

電験三種講座
電力 体験教材 ver.1.0

第 **1** 分冊

教科書編

CHAPTER

01

水力発電

01 発電と水力発電の基本	8
02 ベルヌーイの定理	15
03 水力発電所の出力と揚水発電所	21
04 水車の種類と调速機	27

CHAPTER

02

火力発電

01 火力発電の基本	43
02 汽力発電の設備と熱サイクル	54
03 汽力発電の電力と効率の計算	76
04 燃料と燃焼	89
05 ガスタービン発電とコンバインドサイクル発電	98

CHAPTER

03

原子力発電

01 原子力発電	110
----------	-----

CHAPTER

04

その他の発電

01 その他の発電	132
-----------	-----

CHAPTER

05

変電所

01 変電所	149
--------	-----

CHAPTER

06

送電

01 複線図と単線図	179
02 架空送電線路	183
03 充電電流	202
04 線路定数	206
05 送電線のさまざまな障害	213
06 中性点接地	244
07 直流送電	254

CHAPTER

07

配電

01 架空配電線路	264
02 電気方式	271
03 配電の構成と保護	280

CHAPTER

08

地中電線路

01 地中電線路	292
02 ケーブルの諸量の計算	304

CHAPTER

09

電気材料

01 電気材料	321
---------------	-----

CHAPTER

10

電力計算

01 パーセントインピーダンス	336
02 変圧器の負荷分担	352
03 三相短絡電流	354
04 電力と電力損失	360
05 線路の電圧降下	368
06 充電電流・充電容量・誘電損	376

CHAPTER

11

線路計算

01 配電線路の計算 387

CHAPTER

12

電線のたるみと支線

01 電線のたるみと支線 407

索引 416



CHAPTER

01

水力発電

水力発電

私たちが普段利用している電気は、発電所でつくられています。水力発電は、水を高いところから落として水車に当てて回転させ、発電するイメージです。その詳しいしくみについて学びます。

このCHAPTERで学習すること

SECTION 01 発電と水力発電の基本

水力発電所の種類

- 1 水路式発電所
- 2 ギム式発電所
- 3 ギム水路式発電所

発電方法の違いや、水力発電の分類と設備について学びます。

SECTION 02 ベルヌーイの定理

$$h + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = \text{一定}$$

位置水頭
圧力水頭
速度水頭

→つまり、2ヶ所における以下の式は等しい

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$$

水力学の基本と、水力発電で重要なベルヌーイの定理について学びます。

SECTION 03 水力発電所の出力と揚水発電所

理論水力 $P_0 = 9.8QH$ [kW]

水車出力 $P_w = 9.8QH\eta_w = P_0\eta_w$ [kW]

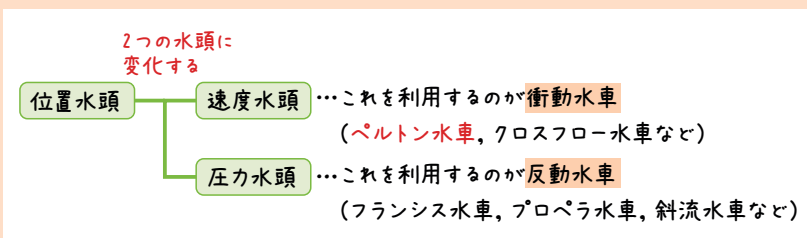
発電機出力 $P_g = 9.8QH\eta_w\eta_g = P_0\eta_w\eta_g$ [kW]

年間発電電力量 $W = P_g \times \text{利用率} \times 8760$ [kW・h]

1年間の時間
(24h × 365日)

水力発電所で出力されるエネルギーと、揚水発電所のしくみについて学びます。

SECTION 04 水車の種類と調速機



水車の種類と、水車の回転速度を調整する調速機について学びます。

傾向と対策

出題数

1～3問 / 20問中

・ 計算問題中心

	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	R1
水力発電	1	1	2	1	3	3	2	3	3	2

