

エネルギー
管理士
電気分野
テキスト①

目次

第1章 エネルギー総合管理および法規 [課目I]

1. エネルギー情勢・政策・概論	6
1 組立単位から基本単位への変換	7
2 エネルギー情勢とエネルギー政策	11
3 地球環境問題	14
4 電力負荷平準化	18
5 エネルギー源の種類	20
6 冷凍機、ヒートポンプの基本原理と成績係数	36
7 電気エネルギーの貯蔵	40
2. エネルギー管理技術の基礎	44
1 エネルギー使用の合理化の基準と目標	45
2 判断基準	49
3 エネルギー管理の基礎計算	68
3. 法規	86
1 省エネ法の概要	87
2 省エネ法の基本方針	90
3 事業者の判断基準	92
4 特定事業者	97
5 中長期計画と報告と行政指示	106
6 省エネに係る事業連携	111
7 特定エネルギー消費機器	115

エネルギー管理士試験で覚えておきたいSI接頭辞

p (ピコ) : $10^{-12} = 0.000000000001$

n (ナノ) : $10^{-9} = 0.000000001$

μ (マイクロ) : $10^{-6} = 0.000001$

m (ミリ) : $10^{-3} = 0.001$

$10^0 = 1$

k (キロ) : $10^3 = 1,000$

M (メガ) : $10^6 = 1,000,000$

G (ギガ) : $10^9 = 1,000,000,000$

T (テラ) : $10^{12} = 1,000,000,000,000$

P (ペタ) : $10^{15} = 1,000,000,000,000,000$

第1章

エネルギー総合管理 および法規

はじめに

エネルギー管理士試験では電気・熱の知識や計算だけでなく、エネルギーを取り巻く情勢、法律、管理の仕方も学ぶ必要があります。課目Iではエネルギーの使用の合理化等に関する法律および命令、エネルギー総合管理、エネルギー情勢・政策、エネルギー概論、エネルギー管理技術の基礎という項目で出題され、問題の多くは省エネ法から出題されます。また、基礎的な範囲を問われる問題が出題され、電気・熱の違いを問わない共通分野となっています。出題問題のレベルは高くありませんが、電気と熱の基礎的な部分はお互いの理解に役立つためしっかり学んでおきましょう。

1. エネルギー情勢・ 政策・概論

エネルギー情勢や政策、地球環境問題などは電気、熱を問わずこれからの社会で必要になってきます。日本だけでなく世界のエネルギー情勢にも目を向けつつ、環境保全への重要な取り組みなどを学習していきましょう。

この章の目次

1. 組立単位から基本単位への変換
2. エネルギー情勢とエネルギー政策
3. 地球環境問題
4. 電力負荷平準化
5. エネルギー源の種類
6. 冷凍機、ヒートポンプの基本原理と成績係数
7. 電気エネルギーの貯蔵

1

組立単位から
基本単位への変換

エネルギー管理士試験の中で**単位**は非常に重要です。単位から、何をすれば目的のものを導くことができるのかを判断することもできます。適切な単位の変換をすることで、この先の理解の手助けとなるでしょう。

1

基本単位

国際単位系 (SI) で定められている単位として、次の7つの単位を基本単位としています。

- 時間：秒 [s]
- 長さ：メートル [m]
- 質量：キログラム [kg]
- 電流：アンペア [A]
- 熱力学温度：ケルビン [K]
- 物質質量：モル [mol]
- 光度：カンデラ [cd]

これら基本単位は、**真空中の光の速度、プランク定数、アボガドロ定数**など厳密な数値によって**固定された数値として定義されています。**

また [K] (ケルビン) は絶対零度 (-273°C) を0とした基準からの温度差を表しています。

2

組立単位

これら基本単位によって構成されるものが組立単位であり、組立単位は次の表のようにそれぞれ名称を持つものがあります。

組立単位と固有名称

固有名称	組立単位
① 力：ニュートン [N]	[kg·m/s ²]
② 圧力：パスカル [Pa]	[N/m ²]
③ 仕事：ジュール [J]	[N·m]
④ 仕事率：ワット [W]	[J/s]
⑤ 電荷：クーロン [C]	[A·s]
⑥ 電圧・電位：ボルト [V]	[J/C]
⑦ 抵抗：オーム [Ω]	[V/A]
⑧ エンタルピー	[kJ/kg]
⑨ 熱伝導率	[W/(m·K)]
⑩ 照度：ルクス [lx]	[lm/m ²] (lm：ルーメン)

