダム水路式があり、 (イ) **流量** の利用方法により分類すると、流込み式、調整池式、貯水池式、揚水式がある。

**建設費が安い**

一般的に、水路式はダム式、ダム水路式に比べ (ウ) **流量**。貯水ができないので発生電力の調整には適さない。ダム式発電では、ダムに水を蓄えることで (イ) **流量** の調整ができるので、電力需要が大きいときにあわせて運転することができる。

河川の自然の流れをそのまま利用して発電する方式を (エ) **流込み式** 発電という。貯水池を持たない水路式発電所がこれに相当する。

1日又は数日程度の河川流量を調整できる大きさを持つ池を持ち、電力需要が小さいときにその池に蓄え、電力需要が大きいときに放流して発電する方式を (オ) **調整池式** 発電という。自然の湖や人工の湖などを用いてもっと長期間の需要変動に応じて河川流量を調整・使用する方式を貯水池式発電という。

水力発電  
位置エネルギー

→運動エネルギー (速度)

→圧力エネルギー (圧力)

発電機へのエネルギーの取り込み方は異なる  
元となる位置エネルギーとしては「落差」が必要

上記の記述中の空白箇所(ア)～(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)	落差	流速	建設期間が長い	調整池式	ダム式
(2)	流速	落差	建設期間が短い	調整池式	ダム式
(3)	落差	流量	高落差を得にくい	流込み式	揚水式
(4)	流量	落差	建設費が高い	流込み式	調整池式
(5)	落差	流量	建設費が安い	流込み式	調整池式

# R02 問1



問1 ダム水路式発電所における水撃作用とサージタンクに関する記述として、誤っているものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 発電機の負荷を急激に遮断又は急激に増やした場合は、それに応動して水車の使用水量が急激に変化し、流速が減少又は増加するため、水圧管内の圧力の急上昇又は急降下が起こる。このような圧力の変動を水撃作用という。
- (2) 水撃作用は、水圧管の長さが長いほど、水車案内羽根あるいは入口弁の閉鎖時間が短いほど、いずれも大きくなる。
- (3) 水撃作用の発生による影響を緩和する目的で設置される水圧調整用水槽をサージタンクという。サージタンクにはその構造・動作によって、差動式、小孔式、水室式などがあり、いずれも密閉構造である。
- (4) 圧力水路と水圧管との接続箇所に、サージタンクを設けることにより、水槽内部の水位の昇降によって、水撃作用を軽減することができる。
- (5) 差動式サージタンクは、負荷遮断時の圧力増加エネルギーをライザ(上昇管)内の水面上昇によってすばやく吸収し、そのあとで小穴を通してタンク内の水位をゆっくり通常のタンク内水位に戻す作用がある。



# 導出のポイント

問1 ダム水路式発電所における水撃作用とサージタンクに関する記述として、誤っているものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 発電機の負荷を急激に遮断又は急激に増やした場合は、それに応動して水車の使用水量が急激に変化し、流速が減少又は増加するため、水圧管内の圧力の急上昇又は急降下が起こる。このような圧力の変動を水撃作用という。
- (2) 水撃作用は、水圧管の長さが長いほど、水車案内羽根あるいは入口弁の閉鎖時間が短いほど、いずれも大きくなる。
- (3)** 水撃作用の発生による影響を緩和する目的で設置される水圧調整用水槽をサージタンクという。サージタンクにはその構造・動作によって、差動式、小孔式、水室式などがあり、いずれも密閉構造である。
- (4) 圧力水路と水圧管との接続箇所に、サージタンクを設けることにより、水槽内部の水位の昇降によって、水撃作用を軽減することができる。
- (5) 差動式サージタンクは、負荷遮断時の圧力増加エネルギーをライザ(上昇管)内の水面上昇によってすばやく吸収し、そのあとで小穴を通してタンク内の水位をゆっくり通常のタンク内水位に戻す作用がある。

**サージタンクは水圧管内の圧力の逃げ道なので、密閉してはいけない。水圧が大気に逃げない。**

# H29 問1

問1 水力発電所に用いられるダムの種別と特徴に関する記述として、誤っているものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 重力ダムとは、コンクリートの重力によって水圧などの外力に耐えられるようにしたダムであって、体積が大きくなるが構造が簡単で安定性が良い。我が国では、最も多く用いられている。
- (2) アーチダムとは、水圧などの外力を両岸の岩盤で支えるようにアーチ型にしたダムであって、両岸の幅が狭く、岩盤が丈夫なところに作られ、コンクリートの量を節減できる。
- (3) ロックフィルダムとは、岩石を積み上げて作るダムであって、内側には、砂利、アスファルト、粘土などが用いられている。ダムは大きくなるが、資材の運搬が困難で建設地付近に岩石や砂利が多い場所に適している。
- (4) アースダムとは、土壌を主材料としたダムであって、<sup>かんがい</sup>灌漑用の池などを作るのに適している。基礎の地質が、岩などで強固な場合にのみ採用される。
- (5) 取水ダムとは、水路式発電所の水路に水を導入するため河川に設けられるダムであって、ダムの高さは低く、越流形コンクリートダムなどが用いられている。

# 導出のポイント

問1 水力発電所に用いられるダムの種類と特徴に関する記述として、誤っているものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

(1) 重力ダムとは、コンクリートの重力によって水圧などの外力に耐えられるようにしたダムであって、体積が大きくなるが構造が簡単で安定性が良い。我が国では、最も多く用いられている。

(2) アーチダムとは、水圧などの外力を両岸の岩盤で支えるようにアーチ型にしたダムであって、両岸の幅が狭く、岩盤が丈夫なところに作られ、コンクリートの量を節減できる。

(3) ロックフィルダムとは、岩石を積み上げて作るダムであって、内側には、砂利、アスファルト、粘土などが用いられている。ダムは大きくなるが、資材の運搬が困難で建設地付近に岩石や砂利が多い場所に適している。

(4) アースダムとは、土壌を主材料としたダムであって、<sup>かんがい</sup>灌漑用の池などを作るのに適している。基礎の地質が、岩などで強固な場合にのみ採用される。

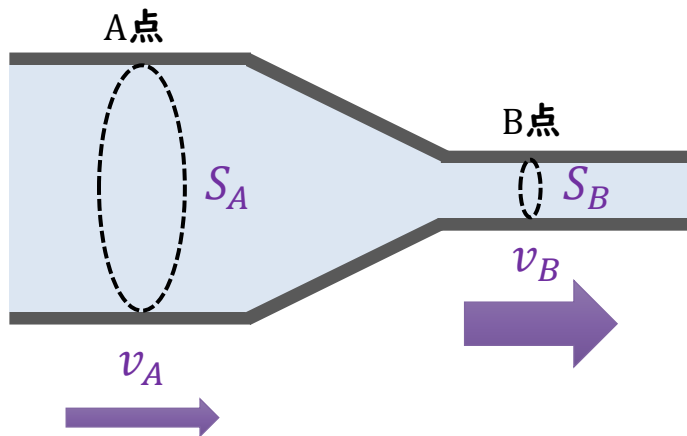
(5) 取水ダムとは、水路式発電所の水路に水を導入するため河川に設けられるダムであって、ダムの高さは低く、越流形コンクリートダムなどが用いられている。

## 基礎の地質が強固

→人工的な基礎（支柱を埋めるなど）が必要な場合  
地盤がしっかりしていないといけない。  
自然材料を使う場合は要求されない。

重力ダム、アーチダムは地盤が重要。

# 水力学 (連続の定理と圧力エネルギー)

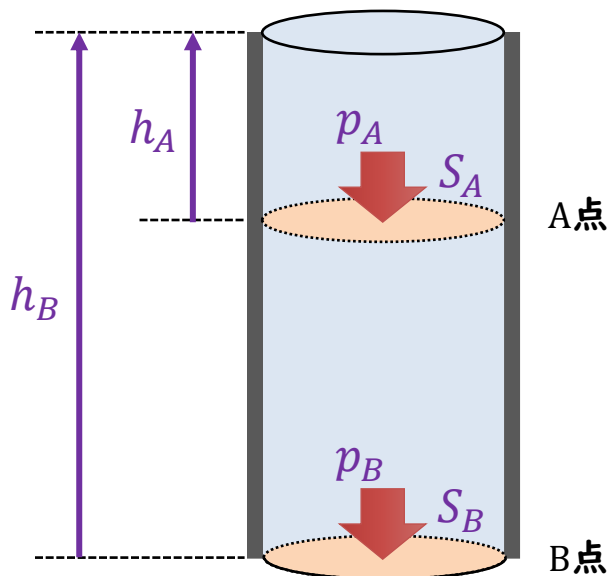


ホースの先をつまむと水の勢いが強くなる  
 →水の通路の断面積が小さくなると流速が上昇する  
 →断面積中を瞬間的に通過する水の量は変わらない  
 ⇒流量  $Q$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] は変化しない (連続の定理)

$$Q_A = S_A v_A$$

$$Q_B = S_B v_B$$

$$Q_A = Q_B \rightarrow S_A v_A = S_B v_B$$



A点の位置エネルギー

$$U_A = F_A \cdot h_A = p_A S_A h_A = p_A V_A = p_A \frac{m_A}{\rho}$$

$$m_A = \rho V_A$$

$\rho$ : 密度 [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

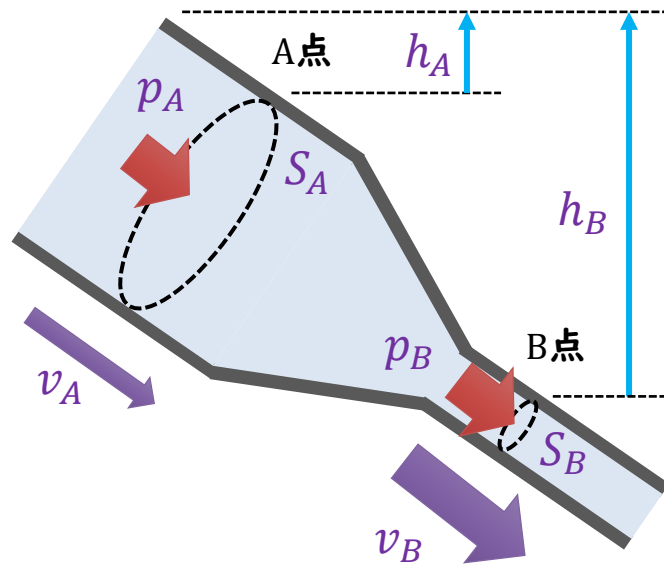
圧力×体積がエネルギーを表す

B点の位置エネルギー

$$U_B = F_B \cdot h_B = p_B S_B h_B = p_B V_B = p_B \frac{m_B}{\rho}$$

$$\text{圧力エネルギー} = p \frac{m}{\rho}$$

# 水力学（ベルヌーイの定理）



A点のエネルギー

=位置エネルギー+圧力エネルギー+運動エネルギー

$$E_A = m_A g h_A + p_A \frac{m_A}{\rho} + \frac{1}{2} m_A v_A^2$$

A点の単位体積当たりのエネルギー $e_A$ を考えると、

$$e_A = \frac{E_A}{V_A} = \frac{m_A}{V_A} g h_A + p_A \frac{m_A}{\rho V_A} + \frac{1}{2} \frac{m_A}{V_A} v_A^2 = \rho g h_A + p_A + \frac{1}{2} \rho v_A^2$$

同様にB点の単位体積当たりエネルギー $e_B$ は、

$$e_B = \frac{E_B}{V_B} = \frac{m_B}{V_B} g h_B + p_B \frac{m_B}{\rho V_B} + \frac{1}{2} \frac{m_B}{V_B} v_B^2 = \rho g h_B + p_B + \frac{1}{2} \rho v_B^2$$

エネルギー保存則より、それぞれの単位体積当たりのエネルギーは一致する

A点の単位体積当たりのエネルギー $e_A$ を考えると、

$$\rho g h_A + p_A + \frac{1}{2} \rho v_A^2 = \rho g h_B + p_B + \frac{1}{2} \rho v_B^2$$

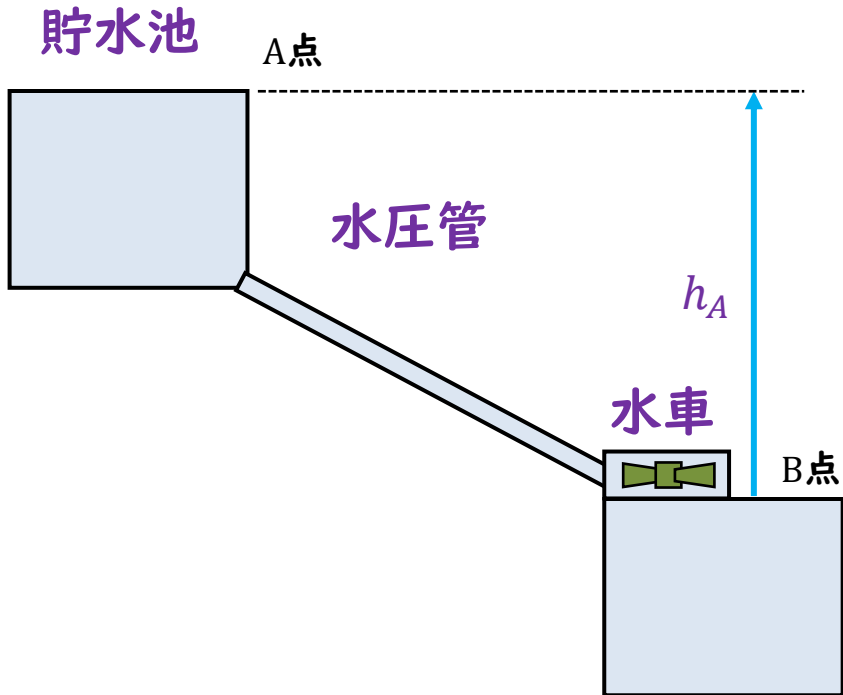
$$h_A + \frac{p_A}{\rho g} + \frac{v_A^2}{2g} = h_B + \frac{p_B}{\rho g} + \frac{v_B^2}{2g} = \text{一定 [m]}$$