ポイント

試験は計算問題が中心ですが、水車の構造や動作に関する知識を問う問題も出題されるため、水車の各部分の名称や役割を理解することが大切です。複雑な計算問題も出題されるため、過去問を繰り返し解き、公式の意味を理解しましょう。エネルギーに関する説明や公式は、CH02以降で学ぶほかの発電方式にも関連するため、理解を深めましょう。



発電と水力発電の基本

このSECTIONで学習すること

1 発電の基本

水力，火力(汽力)，原子力など発電方式の違いについて学びます。

2 水力発電の設備

水力発電の分類と設備について学びます。

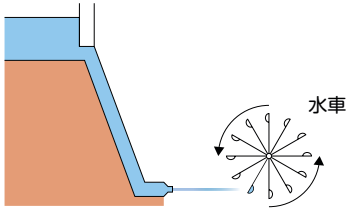
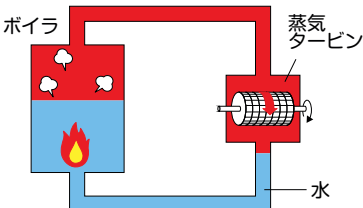
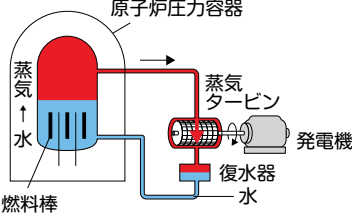


1 発電の基本

重要度 ★★★

日本国内で用いられている発電方式には、以下の方式があります。基本的に、水や蒸気を使って、水車（水で回る原動機）や蒸気タービン（蒸気で回る原動機）を回転させて、その動力を発電機に伝達することによって電力を発生させます。

板書 おもな発電方式

発電方式	原理	モデル図
① 水力発電	水が高いところから低いところへ落下するときのエネルギーで、水車を回転させて発電する。	
② 火力発電 (火力発電)	燃焼による熱エネルギーによって、水を蒸気に変え、蒸気タービンを回転させて発電する。	
③ 原子力 発電	核反応による熱エネルギーを利用して、水を蒸気に変え、蒸気タービンを回転させて発電する。	



ひとこと

なぜ水車やタービンが回転すると発電できるのか、原理がわからない場合は、**理論**の電磁誘導や**機械**の発電機に関する単元を確認しましょう。



ひとこと

火力発電には、**①**汽力発電きりきょくはつでん（蒸気せいきのエネルギーを利用した発電）、**②**内燃力発電ないちんりきょくはつでん（燃焼の爆発力を利用した発電）、**③**ガスタービン発電（蒸気せいきでなく圧縮空気や燃焼ガスのエネルギーを利用した発電）があり、これらを区別するために汽力発電という言葉が使われることがあります。

2 水力発電の設備

重要度 ★★★

I 水力発電の分類

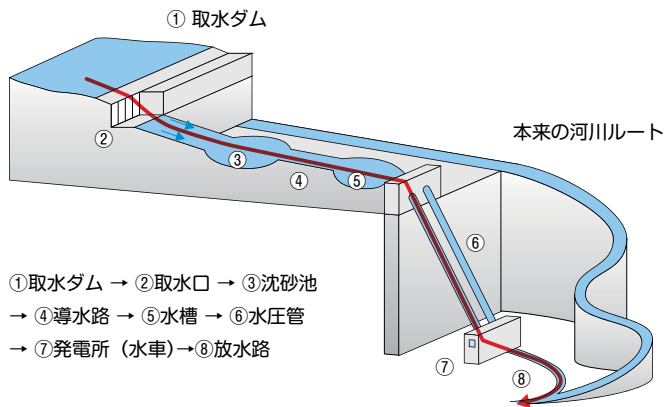
水力発電は、落差のつくり方で以下のように分類できます。

板書 水力発電所の分類

水力発電所の種類	説明
1 水路式発電	自然河川のこう配から、落差を得る方式
2 ダム式発電	ダムを築いて、落差を得る方式
3 ダム水路式発電	1 と 2 の両方で、落差を得る方式