またこの他に、無次元の回転系を表す補助単位として

補助単位

平面角 : rad(ラジアン)
立体角 : sr(ステラジアン)

があります。

前ページの表で表された単位について一つずつ確認していきます。少し多いですが、単位の変換は重要です。

- ① 力：ニュートン [N] を表す力 ($F[\text{N}] = \text{質量}(m[\text{kg}]) \times \text{加速度}(a[\text{m/s}^2])$)
であるため単位 [N] ニュートンは基本単位で表すと $[\text{kg} \cdot \text{m/s}^2]$ となります。

① 力 [N] の基本単位表現

$$F[\text{N}] = m[\text{kg}] \times a[\text{m/s}^2] \rightarrow [\text{N}] = [\text{kg} \cdot \text{m/s}^2]$$

F : 力 [N] m : 質量 [kg] a : 加速度 $[\text{m/s}^2]$

② 圧力 [Pa] の組立単位表現

$$P[\text{Pa}] = \frac{F[\text{N}]}{S[\text{m}^2]} \rightarrow [\text{Pa}] = [\text{N/m}^2]$$

P : 圧力 [N] F : 力 [N] S : 面積 $[\text{m}^2]$

※標準大気圧は 10^5 [Pa] です。

③ 仕事量 [J] の組立単位表現

$$W[\text{J}] = F[\text{N}] \times d[\text{m}] \rightarrow [\text{J}] = [\text{N} \cdot \text{m}]$$

W : 仕事 [J] F : 力 [N] d : 距離 [m]

④ 仕事率 [W] の組立単位表現

$$P[\text{W}] = \frac{W[\text{J}]}{t[\text{s}]} \rightarrow [\text{W}] = [\text{J/s}]$$

P : 電力 [W] W : 仕事 [J] t : 時間 [s]

⑤ 電荷 [C] の基本単位表現

$$Q[\text{C}] = I[\text{A}] \times t[\text{s}] \rightarrow [\text{C}] = [\text{A} \cdot \text{s}]$$

Q : 電荷 [C] I : 電流 [A] t : 時間 [s]

⑥ 電圧の組立単位表現

$$E[\text{V}] = \frac{W[\text{J}]}{Q[\text{C}]} \rightarrow [\text{V}] = [\text{J}/\text{C}]$$

E : 電圧 [V] W : 仕事量 [J] Q : 電荷 [C]

⑥を単位も含めて計算すると、

$$E[\text{V}] = E[\text{V}] \cdot \frac{Q[\text{As}]}{Q[\text{As}]} = \frac{EQ[\text{Ws}]}{Q[\text{As}]} = \frac{EQ[\text{J}]}{Q[\text{C}]}$$

となります。

⑦ 抵抗の組立単位表現

$$R[\Omega] = \frac{E[\text{V}]}{I[\text{A}]} \rightarrow [\Omega] = \frac{[\text{V}]}{[\text{A}]}$$

R : 抵抗 [Ω] E : 電圧 [V] I : 電流 [A]

⑧ 比エンタルピーの組立単位表現

$$\text{比エンタルピー} = \frac{W[\text{kJ}]}{m[\text{kg}]} \rightarrow [\text{kJ}/\text{kg}]$$

W : 物体の持つエネルギー総量 [kJ] m : 質量 [kg]

※エネルギー管理士試験ではkJ/kgで使われることが多いです。

⑨ 熱伝導率の組立単位表現

$$\text{熱伝導率} = \frac{I[\text{W}]}{(d[\text{m}] \cdot T[\text{K}])} \rightarrow [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$$

I : 熱流 [W] d : 物質の厚さ [m] T : 温度差 [K]