**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

# 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 [m³/s]  
連続の定理より流量はどこでも同じ

理論水力

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

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

水は1000 cm³で1 kg  
1 m³で1000 kg

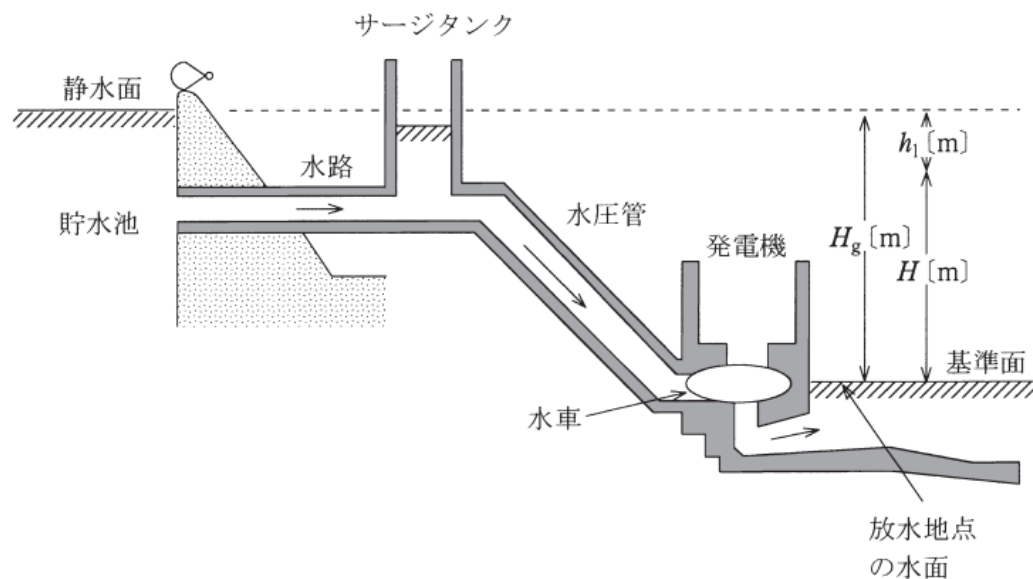
# H24 問1

問1 次の文章は、水力発電の理論式に関する記述である。

図に示すように、放水地点の水面を基準面とすれば、基準面から貯水池の静水面までの高さ  $H_g$  [m] を一般に (ア) という。また、水路や水圧管の壁と水との摩擦によるエネルギー損失に相当する高さ  $h_1$  [m] を (イ) という。さらに、 $H_g$  と  $h_1$  の差  $H = H_g - h_1$  を一般に (ウ) という。

いま、 $Q$  [m<sup>3</sup>/s] の水が水車に流れ込み、水車の効率を  $\eta_w$  とすれば、水車出力  $P_w$  は (エ) になる。さらに、発電機の効率を  $\eta_g$  とすれば、発電機出力  $P$  は (オ) になる。ただし、重力加速度は  $9.8$  [m/s<sup>2</sup>] とする。

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)	総落差	損失水頭	実効落差	$9.8QH\eta_w \times 10^3$ [W]	$9.8QH\eta_w\eta_g \times 10^3$ [W]
(2)	自然落差	位置水頭	有効落差	$\frac{9.8QH}{\eta_w} \times 10^{-3}$ [kW]	$\frac{9.8QH\eta_g}{\eta_w} \times 10^{-3}$ [kW]
(3)	総落差	損失水頭	有効落差	$9.8QH\eta_w \times 10^3$ [W]	$9.8QH\eta_w\eta_g \times 10^3$ [W]
(4)	基準落差	圧力水頭	実効落差	$9.8QH\eta_w$ [kW]	$9.8QH\eta_w\eta_g$ [kW]
(5)	基準落差	速度水頭	有効落差	$9.8QH\eta_w$ [kW]	$9.8QH\eta_w\eta_g$ [kW]

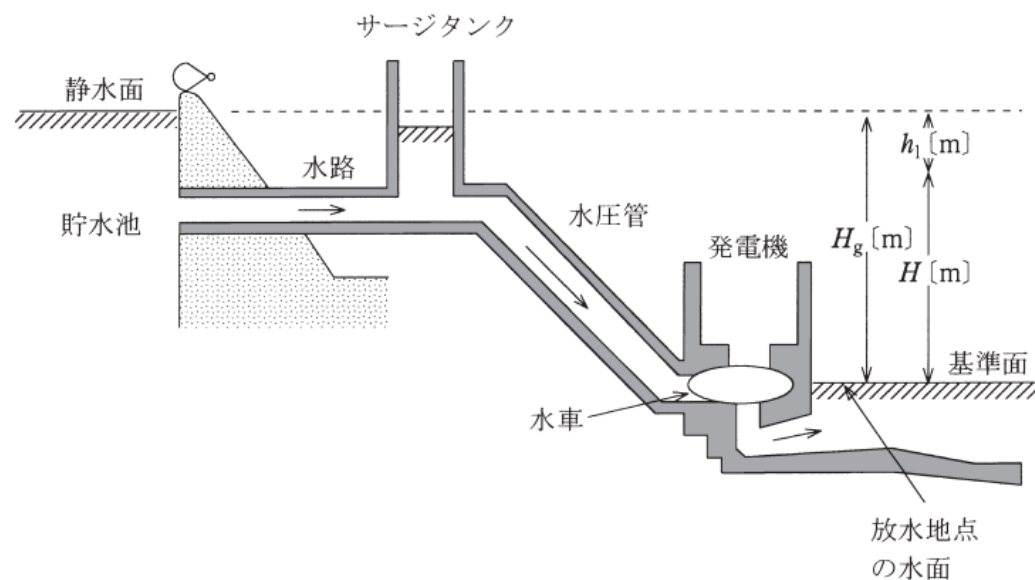
# 導出のポイント

問1 次の文章は、水力発電の理論式に関する記述である。

図に示すように、放水地点の水面を基準面とすれば、基準面から貯水池の静水面までの高さ  $H_g$  [m] を一般に (ア) **総落差** という。また、水路や水圧管の壁と水との摩擦によるエネルギー損失に相当する高さ  $h_1$  [m] を (イ) **損失水頭** という。さらに、 $H_g$  と  $h_1$  の差  $H = H_g - h_1$  を一般に (ウ) **有効落差**

いま、 $Q$  [m<sup>3</sup>/s] の水が水車に流れ込み、水車の効率を  $\eta_w$  とすれば、水車出力  $P_w$  は (エ)  $9.8QH\eta_w \times 10^3$  発電機の効率を  $\eta_g$  とすれば、発電機出力  $P$  は (オ)  $9.8QH\eta_w\eta_g \times 10^3$  になる。ただし、重力加速度は  $9.8$  [m/s<sup>2</sup>] とする。

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。



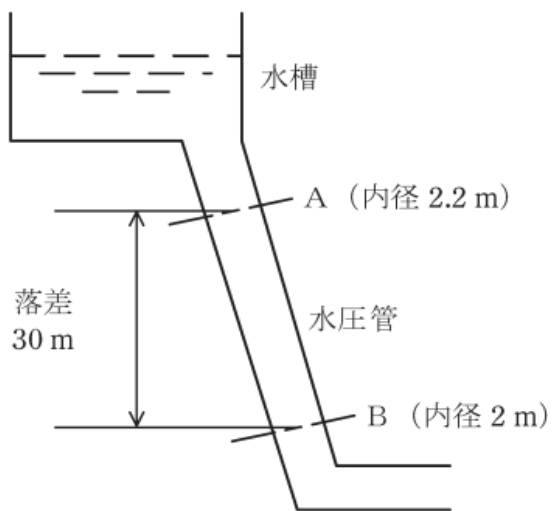
	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)
(1)	総落差	損失水頭	実効落差	$9.8QH\eta_w \times 10^3$ [W]	$9.8QH\eta_w\eta_g \times 10^3$ [W]
(2)	自然落差	位置水頭	有効落差	$\frac{9.8QH}{\eta_w} \times 10^{-3}$ [kW]	$\frac{9.8QH\eta_g}{\eta_w} \times 10^{-3}$ [kW]
<b>(3)</b>	総落差	損失水頭	有効落差	$9.8QH\eta_w \times 10^3$ [W]	$9.8QH\eta_w\eta_g \times 10^3$ [W]
(4)	基準落差	圧力水頭	実効落差	$9.8QH\eta_w$ [kW]	$9.8QH\eta_w\eta_g$ [kW]
(5)	基準落差	速度水頭	有効落差	$9.8QH\eta_w$ [kW]	$9.8QH\eta_w\eta_g$ [kW]



# R03 問2

問2 図で、水圧管内を水が充満して流れている。断面Aでは、内径 2.2 m、流速 3 m/s、圧力 24 kPa である。このとき、断面Aとの落差が 30 m、内径 2 m の断面 B における流速[m/s]と水圧[kPa]の最も近い値の組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、重力加速度は  $9.8 \text{ m/s}^2$ 、水の密度は  $1000 \text{ kg/m}^3$ 、円周率は 3.14 とする。

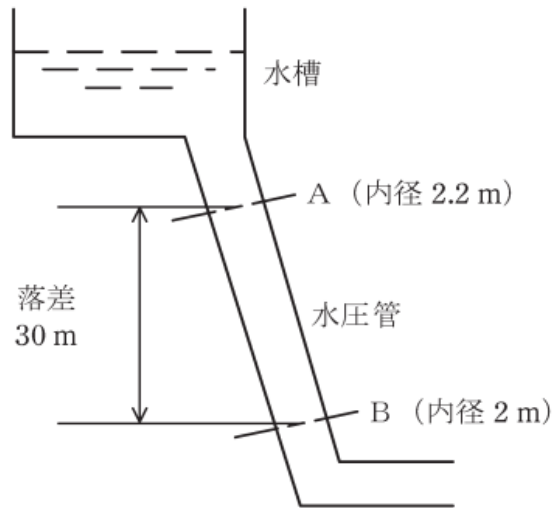


	流速[m/s]	水圧[kPa]
(1)	3.0	318
(2)	3.0	316
(3)	3.6	316
(4)	3.6	310
(5)	4.0	300

# 導出のポイント

問2 図で、水圧管内を水が充満して流れている。断面Aでは、内径 2.2 m、流速 3 m/s、圧力 24 kPa である。このとき、断面Aとの落差が 30 m、内径 2 m の断面 B における流速[m/s]と水圧[kPa]の最も近い値の組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、重力加速度は 9.8 m/s<sup>2</sup>、水の密度は 1000 kg/m<sup>3</sup>、円周率は 3.14 とする。



## 連続の定理より

$$S_A v_A = S_B v_B$$

$$\pi \left( \frac{D_A}{2} \right)^2 v_A = \pi \left( \frac{D_B}{2} \right)^2 v_B$$

$$D_A^2 v_A = D_B^2 v_B$$

$$v_B = \frac{D_A^2}{D_B^2} v_A = \frac{2.2^2}{2^2} \times 3 = 3.63 \text{ m/s}$$

## ベルヌーイの定理（水頭）より

$$h_A + \frac{p_A}{\rho g} + \frac{v_A^2}{2g} = \frac{p_B}{\rho g} + \frac{v_B^2}{2g}$$

$$30 + \frac{24 \times 10^3}{1000 \times 9.8} + \frac{3^2}{2 \times 9.8} = \frac{p_B}{1000 \times 9.8} + \frac{3.63^2}{2 \times 9.8}$$

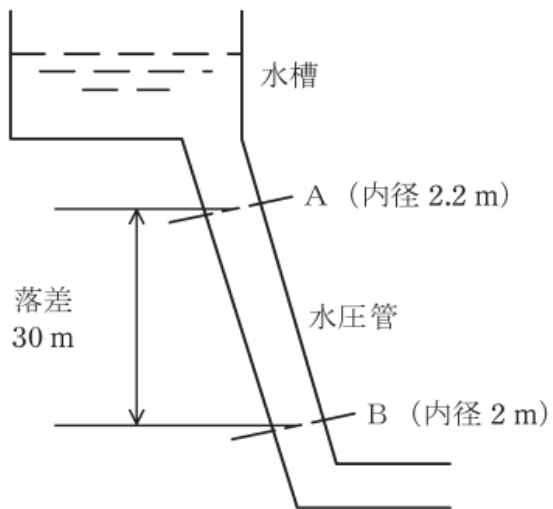
$$\frac{p_B}{1000 \times 9.8} = 30 + 2.45 + 0.46 - 0.67$$

$$p_B = 1000 \times 9.8 \times 32.24 = 316 \text{ kPa}$$

# R03 問2

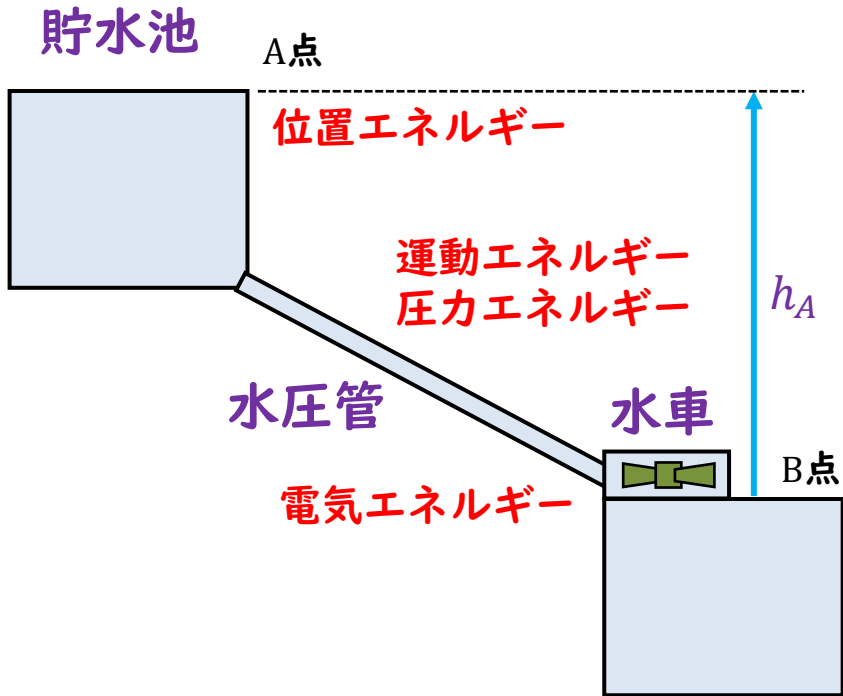
問2 図で、水圧管内を水が充満して流れている。断面Aでは、内径 2.2 m、流速 3 m/s、圧力 24 kPa である。このとき、断面Aとの落差が 30 m、内径 2 m の断面 Bにおける流速[m/s]と水圧[kPa]の最も近い値の組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、重力加速度は  $9.8 \text{ m/s}^2$ 、水の密度は  $1000 \text{ kg/m}^3$ 、円周率は 3.14 とする。