1 水路式発電

水路式発電は、河川の上流に取水ダムしゆすい（水を取り入れるためのダム）を設けて水を取り入れ、河川のこう配による落差を利用して発電する方式をいいます。



- ①取水ダム → ②取水口 → ③沈砂池
→ ④導水路 → ⑤水槽 → ⑥水圧管
→ ⑦発電所（水車）→ ⑧放水路

取水ダムとは、河川の水をせき止めて取水するダムをいいます。**取水口**とは河川の水を取り入れて水路に導くための入口をいい、取水口から水槽までの水の通り路を**導水路**といいます。**水槽**は流量の調整をする働きをし、**水圧管**は水槽から水車（発電所）までの水路をいいます。

ひとこと

河川は一般的に緩やかに下っています。長い距離をたどって、下流に行くほど、上流との高低差が生じます。上流で川の水を取り、河川とは別のルートで一気に下流へ落とせば、短い水平距離に対して大きな落差を得ることができます。

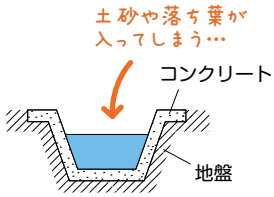


水を高いところから落とすエネルギーで水車を勢いよく回すことができます。これを利用した方式が**水路式発電**です。

水路の種類には、①開きよ、②無圧トンネル、③圧力トンネルがあります。

板書 水路の種類

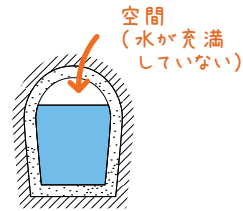
開きょ



流速は...

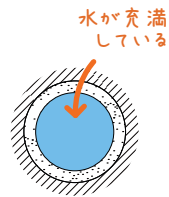
こう配で決まる

無圧トンネル



こう配で決まる

圧カトンネル

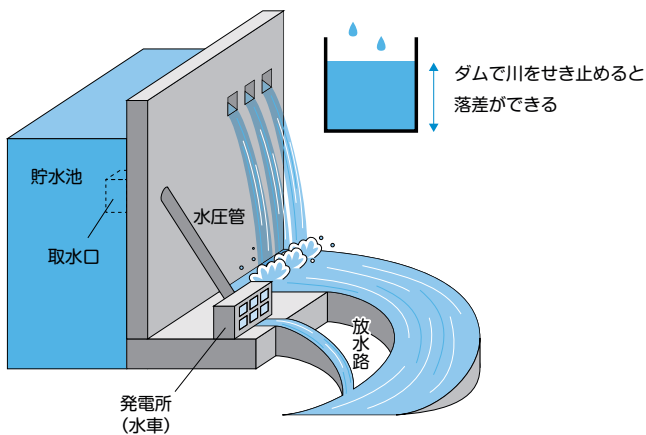


圧力差で決まる
(こう配は関係ない)

- トンネルは山(土)のなかを突き進むので、迂回しなくていい
- トンネルの場合、土砂や落ち葉などが混入しない
- 無圧トンネルは水が充滿していない。圧カトンネルは水が充滿している
- 圧カトンネルでの流速は、水压差によって決まる

2 ダム式発電

ダム式発電^{しきはつでん}とは、ダムにより川をせき止めることで生じる落差を利用して発電する方法をいいます。

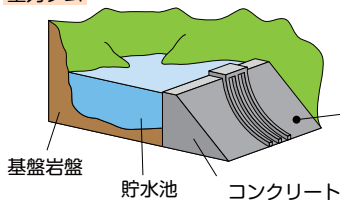


ひとこと

ダムの種類

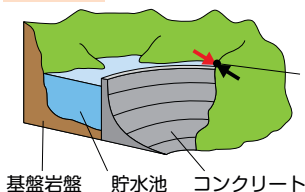
ダムには、次のような種類があります。ただし、細かな知識であるダムの種類はあまり出題されません。

重力ダム



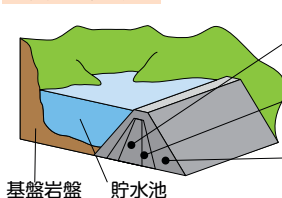
- ・一番よく使われる
- ・構造が簡単で安定性がよい
- ・ダムの重さで水圧に耐える