⑩ 照度の組立単位表現

$$E[\text{lx}] = \frac{F[\text{lm}]}{S[\text{m}^2]} \left(= \frac{\omega[\text{sr}]I[\text{cd}]}{S[\text{m}^2]} \right) \rightarrow [\text{lx}] = [\text{lm}/\text{m}^2]$$

E : 照度 [lx] F : 光束 [lm] S : 被照射面積 [m²] ω : 立体角 [sr] I : 光度 [cd]

この辺りの単位の変換についてもよく出題されます。

例題

次の文章の空欄に入るべき最も適切な数値を答えよ。

圧力の単位は組立単位 [N/m²] が用いられ、基本単位を用いると として表される。標準単位気圧(1気圧)は約 [Pa] である。

解答

[1] パスカル [Pa] [2] kg/(m・s²) [3] 10⁵

解説

圧力の組立単位の固有名称は**パスカル [Pa]**です。パスカルを単位系のみで表すと、

$$[\text{Pa}] = [\text{N}/\text{m}^2]$$

となるため、

$$[\text{N}] = [\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2]$$

を用いて、

$$[\text{Pa}] = [\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}^2]$$

となります。

標準大気圧は約10⁵ [Pa]です。圧力は身近な単位ですが、イメージしにくい単位です。基準を1つ覚えておくことで、イメージがしやすくなります。

memo

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2

エネルギー情勢と
エネルギー政策

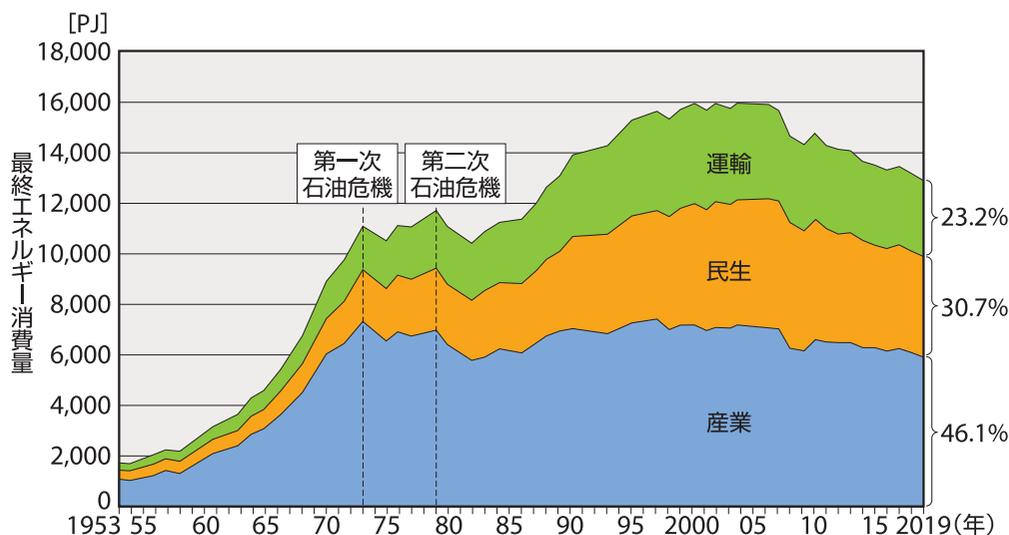
日本のエネルギー情勢を知ることで、省エネルギーの担う重要な役割が見えてきます。大局を知り、広い視野で省エネルギーに取り組めるよう学習していきます。

1

日本のエネルギー情勢

日本は世界第4位のエネルギー消費国ですが、**エネルギー自給率は12%程度**とエネルギー資源の多くを輸入に頼っている状況です。そのため再生エネルギーを活用した電源の多様化、合わせて二酸化炭素排出量の低減など多くのエネルギー政策を実施しています。

最終エネルギー消費量とその内訳を部門別に次の図に示します。



※1PJ(=10¹⁵J)は原油約25800kℓの熱量に相当(PJ:ペタジュール)

※家庭用+業務他部門=民生としています。

(出典:「エネルギー白書2021」)

最終エネルギー消費量

使用量が一番多いのは製造業、鉱業、建設業、農林水産業など**産業部門**、続いて、家庭、オフィスなどの**民生部門**、乗用車、バス、トラック、鉄道、船舶などの**運輸部門**の順になっています。