	流速[m/s]	水圧[kPa]
(1)	3.0	318
(2)	3.0	316
(3)	3.6	316
(4)	3.6	310
(5)	4.0	300

# 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  
 $P_0 = 9.8 QH$  [kW]

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

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

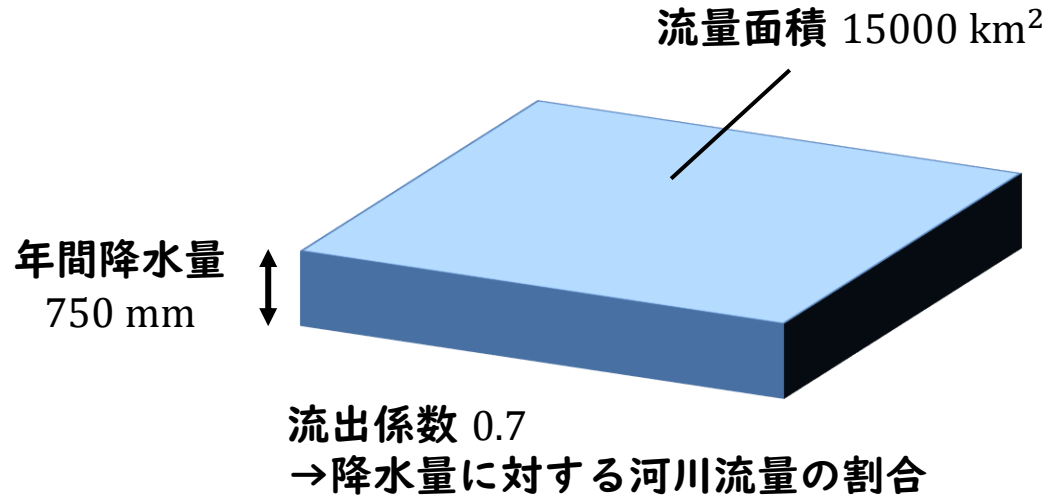
(b) この水力発電所の最大使用水量を小問(a)で求めた流量とし、有効落差  $100\text{ m}$ 、水車と発電機の総合効率を  $80\%$ 、発電所の年間の設備利用率を  $60\%$  としたとき、この発電所の年間発電電力量の値 [ $\text{kW}\cdot\text{h}$ ] に最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

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。



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

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

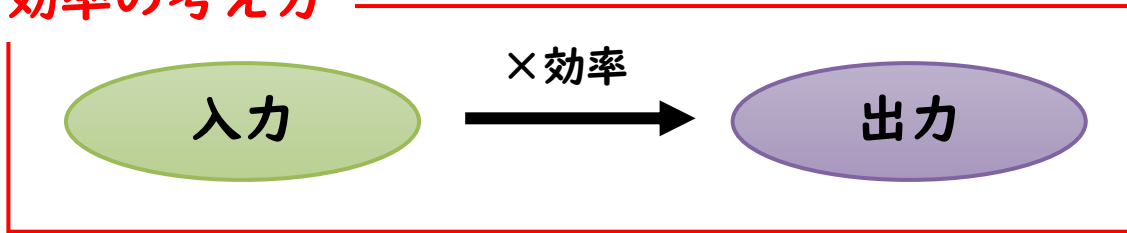
河川として得られる水を1年かけて使用する  
→水の量を1年で割ると年間の平均流量となる

# 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



# H21 問1

---

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

# 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

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

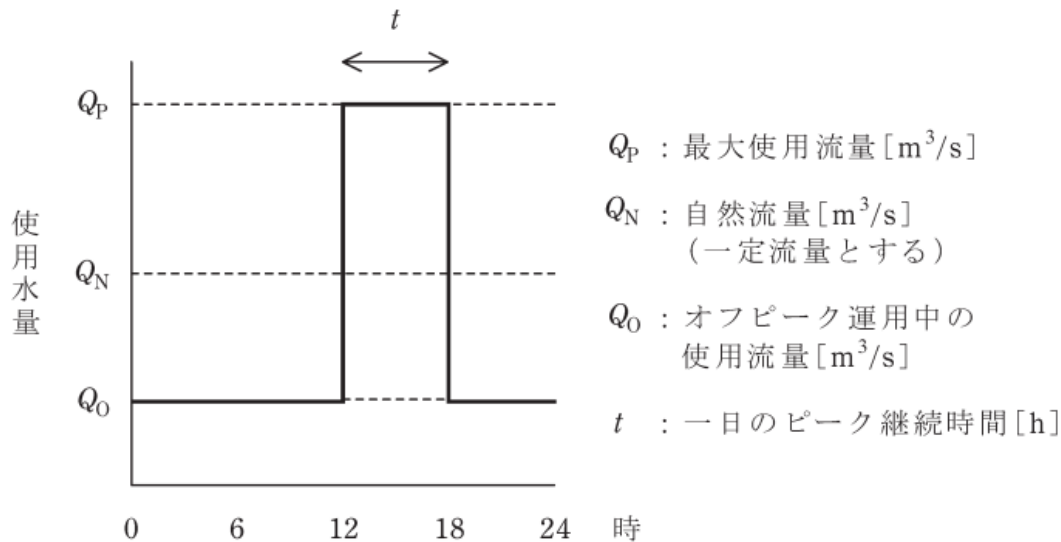
$$Q = \frac{2500 \times 0.8}{9.8 \times 100 \times 0.92 \times 0.94} = 2.36 \text{ m}^3/\text{s}$$

# H30 問15

問 15 調整池の有効貯水量  $V$  [m<sup>3</sup>]，最大使用水量 10 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/s で一日中一定とする。この条件で，最大使用水量  $Q_p=10$  m<sup>3</sup>/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 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  $V$  [m<sup>3</sup>]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

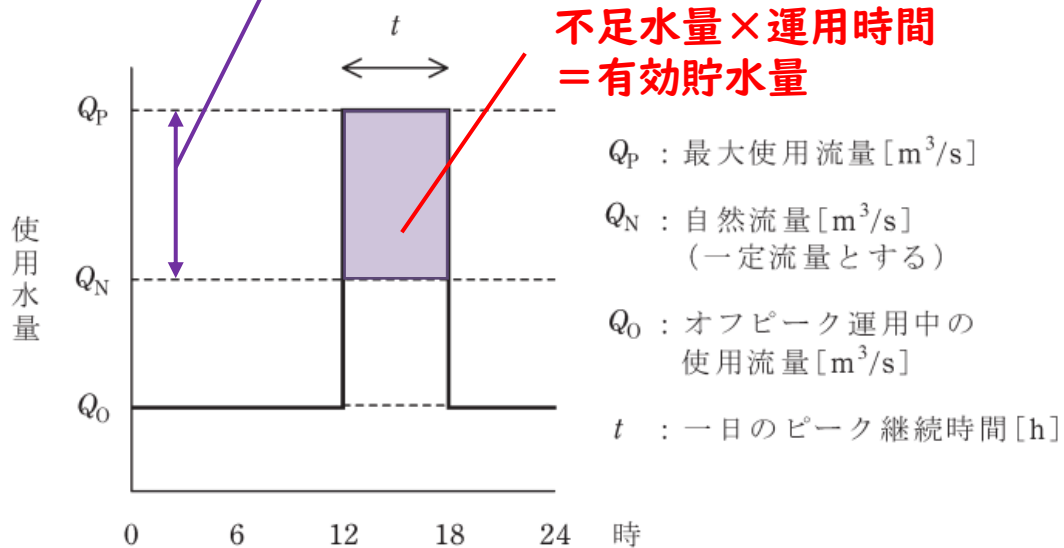
# 導出のポイント

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**

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

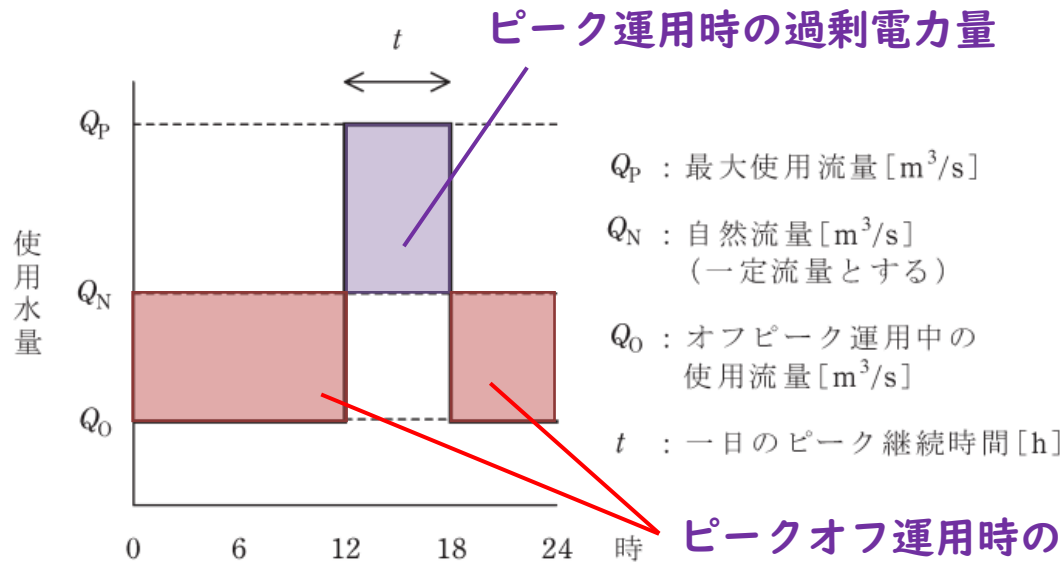
(b) オフピーク運用中の発電機出力 [kW]として, 最も近いものを次の(1)~(5)のうちから一つ選べ。

# 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 [ $\text{kW}$ ] 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**

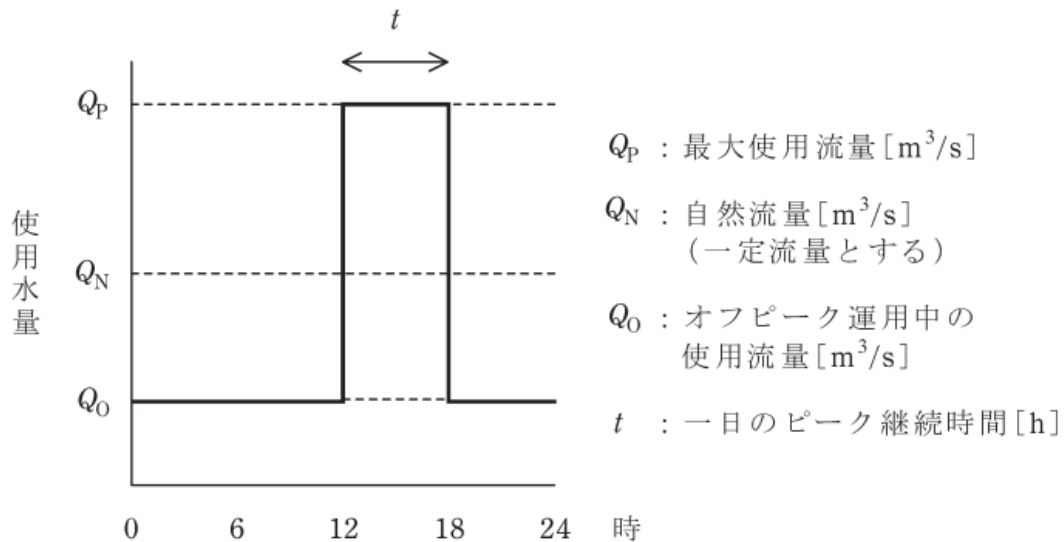
$$P_O = 9.8HQ_O \times \eta_t \eta_g = 9.8 \times 100 \times \frac{14}{3} \times 0.9 \times 0.96 = 3951 \text{ kW}$$

# H30 問15

問15 調整池の有効貯水量  $V$  [m<sup>3</sup>]、最大使用水量 10 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/s で一日中一定とする。この条件で、最大使用水量  $Q_p=10$  m<sup>3</sup>/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 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  $V$  [m<sup>3</sup>]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 H24 問13

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。

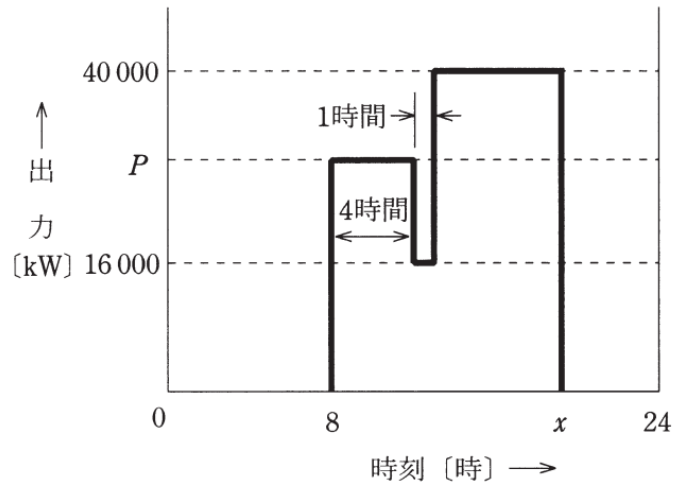
ただし、発電所出力 [kW] は使用水量 [m<sup>3</sup>/s] のみに比例するものとし、その他の要素にはよらないものとする。

(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。

- (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。

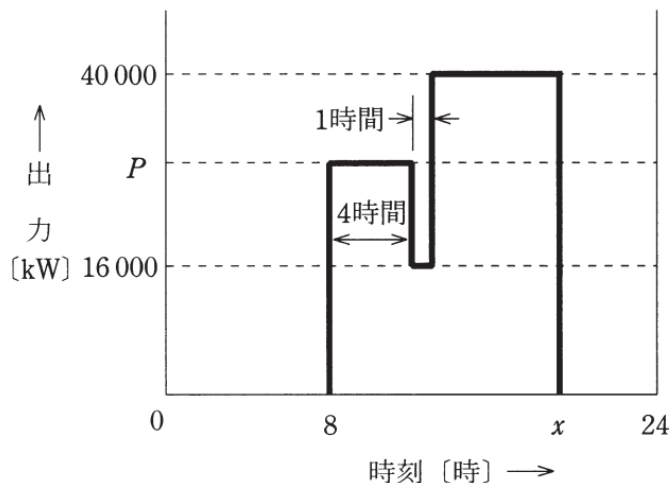
- (1) 20 000      (2) 22 000      (3) 24 000      (4) 26 000      (5) 28 000