アーチダム



- ・薄いのでコンクリートの量を節約できる
- ・両岸の岩盤で水圧に耐える（岩盤が丈夫でないとダメ）

ロックフィルダム



- ・非常に大きいダムになる
- ・水を透さない粘土質の土（コア）
- ・砂利でコアの両側を保護（フィルタ）
- ・岩石でコアとフィルタを支える（ロック）



出典：四国電力

問題集 問題01

II ヘッドタンクとサージタンク

1 ヘッドタンクとサージタンク

水槽には、無圧式の水路と水圧管の間に接続された**ヘッドタンク**（じょうすいそう上水槽）と、圧力トンネルと水圧管の間に接続された**サージタンク**（ちようあつすいそう調圧水槽）があります。



ひとこと

試験では、サージタンクのほうが重要です。

2 水撃作用とサージタンク

水の速さが急激に変化すると、水圧管内の圧力が急激に上昇したり低下したりします。特に、水圧が急激に上昇する場合は、水圧管が破損することがあります。これを水撃作用すいげきぎょう（ウォーターハンマー）といいます。

ひとこと

水撃作用（ウォーターハンマー）とは？

たとえば、先頭の水が急に止まると、車の玉突き事故のような現象が起こります。その結果、あちこちに水がぶつかり、水圧管を破裂させることもあります。水道の蛇口を急にしめたときに「ドン！」と音がするのは水撃作用（ウォーターハンマー）によるものです。



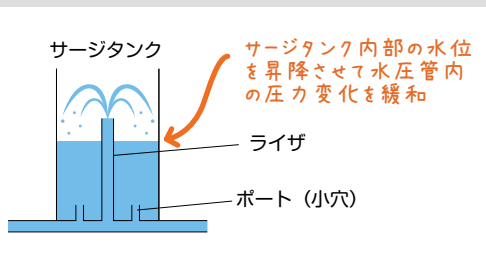
サージタンクは、流量が急変した場合に起こる圧力の変動（水撃作用）による、圧力トンネルおよび水圧管内の水圧の変化を軽減し、水圧管を保護する役目を果たします。

ひとこと

サージタンク（差動形）のしくみは右のとおりです。

試験ではサージタンクの名前と役割が重要です。

surgeおおなみは大波、うねりという意味があります。



SECTION

02

ベルヌーイの定理

このSECTIONで学習すること

1 水力学の基礎

水力発電のしくみを押さえるために、すいりきがく水力学の基本的な内容や位置エネルギー、運動エネルギー、圧力エネルギーを学びます。

2 ベルヌーイの定理

水力発電で重要なベルヌーイの定理について学びます。

$$\text{位置水頭} + \text{圧力水頭} + \text{速度水頭} = \text{一定}$$

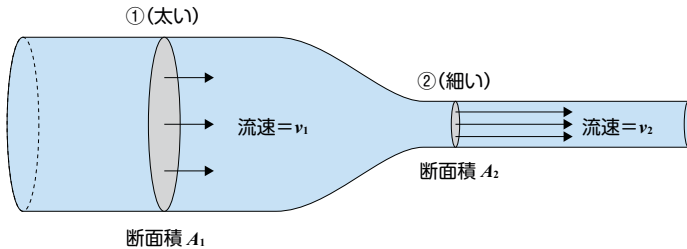

1 水力学の基礎

重要度 ★★★

I 連続の定理

単位時間に任意の断面を通過する水の量を^{りゅうりょう}流量といいます。流量は、断面積 A [m²] × 水の速度 v [m/s] で求めることができます。

水の体積は圧力をかけてもほとんど縮小しないので、下図の断面積 A_1 [m²] に流入する流量 Q_1 [m³/s] と断面積 A_2 [m²] から流出する流量 Q_2 [m³/s] は等しくなります。これを^{れんぞくていり}連続の定理といいます。



通過する水の量は点①でも点②でも同じはずだから、
流量 $Q_1 = A_1 \times v_1$ は等しい ($Q_1 = Q_2$)
流量 $Q_2 = A_2 \times v_2$