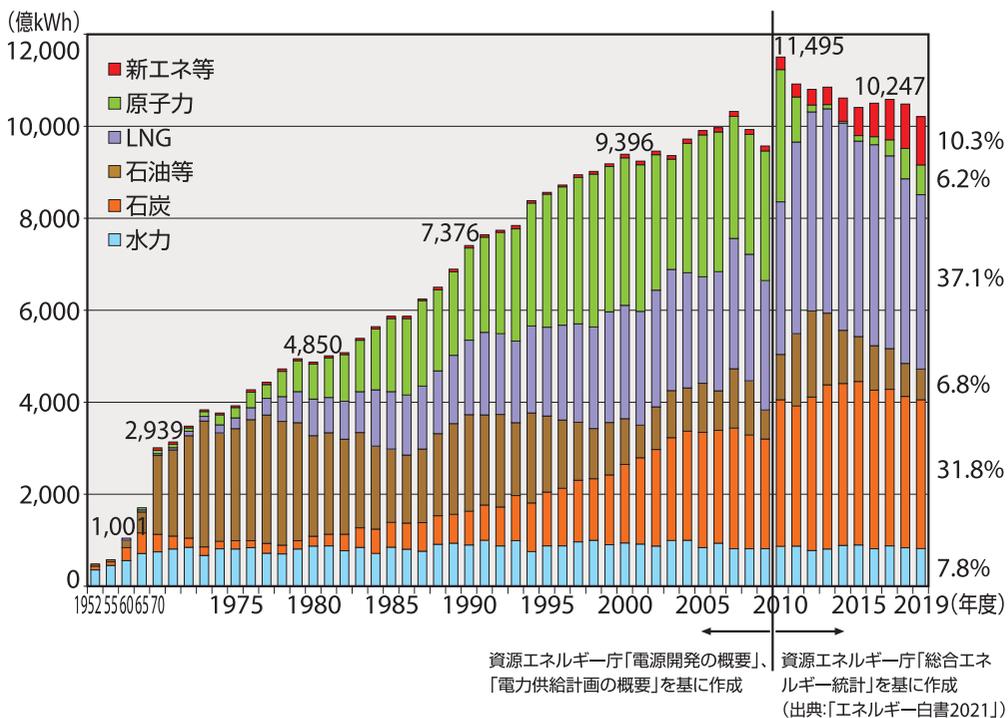
ただ、産業部門においては、石油危機以降徹底した省エネルギー化が進められており、ほぼ横ばいの傾向ですが、民生部門、運輸部門では冷房需要の増加、家電製品の大型化、乗用車の保有台数の増加、乗用車の大型化などによって増加傾向にあります。そのため、民生部門ではHEMSの導入、運輸部門では電気自動車の導入などによって省エネルギーが推進されることが期待されています。

従来の我が国の電力供給は、主として**原子力発電を定常的なベース電力**として、**火力発電や水力発電が需要変動にも対応する役割**を受け持ってきました。しかし東日本大震災以後ではこの枠組みが大きく変わり、火力発電の急増による燃料コストの上昇と共に、電力供給力に余裕がなくなった結果、電気需要の総量抑制および電気需要の平準化の推進が以前にも増して重要な課題となっています。

このため、工場のような大口の電気需要家は、まず、電気の使用を燃料または、**熱**の使用へ転換することや、双方を併用することなどが強く求められています。また、電気需要の平準化の面からは、電気を消費する機器の稼働時間帯の変更や**蓄電池**の導入などのピークシフト対策も強く求められています。

一方、家庭のような小口の電気需要家には、従来からの深夜電力を有効利用する機器の導入に加えて、太陽熱温水器などの再生可能エネルギーの導入実績もあり、さらに、**太陽光発電**なども普及しています。