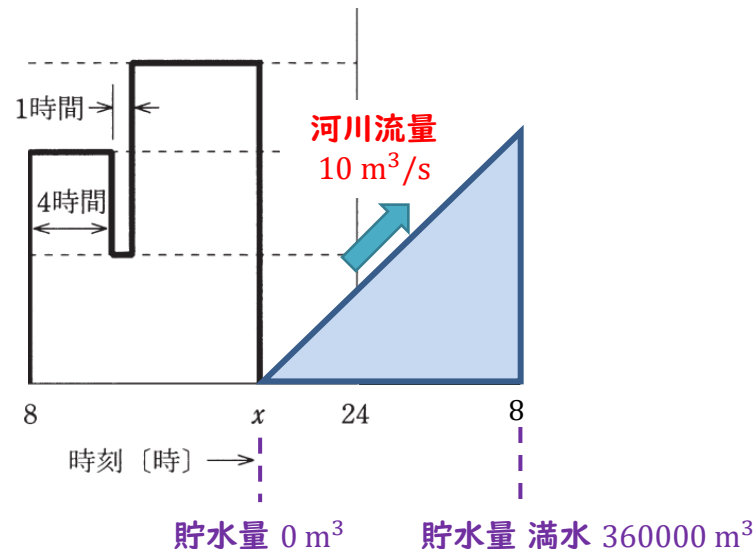
# 導出のポイント

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。



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

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

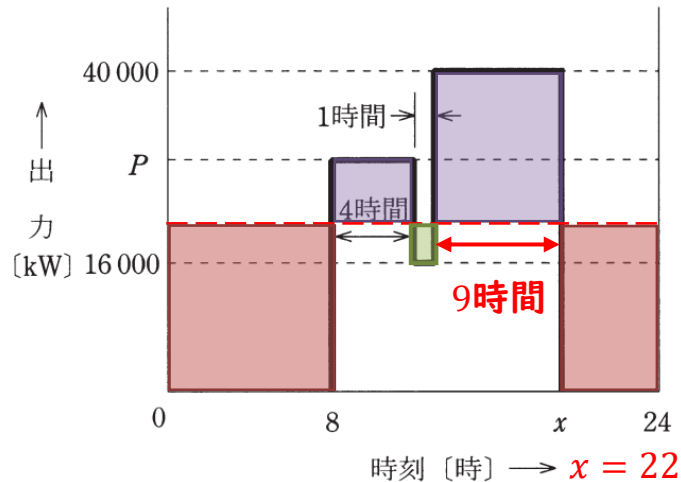
$$x = 32 - 10 = 22 \text{ (時)}$$



# 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。



(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。

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

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

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

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

$$2000 \times 10 \times 10 = (P - 20000) \times 4 - 4000 + 20000 \times 9$$

$$P - 20000 = \frac{200000 + 4000 - 20000 \times 9}{4} = \frac{24000}{4} = 6000$$

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

# 法規 H24 問13

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。

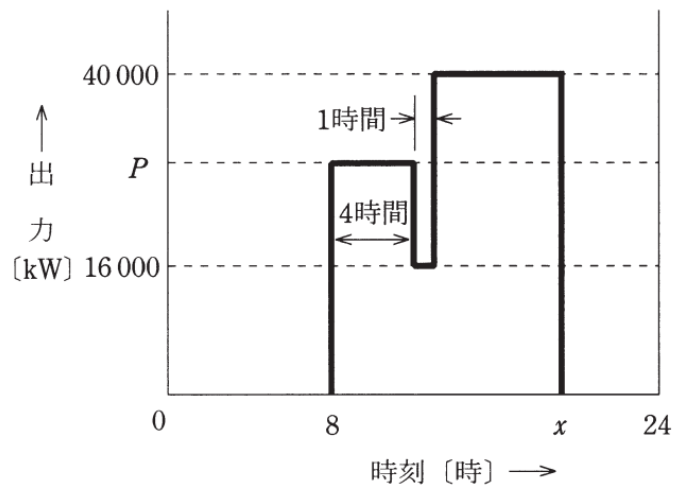
ただし、発電所出力 [kW] は使用水量 [m<sup>3</sup>/s] のみに比例するものとし、その他の要素にはよらないものとする。

(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。

- (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。

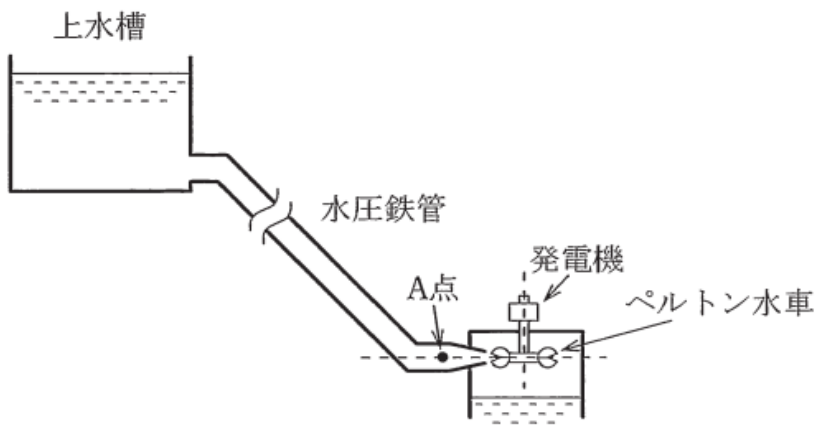
- (1) 20 000    (2) 22 000    (3) 24 000    (4) 26 000    (5) 28 000



# H26 問15

問15 ペルトン水車を 1 台もつ水力発電所がある。図に示すように、水車の中心線上に位置する鉄管の A 点において圧力  $p$  [Pa] と流速  $v$  [m/s] を測ったところ、それぞれ 3000 kPa, 5.3 m/s の値を得た。また、この A 点の鉄管断面は内径 1.2 m の円である。次の (a) 及び (b) の間に答えよ。

ただし、A 点における全水頭  $H$  [m] は位置水頭、圧力水頭、速度水頭の総和として  $h + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g}$  より計算できるが、位置水頭  $h$  は A 点が水車中心線上に位置することから無視できるものとする。また、重力加速度は  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 、水の密度は  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$  とする。



(a) ペルトン水車の流量の値 [m<sup>3</sup>/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) 3            (2) 4            (3) 5            (4) 6            (5) 7

(b) 水車出力の値 [kW] として、最も近いものを次の (1)～(5) のうちから一つ選べ。

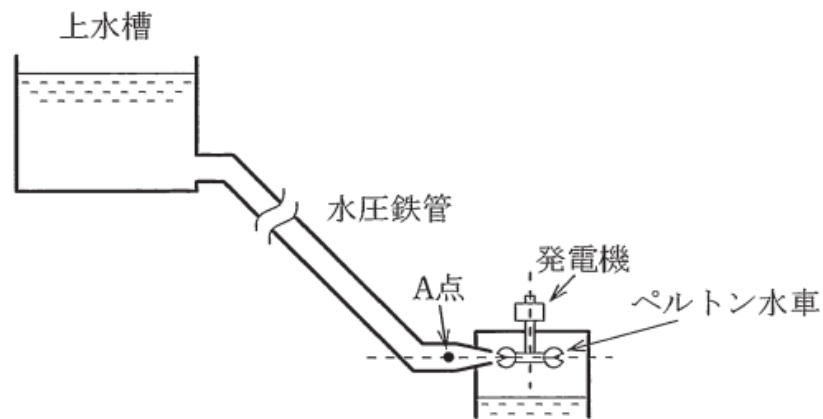
ただし、A 点から水車までの水路損失は無視できるものとし、また水車効率は 88.5 % とする。

- (1) 13000        (2) 14000        (3) 15000        (4) 16000        (5) 17000

# 導出のポイント

問15 ペルトン水車を 1 台もつ水力発電所がある。図に示すように、水車の中心線上に位置する鉄管の A 点において圧力  $p$  [Pa] と流速  $v$  [m/s] を測ったところ、それぞれ 3000 kPa, 5.3 m/s の値を得た。また、この A 点の鉄管断面は内径 1.2 m の円である。次の (a) 及び (b) の間に答えよ。

ただし、A 点における全水頭  $H$  [m] は位置水頭、圧力水頭、速度水頭の総和として  $h + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g}$  より計算できるが、位置水頭  $h$  は A 点が水車中心線上に位置することから無視できるものとする。また、重力加速度は  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 、水の密度は  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$  とする。



(a) ペルトン水車の流量の値 [m<sup>3</sup>/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) 3            (2) 4            (3) 5            (4) 6            (5) 7

$$Q = Sv = \pi \frac{D^2}{4} v = \pi \times \frac{1.2^2}{4} \times 5.3 = 6 \text{ m}^3/\text{s}$$

(b) 水車出力の値 [kW] として、最も近いものを次の (1)～(5) のうちから一つ選べ。

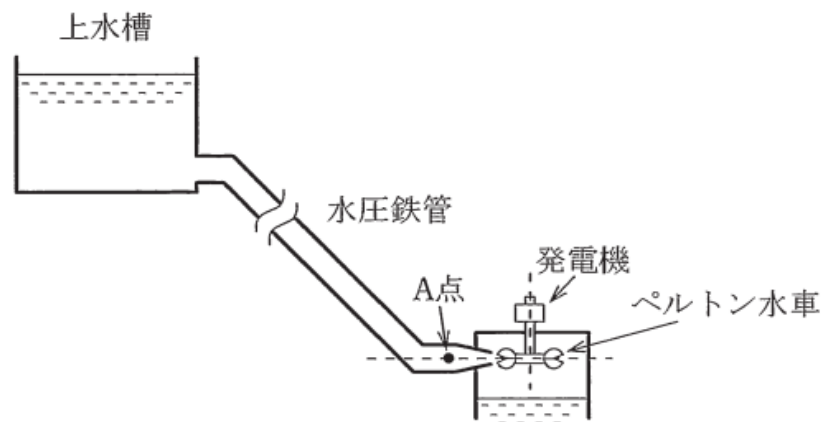
ただし、A 点から水車までの水路損失は無視できるものとし、また水車効率は 88.5% とする。

- (1) 13000    (2) 14000    (3) 15000    (4) 16000    (5) 17000

# 導出のポイント

問15 ペルトン水車を 1 台もつ水力発電所がある。図に示すように、水車の中心線上に位置する鉄管の A 点において圧力  $p$  [Pa] と流速  $v$  [m/s] を測ったところ、それぞれ 3000 kPa, 5.3 m/s の値を得た。また、この A 点の鉄管断面は内径 1.2 m の円である。次の (a) 及び (b) の間に答えよ。

ただし、A 点における全水頭  $H$  [m] は位置水頭、圧力水頭、速度水頭の総和として  $h + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g}$  より計算できるが、位置水頭  $h$  は A 点が水車中心線上に位置することから無視できるものとする。また、重力加速度は  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 、水の密度は  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$  とする。



(b) 水車出力の値 [kW] として、最も近いものを次の (1)～(5) のうちから一つ選べ。

ただし、A 点から水車までの水路損失は無視できるものとし、また水車効率は 88.5 % とする。

- (1) 13000    (2) 14000    (3) 15000    (4) 16000    (5) 17000

$$Q = 6 \text{ m}^3/\text{s}$$

**有効落差**

$$H = \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = \frac{3000 \times 10^3}{9.8 \times 1000} + \frac{5.3^2}{2 \times 9.8} = 307.6 \text{ m}$$

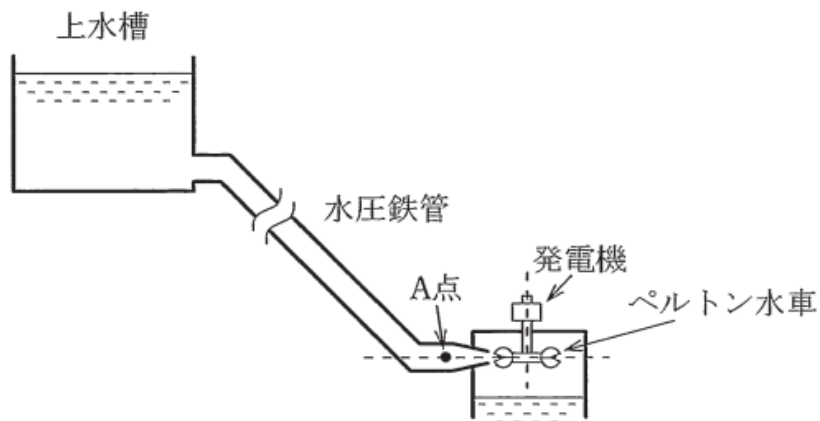
**水車出力**

$$P = 9.8HQ \times \eta = 9.8 \times 307.6 \times 6 \times 0.885 = 16000 \text{ kW}$$

# H26 問15

問15 ペルトン水車を 1 台もつ水力発電所がある。図に示すように、水車の中心線上に位置する鉄管の A 点において圧力  $p$  [Pa] と流速  $v$  [m/s] を測ったところ、それぞれ 3000 kPa, 5.3 m/s の値を得た。また、この A 点の鉄管断面は内径 1.2 m の円である。次の (a) 及び (b) の間に答えよ。

ただし、A 点における全水頭  $H$  [m] は位置水頭、圧力水頭、速度水頭の総和として  $h + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g}$  より計算できるが、位置水頭  $h$  は A 点が水車中心線上に位置することから無視できるものとする。また、重力加速度は  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 、水の密度は  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$  とする。