II 3つのエネルギーとベルヌーイの定理

水管を流れる水は、**1**位置エネルギー、**2**圧力エネルギー、**3**運動エネルギーを持っています (単位は[J])。この3つのエネルギーの合計は、損失を無視すれば、どの位置で考えても変わりません (エネルギー保存則)。

これを^{ベルヌーイの定理}ベルヌーイの定理といいます。

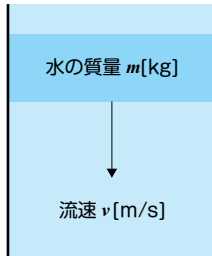
1 位置エネルギー

位置エネルギーは、水の質量を m [kg]、水がある位置の高さを h [m]、重力加速度を $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ とすると、次のように表すことができます。

3 運動エネルギー

運動エネルギーは、水の質量を m [kg]、流速を v [m/s] とすると、次のように表すことができます。

板書 運動エネルギー



$$\text{運動エネルギー} = \frac{1}{2}mv^2 \text{ [J]}$$

ひとこと

物理の復習 (水圧の公式と圧力エネルギーの公式)

①物体の質量 m [kg] = 密度 ρ [kg/m³] × 体積 V [m³] だから、体積 V [m³] を底面積 A [m²] × 高さ h [m] とすると、水柱の質量 m は、

$$m = \rho V = \rho Ah \text{ [kg]} \cdots \text{①}$$

②運動方程式 力 F [N] = 質量 m [kg] × 加速度 a [m/s²] より、 a には、重力による加速度 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ が入るから、水柱が底面に及ぼす力 F [N] は、

$$F = ma = mg = \rho Ahg \text{ [N]} \cdots \text{②}$$

③圧力 p [Pa] は、単位面積あたりの力であり、 $p = \frac{F}{A}$ [Pa] で求められるから、水柱による力 F [N] を底面積 A [m²] で割って、水柱による水圧 p [Pa] を求めると、

$$p = \frac{F}{A} = \frac{\rho Ahg}{A} = \rho hg \text{ [Pa]} \text{ (水圧の公式)} \cdots \text{③}$$

となります。これを整理すると、

$$h = \frac{p}{\rho g} \text{ [m]}$$

④圧力エネルギーを位置エネルギーと同様に考えて、エネルギー U [J] = 質量 m [kg] × 重力加速度 g [m/s²] × 高さ h [m] より、

$$U = mg \frac{p}{\rho g} = m \frac{p}{\rho} \text{ [J]} \text{ (圧力エネルギーの公式)} \cdots \text{④}$$



3つのエネルギーを高さに置き換えるために mg (質量×重力加速度) で割り算をして、単位を [J] から [m] に直したものを ①位置水頭、②圧力水頭、③速度水頭とといいます。

板書 位置水頭・圧力水頭・速度水頭

3つのエネルギーを mg で割って、水柱の高さに直したものが水頭

- ① 位置エネルギー mgh [J] $\xrightarrow{\div mg}$ 位置水頭 h [m]
- ② 圧力エネルギー $m \frac{p}{\rho}$ [J] $\xrightarrow{\div mg}$ 圧力水頭 $\frac{p}{\rho g}$ [m]
- ③ 運動エネルギー $\frac{1}{2} mv^2$ [J] $\xrightarrow{\div mg}$ 速度水頭 $\frac{v^2}{2g}$ [m]

位置水頭は、基準面からの水柱の高さをいいます。より高い位置にある水は、より高い位置エネルギーを持っています。位置水頭が変化しても、圧力水頭と速度水頭が変化して、全体のエネルギーは変化しません。