将来的には**電気自動車**にも、本来の利用目的に加えて**蓄電池**と同様に深夜電力を有効利用する役割を受け持たせることなども期待されています。



日本のエネルギー・発電の供給量の割合

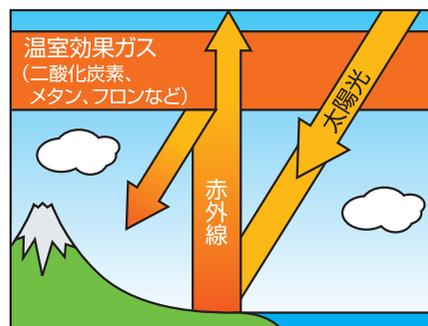
我が国の一次エネルギー供給構造の主なものは、**天然ガス>石炭>石油**となっており、エネルギー資源の88%程度を輸入に頼っています。

地球温暖化のメカニズムと温室効果ガスを取り巻く環境、また負荷平準化の目的などを学習していきます。

1

地球温暖化のメカニズム

地球の温暖化は地球への太陽からの放射エネルギーと、地球から宇宙空間への放射エネルギーの収支がつり合っている時は温度が平均して安定するのですが、昨今の**温室効果ガスによる大気**の熱保有量が多くなり、**地表の温度は上昇しています**。この温度上昇が地球の温暖化といわれ、気候の変化による生態系への影響などが懸念されています。



地球温暖化の熱イメージ

2

温室効果ガス

温室効果ガスは地球表面から放出されるエネルギーを吸収することにより、温室効果をもたらす気体の総称です。

温室効果ガスが、人為的な影響により濃度が上昇し、宇宙空間へのエネルギー放出が妨げられると、地表の温度は上昇します。

その中でも**温室効果の影響が大きいのが水蒸気で、続いて二酸化炭素になります**。水蒸気の発生量は海からの発生が一番多く、人為的に抑えることは困難ですが、二酸化炭素は化石燃料の消費量増により発生量が増加しています。

※ 水蒸気は温室効果ガスとしての効果が大きく、水蒸気による温室効果が5割、二酸化炭素による温室効果が2割といわれています。ですが、大気中の二酸化炭素の量が増え、大気

の温度が上がることで、自然からの蒸発量も増える、という正のフィードバック効果があるため、より温暖化が進みやすいと考えられています。

3 気候変動枠組条約締約国会議 (COP)

このような地球温暖化の原因に対する国際的な取り組みとして、気候変動枠組条約が発効されました。その目的は、大気中の温室効果ガスが引き起こす地球の温暖化が自然の生態系に悪影響を及ぼす恐れのあることを、人類共通の関心事として認識し、将来の気候を保護することを目的とした会議です。この会議は毎年開催されています。

COPの開催と主な出来事

- COP1** 1995年 ドイツ 議定書あるいは法的文書の合意。
- COP3** 1997年 日本 温室効果ガスの削減目標を定める**京都議定書**の採択。
- COP4** 1998年 アルゼンチン 京都議定書で承認された様々なルール作りを2年かけて行うことの合意(ブエノスアイレス行動計画)。
- COP6** 2000年 オランダ COP4でのルール作りに最終調整がつかず、2001年7月のCOP6再開において、ブエノスアイレス行動計画に対する政治的合意が成立した。
- COP21** 2015年 フランス 京都議定書の後継となる**パリ協定**の採択。**先進国と途上国が共通のルールで温室効果ガスの削減に取り組むことが決まる。**
- COP24** 2018年 ポーランド パリ協定の本格運用に向けて実施指針を採択。

4 気候変動に関する政府間パネル (IPCC)

地球温暖化など地球規模で対策を実施することにおいて、各国間に科学的に共通の見識を持って臨み、政策において包括的な評価を行うことを目的として設立された組織です。

5 循環型社会

大量生産、大量消費によって支えられてきた現代社会は、大量のゴミを発生させ、天然資源の枯渇、環境破壊、廃棄物処分場不足など様々な問題を生み出してきました。それに対し循環型社会とは、廃棄物等の発生を抑制し、廃棄物の中でも有益なものを資源として活用し、適切な廃棄物の処理を行うことで、天然資源の消費を抑制し、環境負荷を減らすことを目的とする社会を表します。その循環サイクルを作るのが3R、Reduce(発生抑制)、Reuse(再使用)、Recycle(再生利用)です。