(a) ペルトン水車の流量の値 [m<sup>3</sup>/s] として、最も近いものを次の (1)～(5) のうちから一つ選べ。

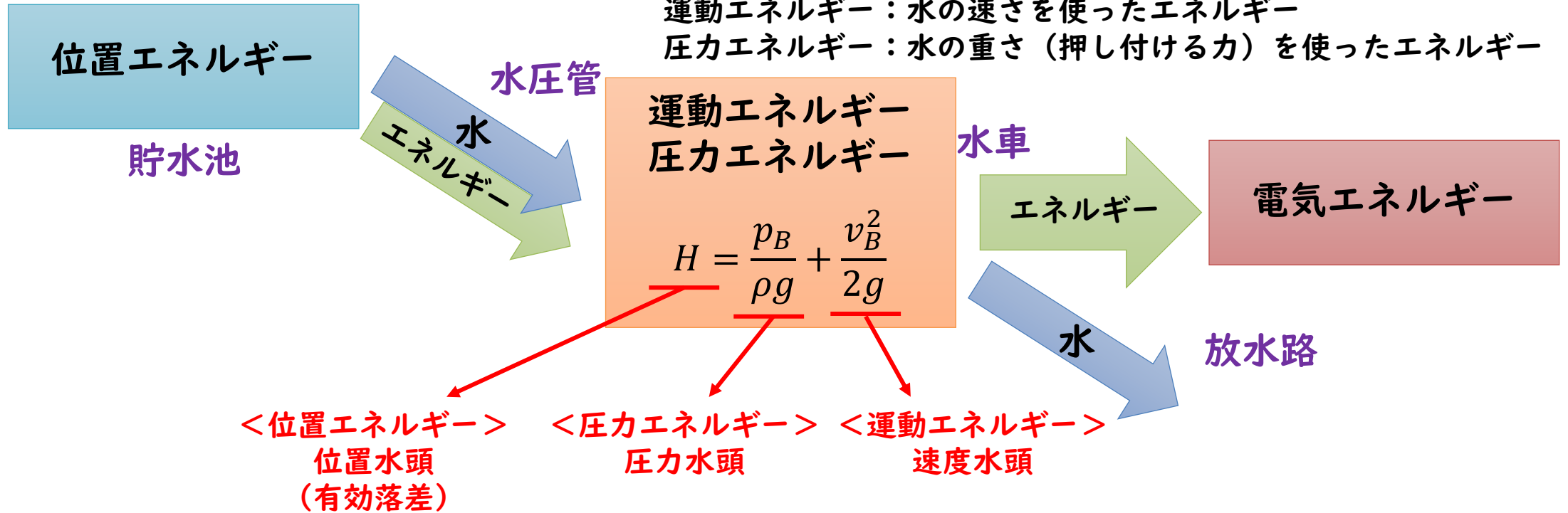
- (1) 3      (2) 4      (3) 5      (4) 6      (5) 7

(b) 水車出力の値 [kW] として、最も近いものを次の (1)～(5) のうちから一つ選べ。

ただし、A 点から水車までの水路損失は無視できるものとし、また水車効率は 88.5 % とする。

- (1) 13000      (2) 14000      (3) 15000      (4) 16000      (5) 17000

# 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

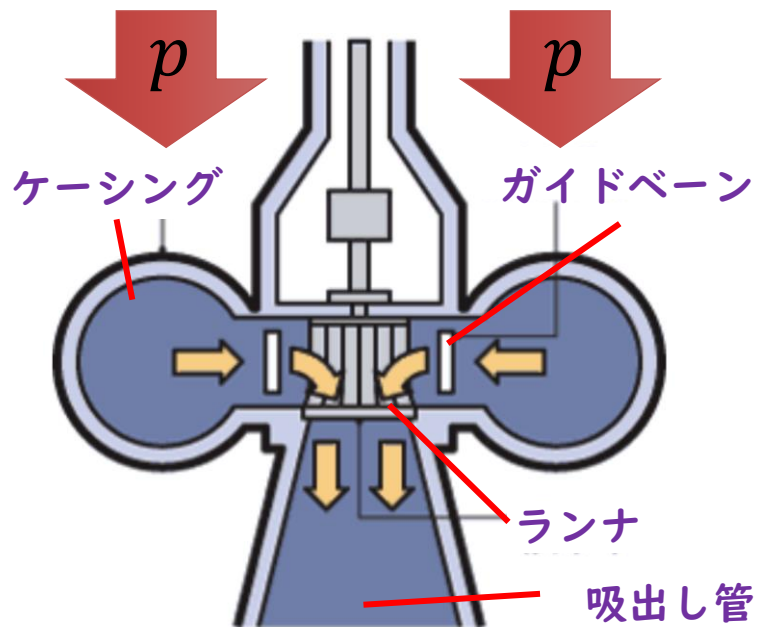
<運動エネルギー>  
速度水頭  
を使う水車→衝動水車

水を勢いよくぶつけて（速度）で水車を回転させる

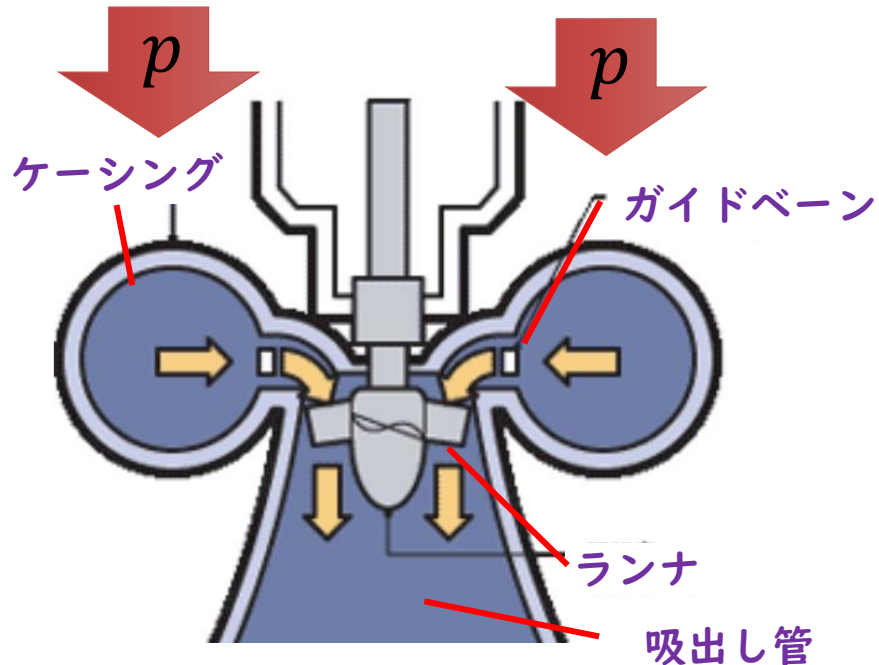
# 反動水車

[https://www.chuden.co.jp/energy/renew/ren\\_shikumi/wat\\_shikumi/suisha/](https://www.chuden.co.jp/energy/renew/ren_shikumi/wat_shikumi/suisha/)

フランシス水車



プロペラ水車



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。

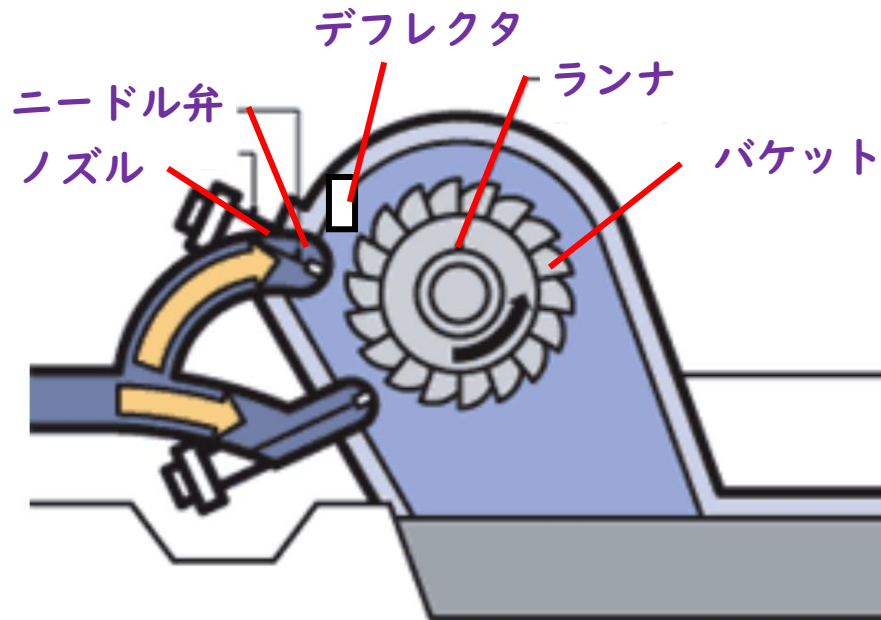


# 衝動水車

[https://www.chuden.co.jp/energy/renew/ren\\_shikumi/wat\\_shikumi/suisha/](https://www.chuden.co.jp/energy/renew/ren_shikumi/wat_shikumi/suisha/)

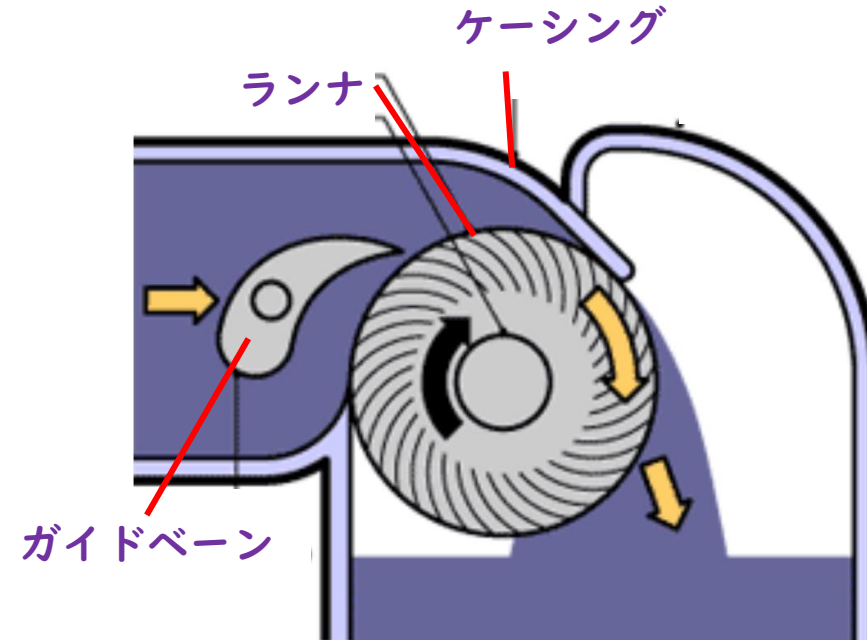


## ペルトン水車



- 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。

# 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 [ $\text{min}^{-1}$ ]

$P$ : 定格出力 [kW]

$H$ : 有効落差 [m]

$Q$ : 流量 [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

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

# H22 問1

問1 次の文章は、水車に関する記述である。

衝動水車は、位置水頭を  に変えて、水車に作用させるものである。  
 この衝動水車は、ランナ部で  を用いないので、 水車の  
 ように、水流が  を通過するような構造が可能となる。

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)及び(エ)に当てはまる語句として、  
 正しいものを組み合わせたのは次のうちどれか。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1)	圧力水頭	速度水頭	フランシス	空気中
(2)	圧力水頭	速度水頭	フランシス	吸出管中
(3)	速度水頭	圧力水頭	フランシス	吸出管中
(4)	速度水頭	圧力水頭	ペルトン	吸出管中
(5)	速度水頭	圧力水頭	ペルトン	空気中

# 導出のポイント

問1 次の文章は、水車に関する記述である。

衝動水車は、位置水頭を **速度水頭** (ア) に変えて、水車に作用させるものである。

この衝動水車は、ランナ部で (イ) を用いないので、**ペルトン** (ウ) 水車の  
ように、水流が (エ) **圧力水頭** を通過するような構造が可能となる。

**空気中**

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)及び(エ)に当てはまる語句として、正しいものを組み合わせたのは次のうちどれか。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1)	圧力水頭	速度水頭	フランシス	空気中
(2)	圧力水頭	速度水頭	フランシス	吸出管中
(3)	速度水頭	圧力水頭	フランシス	吸出管中
(4)	速度水頭	圧力水頭	ペルトン	吸出管中
<b>(5)</b>	速度水頭	圧力水頭	ペルトン	空気中

# H25 問1

問1 次の文章は、水力発電に用いる水車に関する記述である。

水をノズルから噴出させ、水の位置エネルギーを運動エネルギーに変えた流水をランナに作用させる構造の水車を  水車と呼び、代表的なものに  水車がある。また、水の位置エネルギーを圧力エネルギーとして、流水をランナに作用させる構造の代表的な水車に  水車がある。さらに、流水がランナを軸方向に通過する  水車もある。近年の地球温暖化防止策として、農業用水・上下水道・工業用水など少水量と低落差での発電が注目されており、代表的なものに  水車がある。

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)	反動	ペルトン	プロペラ	フランシス	クロスフロー
(2)	衝動	フランシス	カプラン	クロスフロー	ポンプ
(3)	反動	斜流	フランシス	ポンプ	プロペラ
(4)	衝動	ペルトン	フランシス	プロペラ	クロスフロー
(5)	斜流	カプラン	クロスフロー	プロペラ	フランシス

# 導出のポイント

問1 次の文章は、水力発電に用いる水車に関する記述である。

水をノズルから噴出させ、水の位置エネルギーを運動エネルギーに変えた流水をランナに作用させる構造の水車を  水車と呼び、代表的なものに  水車がある。また、水の位置エネルギーを圧力エネルギーとして、流水をランナに作用させる構造の代表的な水車に  水車がある。さらに、流水がランナを軸方向に通過する  水車もある。近年の地球温暖化防止策として、農業用水・上下水道・工業用水など少水量と低落差での発電が注目されており、代表的なものに  水車がある。

衝動

ペルトン

フランシス

プロペラ

クロスフロー

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)	反動	ペルトン	プロペラ	フランシス	クロスフロー
(2)	衝動	フランシス	カプラン	クロスフロー	ポンプ
(3)	反動	斜流	フランシス	ポンプ	プロペラ
<b>(4)</b>	衝動	ペルトン	フランシス	プロペラ	クロスフロー
(5)	斜流	カプラン	クロスフロー	プロペラ	フランシス

# RO1 問2

問2 次の文章は、水車の構造と特徴についての記述である。

〔ア〕を持つ流水がランナに流入し、ここから出るときの反動力により回転する水車を反動水車という。〔イ〕は、ケーシング(渦形室)からランナに流入した水がランナを出るときに軸方向に向きを変えるように水の流れをつくる水車である。一般に、落差 40 m～500 m の中高落差用に用いられている。

プロペラ水車ではランナを通過する流水が軸方向である。ランナには扇風機のような羽根がついている。流量が多く低落差の発電所で使用される。〔ウ〕はプロペラ水車の羽根を可動にしたもので、流量の変化に応じて羽根の角度を変えて効率がよい運転ができる。

一方、水の落差による〔ア〕を〔エ〕に変えてその流水をランナに作用させる構造のものが衝動水車である。〔オ〕は、水圧管路に導かれた流水が、ノズルから噴射されてランナバケットに当たり、このときの衝動力でランナが回転する水車である。高落差で流量の比較的少ない地点に用いられる。