問題集 問題02

2 ベルヌーイの定理

重要度 ★★☆☆

流体とは力を加えると形が変化するような、気体や液体のことです。完全流体とは非粘性かつ非圧縮性の流体をいいます。

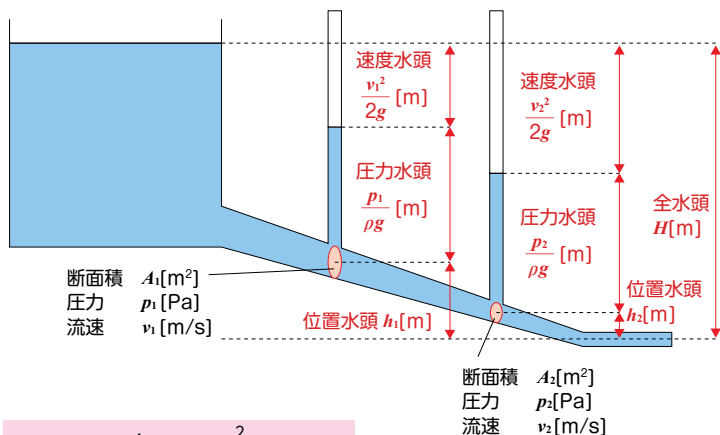
ひとこと



粘性とは、流体における摩擦のようなものです。コップの水をくるくると回すと、水の渦はいつか止まりますが、これは粘性(粘り気)によるものです。非圧縮性の流体とは、圧力をかけても縮小しない流体をいいます。

流線に沿って完全流体の水頭を考えたとき、①位置水頭、②圧力水頭、③速度水頭の総和はエネルギー保存則によって一定です。これをベルヌーイの定理といいます。

公式 ベルヌーイの定理



$$h + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = \text{一定}$$

位置水頭 圧力水頭 速度水頭

→つまり、2ヶ所における以下の式は等しい

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$$

位置水頭: h [m]
 重力加速度: g [m/s²]
 水の密度: ρ [kg/m³]
 水圧: p [Pa]
 流速: v [m/s]

ひとつ

高校の物理で習うエネルギー保存則は

$$mgh + \frac{1}{2}mv^2 = \text{一定}$$

(ただし、質量: m [kg], 重力加速度: g [m/s²], 高さ: h [m], 流速: v [m/s])

という式で表されますが、流体の場合は以下になります。

$$mgh + m \frac{p}{\rho} + \frac{1}{2}mv^2 = \text{一定}$$

(ただし、質量: m [kg], 重力加速度: g [m/s²], 高さ: h [m], 流速: v [m/s],

流体の圧力: p [Pa], 流体密度: ρ [kg/m³])

この両辺を mg で割ると、ベルヌーイの定理になります。



1 電線路

重要度 ★★★

I 電線路の分類

電気を輸送する道である電線路^{でんせんろ}は、送電線路と配電線路の2つに分類されます。

送電線路^{そうでんせんろ}とは、発電所から変電所まで、変電所から変電所までの電線路のことをいいます。配電線路^{はいでんせんろ}とは、変電所から需要家までの電線路のことをいいます。

発電所^{はつでんしょ}とは、電気を発生させる場所です。変電所^{へんでんしょ}とは、発電所や変電所から送られた電気の電圧や周波数を変え、需要家や他の変電所へ送り出す場所です。需要家^{じゅようか}とは、電気を消費する人、会社、設備などのことです。

板書 電線路まとめ

送電線路	配電線路
発電所～変電所 変電所～変電所	変電所～需要家

- **発電所** …電気を発生させる場所
- **変電所** …発電所などから送られた電気の電圧などを変えて送り出す場所
- **需要家** …電気を使う人、会社、設備など

→送り先が需要家である電線路は配電線路、それ以外は送電線路と覚えてよいです。

ひとこと

電気を効率よく送るためには、高い電圧で送電するのが効果的です。
そのため、発電所でつくられた電気は、まず500 kVや275 kVといった超高圧に昇圧されます。

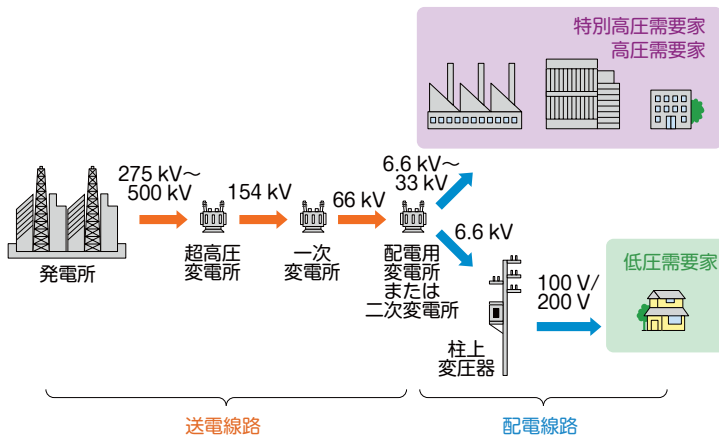
しかし、超高圧の電気を需要家でそのまま使うことはできません。

そのため、需要家に近づくに従い、いくつかの変電所で段階的に降圧することで、200 V、100 Vといった普段私たちが使用している電圧の電気を需要家に供給します。



II 電線路の例

発電所から需要家までの送配電線路の例を示すと以下のようになります。



第 2 分冊

問題集編

問題58 太陽光発電は、を用いて、光のもつエネルギーを電気に変換している。エネルギー変換時には、のようにを出さない。

すなわち、による発電では、数千万年から数億年間の太陽エネルギーの照射や、地殻における変化等で優れた燃焼特性になった燃料を電気エネルギーに変換しているが、太陽光発電では変換効率は低いものの、光を電気エネルギーへ瞬時に変換しており長年にわたるの積み重ねにより生じた資源を消費しない。そのため環境への影響は小さい。

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、最も適切なものを次の(1)~(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1)	半導体	化石燃料	排気ガス	環境変化
(2)	半導体	原子燃料	放射線	大気の大気
(3)	半導体	化石燃料	放射線	大気の大気
(4)	タービン	化石燃料	廃熱	大気の大気
(5)	タービン	原子燃料	排気ガス	環境変化

H23-A5

	①	②	③	④	⑤
学習日					
理解度 (○/△/×)					

解説

太陽光発電は、(ア)半導体 (pn接合半導体) を用いて、光のもつエネルギーを電気に変換している。エネルギー変換時には、(イ)化石燃料 (石炭や重油) のように(ウ)排気ガスを出さない。

すなわち、(イ)化石燃料による発電では、数千万年から数億年間の太陽エネルギーの照射や、地殻における変化等で優れた燃焼特性になった燃料を電気エネルギーに変換しているが、太陽光発電では変換効率は低いものの、光を電気エネルギーへ瞬時に変換しており長年にわたる(エ)環境変化の積み重ねにより生じた資源を消費しない。そのため環境への影響は小さい。

よって、(1)が正解。

解答… (1)

問題65 バイオマス発電は、植物等の〔ア〕性資源を用いた発電と定義することができる。森林樹木、サトウキビ等はバイオマス発電用のエネルギー作物として使用でき、その作物に吸収される〔イ〕量と発電時の〔イ〕発生量を同じとすることができれば、環境に負担をかけないエネルギー源となる。ただ、現在のバイオマス発電では、発電事業として成立させるためのエネルギー作物等の〔ウ〕確保の問題や〔エ〕をエネルギーとして消費することによる作物価格への影響が課題となりつつある。

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)	無機	二酸化炭素	量的	食料
(2)	無機	窒素化合物	量的	肥料
(3)	有機	窒素化合物	質的	肥料
(4)	有機	二酸化炭素	質的	肥料
(5)	有機	二酸化炭素	量的	食料

H21-A5

	①	②	③	④	⑤
学習日					
理解度 (○/△/×)					

解説

バイオマス発電は、植物等の(ア)有機性資源を用いた発電と定義することができる。森林樹木、サトウキビ等はバイオマス発電用のエネルギー作物として使用でき、その作物に吸収される(イ)二酸化炭素量と発電時の(イ)二酸化炭素発生量を同じとすることができれば、環境に負担をかけないエネルギー源となる。ただ、現在のバイオマス発電では、発電事業として成立させるためのエネルギー作物等の(ウ)量的確保の問題や(エ)食料をエネルギーとして消費することによる作物価格への影響が課題となりつつある。

よって、(5)が正解。

解答… (5)