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)	圧力水頭	フランシス水車	カプラン水車	速度水頭	ペルトン水車
(2)	速度水頭	ペルトン水車	フランシス水車	圧力水頭	カプラン水車
(3)	圧力水頭	カプラン水車	ペルトン水車	速度水頭	フランシス水車
(4)	速度水頭	フランシス水車	カプラン水車	圧力水頭	ペルトン水車
(5)	圧力水頭	ペルトン水車	フランシス水車	速度水頭	カプラン水車

# 導出のポイント

問2 次の文章は、水車の構造と特徴についての記述である。

〔ア〕を持つ流水がランナに流入し、ここから出るときの反動力により回転する水車を反動水車という。〔イ〕は、ケーシング(渦形室)からランナに流入した水がランナを出るときに軸方向に向きを変えるように水の流れをつくる水車である。一般に、落差40m～500mの中高落差用に用いられている。

プロペラ水車ではランナを通過する流水が軸方向である。ランナには扇風機のような羽根がついている。流量が多く低落差の発電所で使用される。〔ウ〕はプロペラ水車の羽根を可動にしたもので、流量の変化に応じて羽根の角度を変えて効率がよい運転ができる。

一方、水の落差による〔ア〕を〔エ〕に変えてその流水をランナに作用させる構造のものが衝動水車である。〔オ〕は、水圧管路に導かれた流水が、ノズルから噴射されてランナバケットに当たり、このときの衝動力でランナが回転する水車である。高落差で流量の比較的少ない地点に用いられる。

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)	圧力水頭	フランシス水車	カプラン水車	速度水頭	ペルトン水車
(2)	速度水頭	ペルトン水車	フランシス水車	圧力水頭	カプラン水車
(3)	圧力水頭	カプラン水車	ペルトン水車	速度水頭	フランシス水車
(4)	速度水頭	フランシス水車	カプラン水車	圧力水頭	ペルトン水車
(5)	圧力水頭	ペルトン水車	フランシス水車	速度水頭	カプラン水車



# R05上 問1 (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  変えたとき、 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  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  $n$  [ $\text{min}^{-1}$ ]、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。

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

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  。

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、 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 <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup> /s)	出力	小さい	高い効率を得

# 導出のポイント

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  $n$  [ $\text{min}^{-1}$ ]、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。

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

**小さい**

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

**キャビテーションが生じ** 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 <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup> /s)	出力	小さい	高い効率を得

# 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

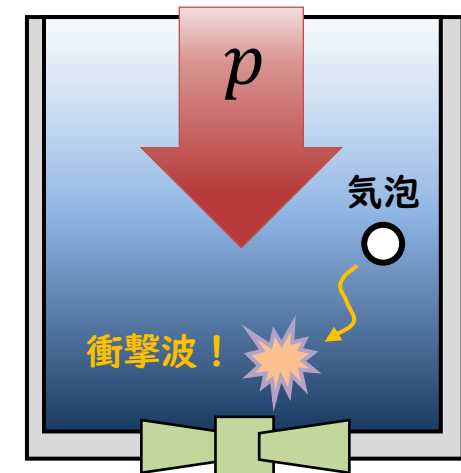
なぜ水蒸気の気泡が発生？

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

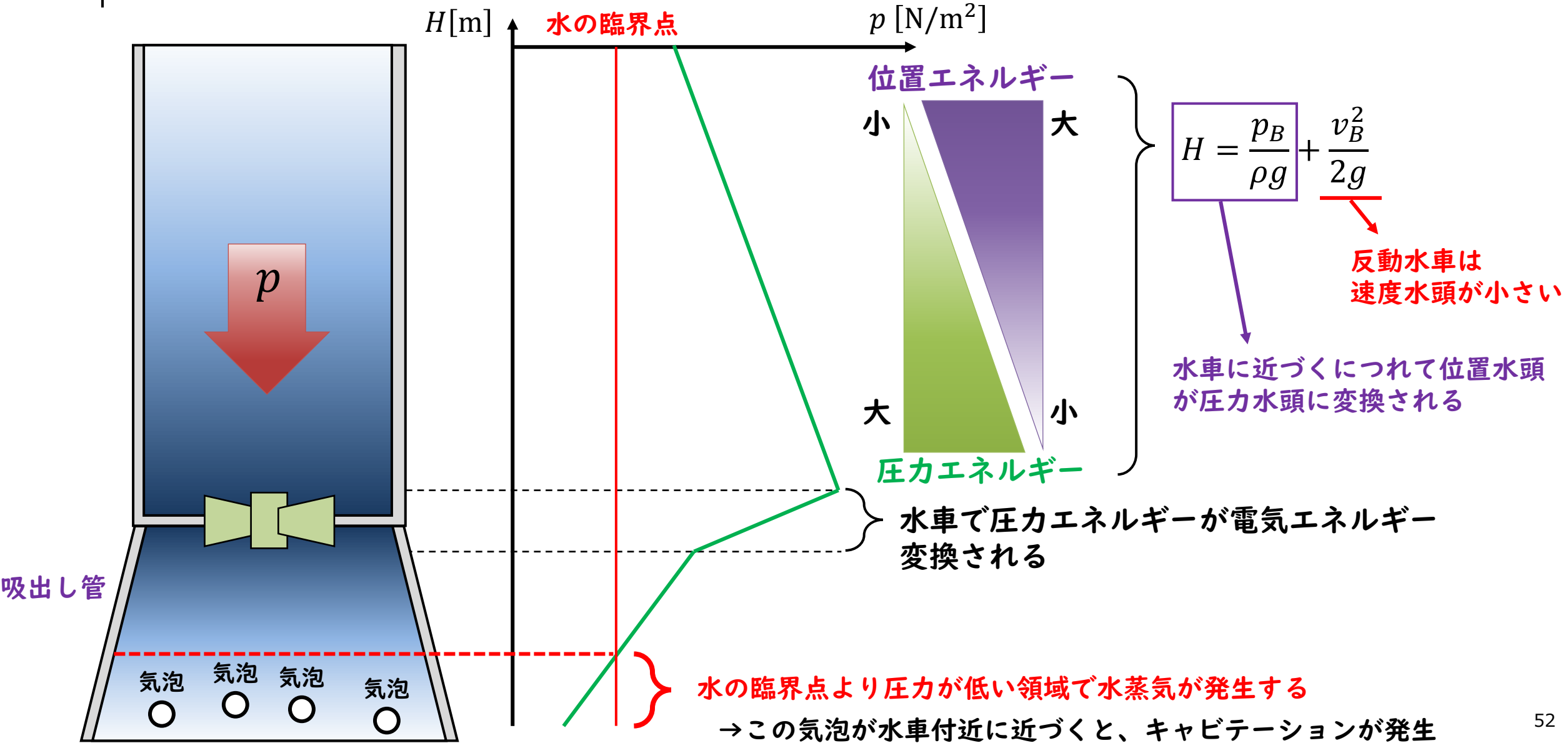
キャビテーションの原因は  
水車付近（高圧力領域）の近くで水蒸気が発生（低圧力領域）ができる圧力分布になること

キャビテーションが起こると、

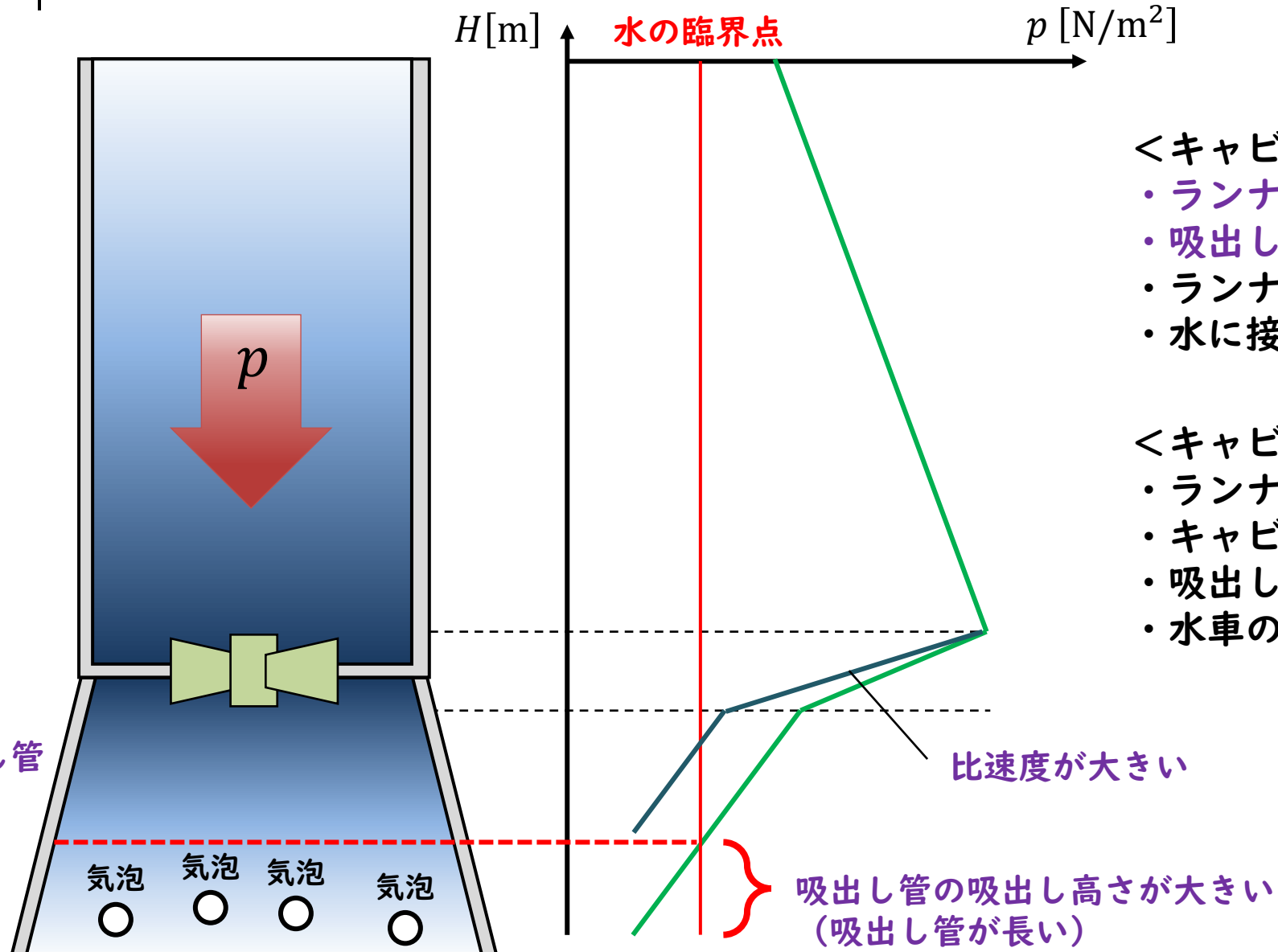
- ・ランナで振動や騒音が発生
- ・ガイドベーンやランナが壊食



# 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

# H29 問2

問2 次の文章は、水車のキャビテーションに関する記述である。

運転中の水車の流水経路中のある点で  が低下し、そのときの  以下になると、その部分の水は蒸発して流水中に微細な気泡が発生する。その気泡が  の高い箇所に到達すると押し潰され消滅する。このような現象をキャビテーションという。水車にキャビテーションが発生すると、ランナやガイドベーンの壊食、効率の低下、 の増大など水車に有害な現象が現れる。

吸出し管の高さを  することは、キャビテーションの防止のため有効な対策である。

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)及び(エ)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)
(1)	流速	飽和水蒸気圧	吸出し管水圧	低く
(2)	流速	最低流速	吸出し管水圧	高く
(3)	圧力	飽和水蒸気圧	吸出し管水圧	低く
(4)	圧力	最低流速	振動や騒音	高く
(5)	圧力	飽和水蒸気圧	振動や騒音	低く

# 導出のポイント

問2 次の文章は、水車のキャビテーションに関する記述である。

運転中の水車の流水経路中のある点で  が低下し、そのときの  以下になると、その部分の水は蒸発して流水中に微細な気泡が発生する。その気泡が  の高い箇所に到達すると押し潰され消滅する。このような現象をキャビテーションという。水車にキャビテーションが発生すると、ランナやガイドベーンの壊食、効率の低下、 の増大など水車に有害な現象が現れる。

吸出し管の高さを  することは、キャビテーションの防止のため有効な対策である。

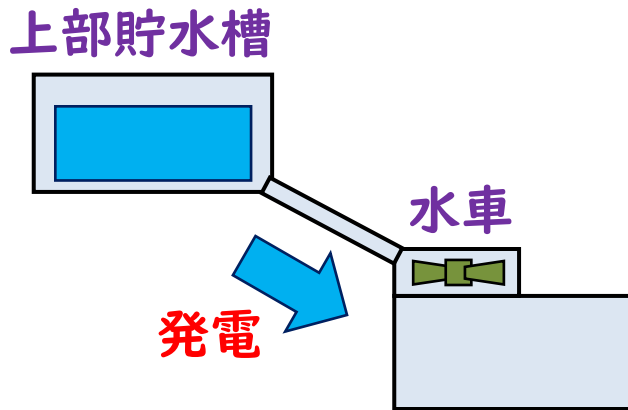
上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)及び(エ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1) 流速	飽和水蒸気圧	吸出し管水圧	低く
(2) 流速	最低流速	吸出し管水圧	高く
(3) 圧力	飽和水蒸気圧	吸出し管水圧	低く
(4) 圧力	最低流速	振動や騒音	高く
(5) 圧力	飽和水蒸気圧	振動や騒音	低く

# 揚力発電所

日中→ピーク電力を補うために発電  
 夜間→余った電力を使って上部貯水槽に水をためる (揚水)

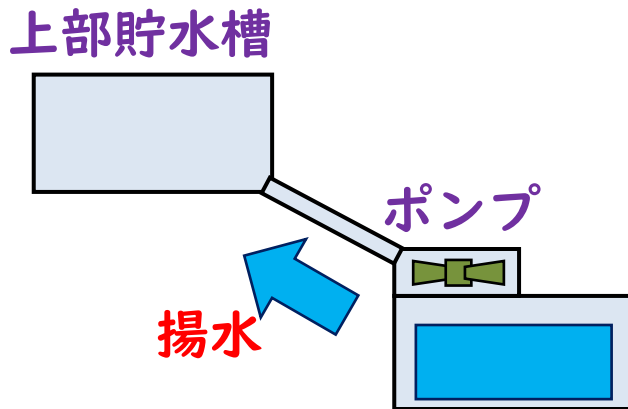
水車とポンプが同じ→ ポンプ水車式  
 水車とポンプの軸を共有→ タンデム式  
 水車とポンプが別々→ 別置式



## 出力電力

$$P_o = 9.8Q_G (H - \text{損失水頭}) \times \eta_G \times \eta_T$$

総落差： $H$  [m]  
 発電時の流量： $Q_G$  [m<sup>3</sup>/s]  
 発電効率： $\eta_G$   
 水車効率： $\eta_T$



## 揚水入力 (ポンプに供給する電力)

(揚力入力) × (効率) = ポンプの消費電力

$$P_I \times \eta_M \times \eta_P = 9.8Q_P (H + \text{損失水頭})$$

$$P_I = 9.8Q_P (H + \text{損失水頭}) \times \frac{1}{\eta_M \times \eta_P}$$

総落差： $H$  [m]  
 揚水量： $Q_P$  [m<sup>3</sup>/s]  
 電動機効率： $\eta_M$   
 ポンプ効率： $\eta_P$

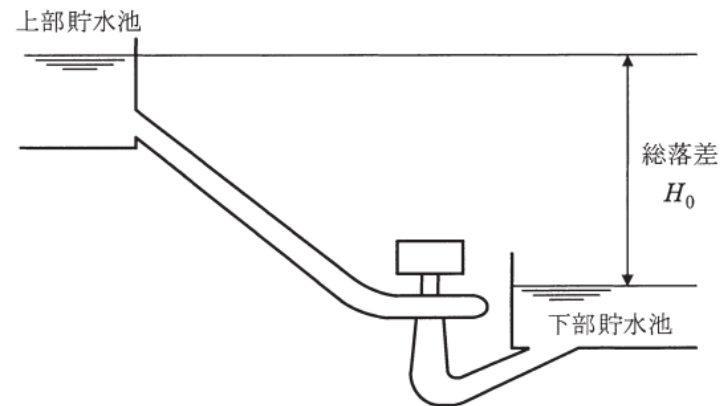


# H28 問1

問1 下記の諸元の揚水発電所を, 運転中の総落差が変わらず, 発電出力, 揚水入力とも一定で運転するものと仮定する。この揚水発電所における発電出力の値 [kW], 揚水入力の値 [kW], 揚水所要時間の値 [h] 及び揚水総合効率の値 [%] として, 最も近い値の組合せを次の(1)~(5)のうちから一つ選べ。

揚水発電所の諸元

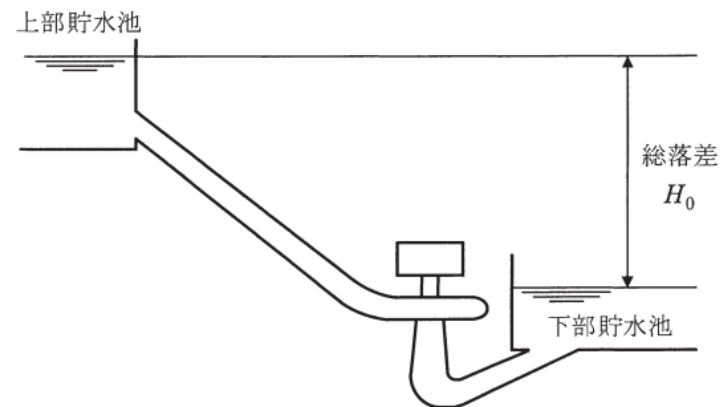
総落差	$H_0 = 400 \text{ m}$
発電損失水頭	$h_G = H_0$ の3%
揚水損失水頭	$h_P = H_0$ の3%
発電使用水量	$Q_G = 60 \text{ m}^3/\text{s}$
揚水量	$Q_P = 50 \text{ m}^3/\text{s}$
発電運転時の効率	発電機効率 $\eta_G$ × 水車効率 $\eta_T = 87\%$
ポンプ運転時の効率	電動機効率 $\eta_M$ × ポンプ効率 $\eta_P = 85\%$
発電運転時間	$T_G = 8 \text{ h}$



	発電出力 [kW]	揚水入力 [kW]	揚水所要時間 [h]	揚水総合効率 [%]
(1)	204 600	230 600	9.6	74.0
(2)	204 600	230 600	10.0	71.0
(3)	198 500	237 500	9.6	71.0
(4)	198 500	237 500	10.0	69.6
(5)	198 500	237 500	9.6	69.6

# 導出のポイント

問1 下記の諸元の揚水発電所を, 運転中の総落差が変わらず, 発電出力, 揚水入力とも一定で運転するものと仮定する。この揚水発電所における発電出力の値 [kW], 揚水入力の値 [kW], 揚水所要時間の値 [h] 及び揚水総合効率の値 [%] として, 最も近い値の組合せを次の(1)~(5)のうちから一つ選べ。



揚水発電所の諸元

総落差	$H_0 = 400 \text{ m}$
発電損失水頭	$h_G = H_0$ の3%
揚水損失水頭	$h_P = H_0$ の3%
発電使用水量	$Q_G = 60 \text{ m}^3/\text{s}$
揚水量	$Q_P = 50 \text{ m}^3/\text{s}$
発電運転時の効率	発電機効率 $\eta_G$ × 水車効率 $\eta_T = 87\%$
ポンプ運転時の効率	電動機効率 $\eta_M$ × ポンプ効率 $\eta_P = 85\%$
発電運転時間	$T_G = 8 \text{ h}$

## 発電出力

$$\begin{aligned}
 P_G &= 9.8 \times (H_0 - h_G) \times Q_G \times \eta_G \\
 &= 9.8 \times (400 - 0.03 \times 400) \times 60 \times 0.87 \\
 &= 198500 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

## 揚水入力

$$\begin{aligned}
 P_P &= 9.8 \times (H_0 + h_P) \times Q_P \times \frac{1}{\eta_P} \\
 &= 9.8 \times (400 + 0.03 \times 400) \times 50 \times \frac{1}{0.85} \\
 &= 237500 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

# 導出のポイント

問1 下記の諸元の揚水発電所を, 運転中の総落差が変わらず, 発電出力, 揚水入力とも一定で運転するものと仮定する。この揚水発電所における発電出力の値 [kW], 揚水入力の値 [kW], 揚水所要時間の値 [h] 及び揚水総合効率の値 [%] として, 最も近い値の組合せを次の(1)~(5)のうちから一つ選べ。

揚水発電所の諸元

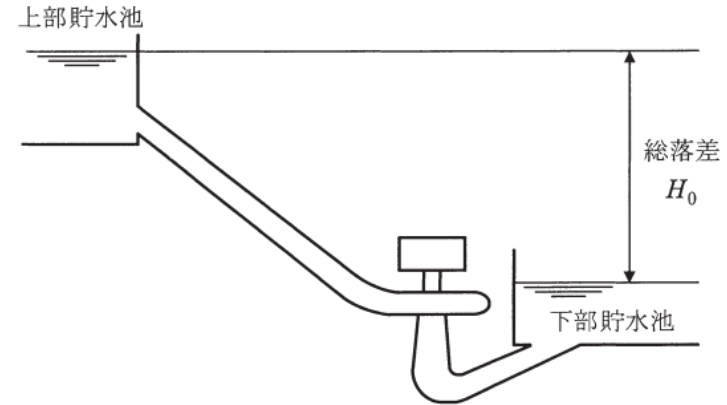
総落差	$H_0 = 400 \text{ m}$
発電損失水頭	$h_G = H_0$ の3%
揚水損失水頭	$h_P = H_0$ の3%
発電使用水量	$Q_G = 60 \text{ m}^3/\text{s}$
揚水量	$Q_P = 50 \text{ m}^3/\text{s}$
発電運転時の効率	発電機効率 $\eta_G$ × 水車効率 $\eta_T = 87\%$
ポンプ運転時の効率	電動機効率 $\eta_M$ × ポンプ効率 $\eta_P = 85\%$
発電運転時間	$T_G = 8 \text{ h}$

**発電出力**

$$P_G = 198500 \text{ kW}$$

**揚水入力**

$$P_P = 237500 \text{ kW}$$



**揚水所要時間**

(発電中の水の総量) = (揚水する水の総量)

$$Q_G \times T_G \times 60 \times 60 = Q_P \times T_P \times 60 \times 60$$

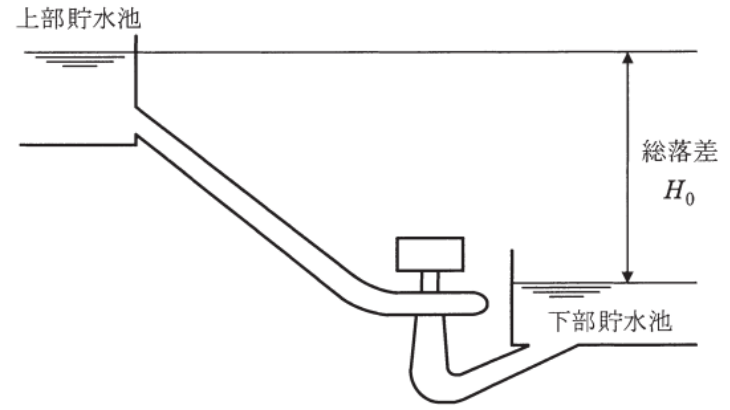
$$T_P = \frac{Q_G \times T_G}{Q_P} = \frac{60 \times 8}{50} = 9.6 \text{ h}$$

**揚水総合効率**

$$\eta = \frac{P_G T_G}{P_P T_P} \times 100 = \frac{198500 \times 8}{237500 \times 9.6} \times 100 = 69.6\%$$

# H28 問1

問1 下記の諸元の揚水発電所を, 運転中の総落差が変わらず, 発電出力, 揚水入力とも一定で運転するものと仮定する。この揚水発電所における発電出力の値 [kW], 揚水入力の値 [kW], 揚水所要時間の値 [h] 及び揚水総合効率の値 [%] として, 最も近い値の組合せを次の(1)~(5)のうちから一つ選べ。



揚水発電所の諸元

- 総落差  $H_0 = 400 \text{ m}$
- 発電損失水頭  $h_G = H_0$  の 3 %
- 揚水損失水頭  $h_P = H_0$  の 3 %
- 発電使用水量  $Q_G = 60 \text{ m}^3/\text{s}$
- 揚水量  $Q_P = 50 \text{ m}^3/\text{s}$
- 発電運転時の効率 発電機効率  $\eta_G$  × 水車効率  $\eta_T = 87 \%$
- ポンプ運転時の効率 電動機効率  $\eta_M$  × ポンプ効率  $\eta_P = 85 \%$
- 発電運転時間  $T_G = 8 \text{ h}$

	発電出力 [kW]	揚水入力 [kW]	揚水所要時間 [h]	揚水総合効率 [%]
(1)	204 600	230 600	9.6	74.0
(2)	204 600	230 600	10.0	71.0
(3)	198 500	237 500	9.6	71.0
(4)	198 500	237 500	10.0	69.6
(5)	198 500	237 500	9.6	69.6

# RO1 問1

問1 我が国の水力発電所(又は揚水発電所)に用いられる水車(又はポンプ水車)及び発電機(又は発電電動機)に関する記述として、誤っているものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) ガイドベーン(案内羽根)は、その開度によってランナに流入する水の流量を変え、水車の出力を調整することができる水車部品である。
- (2) 同一出力のフランシス水車を比較すると、一般に落差が高い地点に適用する水車の方が低い地点に適用するものより比速度が小さく、ランナの形状が扁平になる。
- (3) 揚水発電所には、別置式、タンデム式、ポンプ水車式がある。発電機と電動機を共用し、同一軸に水車とポンプをそれぞれ直結した方式がポンプ水車式であり、水車の性能、ポンプの性能をそれぞれ最適に設計できるため、国内で建設される揚水発電所はほとんどこの方式である。
- (4) 水車発電機には突極形で回転界磁形の三相同期発電機が主に用いられている。落差を有効に利用するために、水車を発電機の下方に直結した立軸形にすることも多い。
- (5) 调速機は水車の回転速度を一定に保持する機能を有する装置である。また、自動電圧調整器は出力電圧の大きさを一定に保持する機能を有する装置である。

# 導出のポイント

問1 我が国の水力発電所(又は揚水発電所)に用いられる水車(又はポンプ水車)及び発電機(又は発電電動機)に関する記述として、誤っているものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

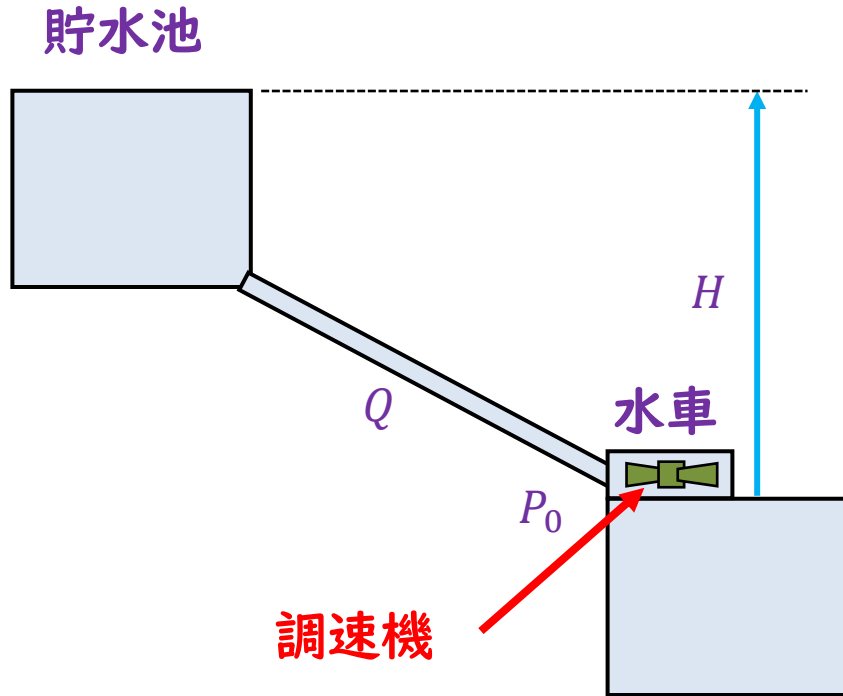
- (1) ガイドベーン(案内羽根)は、その開度によってランナに流入する水の流量を変え、水車の出力を調整することができる水車部品である。
- (2) 同一出力のフランシス水車を比較すると、一般に落差が高い地点に適用する水車の方が低い地点に適用するものより比速度が小さく、ランナの形状が扁平になる。
- (3)** 揚水発電所には、別置式、タンデム式、ポンプ水車式がある。発電機と電動機を共用し、同一軸に水車とポンプをそれぞれ直結した方式がポンプ水車式であり、水車の性能、ポンプの性能をそれぞれ最適に設計できるため、国内で建設される揚水発電所はほとんどこの方式である。
- (4) 水車発電機には突極形で回転界磁形の三相同期発電機が主に用いられている。落差を有効に利用するために、水車を発電機の下方に直結した立軸形にすることも多い。
- (5) 调速機は水車の回転速度を一定に保持する機能を有する装置である。また、自動電圧調整器は出力電圧の大きさを一定に保持する機能を有する装置である。

**ポンプ水車式は発電電動機とポンプと水車を兼用できるポンプ水車を利用したもの**

# 调速機

水車の回転数が変わると→発電される電気の周波数が変化する  
同期機の同期速度

$$N_s = \frac{120f}{p} [\text{min}^{-1}]$$

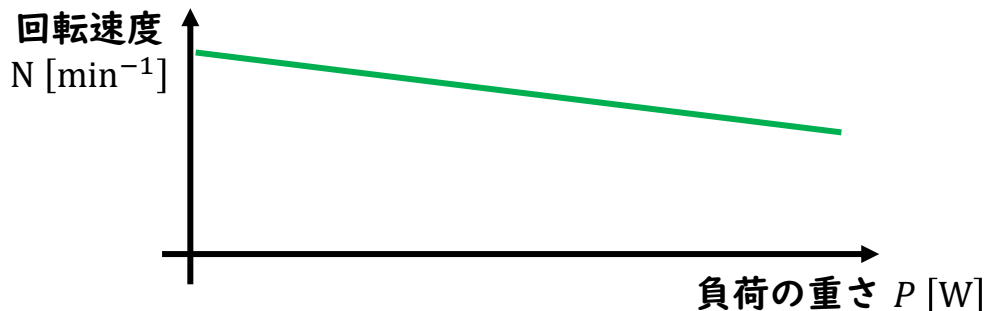


水車の回転数が変わる原因

- ・流量  $Q$  が変化する
- ・水車の負荷が変化する（電力の負荷が変化する）  
→ 負荷が重いと回転速度が下がる  
→ 負荷が軽いと回転速度が上がる

水車の速度を調整する機構→调速機

- ・フランシス水車：ガイドベーンの開閉
- ・ペルトン水車：ニードル弁の開閉



# H26 問1

問1 次の文章は、水車の調速機の機能と構造に関する記述である。

水車の調速機は、発電機を系統に並列するまでの間においては水車の回転速度を制御し、発電機が系統に並列した後は  を調整し、また、事故時には回転速度の異常な  を防止する装置である。調速機は回転速度などを検出し、規定値との偏差などから演算部で必要な制御信号を作って、パイロットバルブや配圧弁を介してサーボモータを動かし、ペルトン水車においては  ，フランシス水車においては  の開度を調整する。

上記の記述中の空白箇所(ア)，(イ)，(ウ)及び(エ)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)
(1)	出力	上昇	ニードル弁	ガイドベーン
(2)	電圧	上昇	ニードル弁	ランナベーン
(3)	出力	下降	デフレクタ	ガイドベーン
(4)	電圧	下降	デフレクタ	ランナベーン
(5)	出力	上昇	ニードル弁	ランナベーン



# 導出のポイント

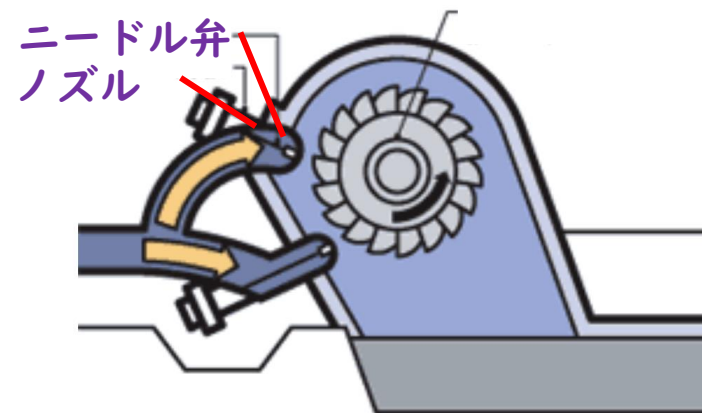
問1 次の文章は、水車の调速機の機能と構造に関する記述である。

水車の调速機は、発電機を系統に並列するまでの間においては水車の回転速度を制御し、発電機が系統に並列した後は **出力** (ア) を調整し、また、事故時には回転速度の異常な **上昇** (イ) を防止する装置である。调速機は回転速度などを検出し、規定値との偏差などから演算部で必要な制御信号を作って、パイロットバルブや配圧弁を介してサーボモータを動かし、ペルトン水車においては **ニードル弁** (ウ)、フランシス水車においては **ガイドベーン** (エ) の開度を調整する。

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)及び(エ)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。

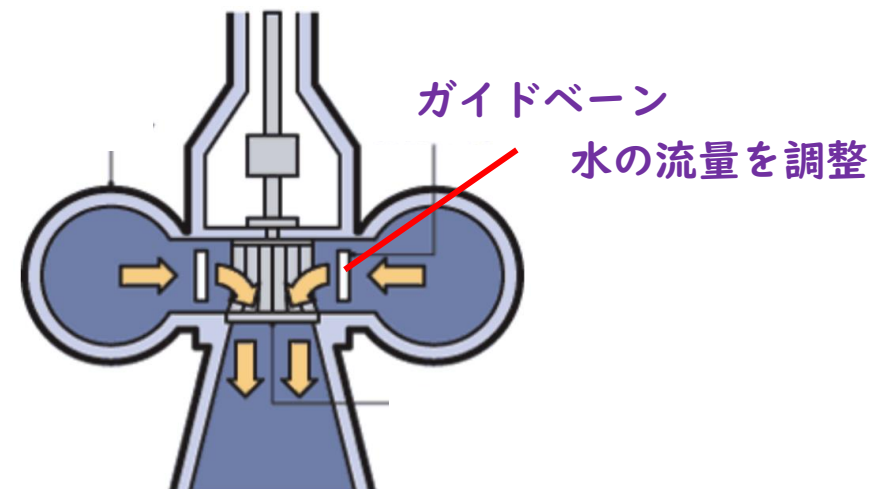
	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1)	出力	上昇	ニードル弁	ガイドベーン
(2)	電圧	上昇	ニードル弁	ランナベーン
(3)	出力	下降	デフレクタ	ガイドベーン
(4)	電圧	下降	デフレクタ	ランナベーン
(5)	出力	上昇	ニードル弁	ランナベーン

## ペルトン水車



ノズルの噴出口の開閉を行い、流量調整をする

## フランシス水車



# H27 問15

問15 定格出力 1000 MW, 速度調定率 5 %のタービン発電機と, 定格出力 300 MW, 速度調定率 3 %の水車発電機が周波数調整用に電力系統に接続されており, タービン発電機は 80 %出力, 水車発電機は 60 %出力をとって, 定格周波数 (60 Hz) にてガバナフリー運転を行っている。

系統の負荷が急変したため, タービン発電機と水車発電機は速度調定率に従って出力を変化させた。次の(a)及び(b)の間に答えよ。

ただし, このガバナフリー運転におけるガバナ特性は直線とし, 次式で表される速度調定率に従うものとする。また, この系統内で周波数調整を行っている発電機はこの2台のみとする。

$$\text{速度調定率} = \frac{\frac{n_2 - n_1}{P_1 - P_2}}{P_n} \times 100 \text{ [%]}$$

$P_1$ : 初期出力 [MW]

$n_1$ : 出力  $P_1$  における回転速度 [ $\text{min}^{-1}$ ]

$P_2$ : 変化後の出力 [MW]

$n_2$ : 変化後の出力  $P_2$  における回転速度 [ $\text{min}^{-1}$ ]

$P_n$ : 定格出力 [MW]

$n_n$ : 定格回転速度 [ $\text{min}^{-1}$ ]

(a) 出力を変化させ, 安定した後のタービン発電機の出力は 900 MW となった。このときの系統周波数の値 [Hz] として, 最も近いものを次の(1)~(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 59.5      (2) 59.7      (3) 60      (4) 60.3      (5) 60.5

(b) 出力を変化させ, 安定した後の水車発電機の出力の値 [MW] として, 最も近いものを次の(1)~(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 130      (2) 150      (3) 180      (4) 210      (5) 230

# 導出のポイント

問15 定格出力 1000 MW, 速度調定率 5 % のタービン発電機と, 定格出力 300 MW, 速度調定率 3 % の水車発電機が周波数調整用に電力系統に接続されており, タービン発電機は 80 % 出力, 水車発電機は 60 % 出力をとって, 定格周波数 (60 Hz) にてガバナフリー運転を行っている。

系統の負荷が急変したため, タービン発電機と水車発電機は速度調定率に従って出力を変化させた。次の(a)及び(b)の間に答えよ。

ただし, このガバナフリー運転におけるガバナ特性は直線とし, 次式で表される速度調定率に従うものとする。また, この系統内で周波数調整を行っている発電機はこの 2 台のみとする。

$$\text{速度調定率} = \frac{\frac{n_2 - n_1}{P_1 - P_2}}{\frac{n_n}{P_n}} \times 100 \text{ [%]}$$

$P_1$ : 初期出力 [MW]

$n_1$ : 出力  $P_1$  における回転速度 [ $\text{min}^{-1}$ ]

$P_2$ : 変化後の出力 [MW]

$n_2$ : 変化後の出力  $P_2$  における回転速度 [ $\text{min}^{-1}$ ]

$P_n$ : 定格出力 [MW]

$n_n$ : 定格回転速度 [ $\text{min}^{-1}$ ]

(a) 出力を変化させ, 安定した後のタービン発電機の出力は 900 MW となった。このときの系統周波数の値 [Hz] として, 最も近いものを次の(1)~(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 59.5      (2) 59.7      (3) 60      (4) 60.3      (5) 60.5

## タービン発電機の出力

$$P_1 = 1000 \times 0.8 = 800 \text{ MW} \rightarrow P_2 = 900 \text{ MW}$$

## 速度調停率

$$R = 0.05 = \frac{\frac{n_2 - n_1}{P_1 - P_2}}{\frac{n_n}{P_n}} = \frac{\frac{f_2 - f_1}{f_n}}{\frac{P_1 - P_2}{P_n}} = \frac{\frac{f_2 - 60}{60}}{\frac{800 - 900}{1000}}$$

$$\frac{f_2 - 60}{60} = 0.05 \times \frac{800 - 900}{1000} = -0.005$$

$$f_2 = 60 - 0.005 \times 60 = 59.7 \text{ Hz}$$

# 導出のポイント

問15 定格出力 1000 MW, 速度調定率 5 % のタービン発電機と, 定格出力 300 MW, 速度調定率 3 % の水車発電機が周波数調整用に電力系統に接続されており, タービン発電機は 80 % 出力, 水車発電機は 60 % 出力をとって, 定格周波数 (60 Hz) にてガバナフリー運転を行っている。

系統の負荷が急変したため, タービン発電機と水車発電機は速度調定率に従って出力を変化させた。次の(a)及び(b)の間に答えよ。

ただし, このガバナフリー運転におけるガバナ特性は直線とし, 次式で表される速度調定率に従うものとする。また, この系統内で周波数調整を行っている発電機はこの 2 台のみとする。

$$\text{速度調定率} = \frac{\frac{n_2 - n_1}{P_1 - P_2}}{P_n} \times 100 \text{ [%]}$$

$P_1$ : 初期出力 [MW]

$n_1$ : 出力  $P_1$  における回転速度 [ $\text{min}^{-1}$ ]

$P_2$ : 変化後の出力 [MW]

$n_2$ : 変化後の出力  $P_2$  における回転速度 [ $\text{min}^{-1}$ ]

$P_n$ : 定格出力 [MW]

$n_n$ : 定格回転速度 [ $\text{min}^{-1}$ ]

(b) 出力を変化させ, 安定した後の水車発電機の出力の値 [MW] として, 最も近いものを次の(1)~(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 130      (2) 150      (3) 180      (4) 210      (5) 230

## 水車発電機の出力

$$P'_1 = 300 \times 0.6 = 180 \text{ MW} \rightarrow P'_2$$

## 速度調停率

$$R' = 0.03 = \frac{\frac{n_2 - n_1}{n_n}}{\frac{P'_1 - P'_2}{P'_n}} = \frac{\frac{f_2 - f_1}{f_n}}{\frac{P'_1 - P'_2}{P'_n}} = \frac{59.7 - 60}{60} \frac{P'_n}{180 - P'_2}$$

$$\frac{180 - P'_2}{300} = \frac{1}{0.03} \times \frac{59.7 - 60}{60} = -0.167$$

$$P'_2 = 180 + 0.167 \times 300 = 230 \text{ MW}$$

# H27 問15

問15 定格出力 1000 MW, 速度調定率 5 %のタービン発電機と, 定格出力 300 MW, 速度調定率 3 %の水車発電機が周波数調整用に電力系統に接続されており, タービン発電機は 80 %出力, 水車発電機は 60 %出力をとって, 定格周波数 (60 Hz) にてガバナフリー運転を行っている。

系統の負荷が急変したため, タービン発電機と水車発電機は速度調定率に従って出力を変化させた。次の(a)及び(b)の間に答えよ。

ただし, このガバナフリー運転におけるガバナ特性は直線とし, 次式で表される速度調定率に従うものとする。また, この系統内で周波数調整を行っている発電機はこの2台のみとする。

$$\text{速度調定率} = \frac{\frac{n_2 - n_1}{n_n}}{\frac{P_1 - P_2}{P_n}} \times 100 \text{ [%]}$$

$P_1$ : 初期出力 [MW]

$n_1$ : 出力  $P_1$  における回転速度 [ $\text{min}^{-1}$ ]

$P_2$ : 変化後の出力 [MW]

$n_2$ : 変化後の出力  $P_2$  における回転速度 [ $\text{min}^{-1}$ ]

$P_n$ : 定格出力 [MW]

$n_n$ : 定格回転速度 [ $\text{min}^{-1}$ ]

(a) 出力を変化させ, 安定した後のタービン発電機の出力は 900 MW となった。このときの系統周波数の値 [Hz] として, 最も近いものを次の(1)~(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 59.5    (2) 59.7    (3) 60    (4) 60.3    (5) 60.5

(b) 出力を変化させ, 安定した後の水車発電機の出力の値 [MW] として, 最も近いものを次の(1)~(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 130    (2) 150    (3) 180    (4) 210    (5) 230

ご聴講ありがとうございました  
ございました!!