memo

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

例題

次の文章の空欄に入る字句を解答群から選び、その記号を答えよ。

気候変動枠組条約締約国会議(Conference of the Parties:COP)は1995年から毎年開催され、2018年には24回目の会議(COP24)が開催されている。この間、地球温暖化問題への取り組みの第一歩として京都議定書が採択されたのは [1] であり、先進国を中心とした締約国に対し温室効果ガス排出量の削減が義務付けられた。その後、途上国を含む新たな枠組みとしてパリ協定が採択されたのは [2] であり、各国は5年ごとに温室効果ガス排出削減目標を提出することとなっている。なお、気候変動に関連する科学的知見を調査及び評価し、定期的に評価報告書にまとめている組織として [3] があり、現在第5次評価報告書までが公表されている。

〈 [1] ~ [3] の解答群〉

- | | | |
|----------------|------------------|----------------|
| ア 1995年(COP1) | イ 1997年(COP3) | ウ 2006年(COP12) |
| エ 2015年(COP21) | オ 気候変動に関する政府間パネル | |
| カ 国際連合環境計画 | キ 世界気象機関 | |

解答

[1]イ [2]エ [3]オ

解説

地球温暖化問題への取り組みの第一歩として、先進国を中心とした締約国に対して温室効果ガスの削減が義務付けられた京都議定書が採択されたのは**COP3**です。

その後、途上国も含めた温室効果ガスの削減に取り組むパリ協定が**COP21**で採択され、5年ごとに温室効果ガス排出削減目標を提出することとなっています。この気候変動に関する科学的、技術的、社会経済学的な見地から包括的な評価を行う目的として設立された組織がIPCC(気候変動に関する政府間パネル)です。

memo

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

電気の使用量は常に変化していますが、発電量はその使用される電力量を予測して調整されています。できるだけ負荷を平準化させることは、電力コストの低減にもつながります。

1 電力負荷平準化の必要性

電力の需要はエアコンの普及、サービス産業の変化、産業部門の構造変化などの影響によって、昔と比べ電力需要のピークが高くなっており、電力会社の供給量は圧迫され、年負荷率は60%程度に低下しています。**年負荷率の低下は設備利用率の低下をもたらし、電力供給コストの上昇につながります。**できるだけピークを抑え、電力の需要を平準化させることが省エネルギーの面からも重要です。

2 負荷平準化対策

① ピークシフト

電力需要のピークになる時間帯の生産量を抑え、ピーク外の時間帯に生産量をずらすことで、電力需要のピークを抑えます。

● 蓄熱利用

深夜電力を利用して夜間に冷凍機などにより冷水を蓄えておき、それを昼間に使用することで、冷房負荷を低減させます。

● 蓄電池の利用

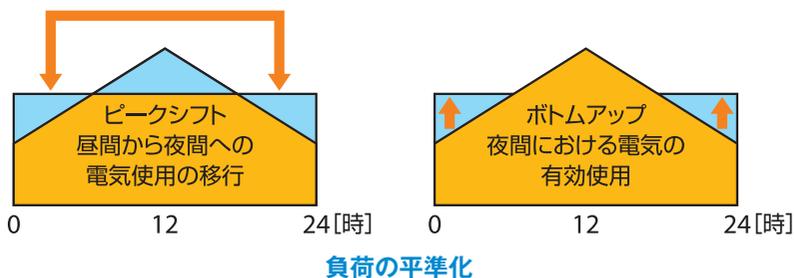
電力需要の少ない夜間電力で電池に電気を貯めておき、ピークの時間帯に電池から電力の供給を受けることでピークを抑えます。

② ピークカット

冷房の温度を上げすぎないなどのソフト面の方策と、太陽光発電からの供給による昼間の電力使用量の削減等によって電力ピークを抑えます。

③ ボトムアップ

需要の少ない深夜電力帯の電力需要の推進をすることも電力の平準化に寄与します。



例題

次の文章の空欄に入れるべき字句を解答群から選び、その記号を答えよ。

需要構造における夏期ピークの先鋭化は〔1〕の低下をもたらし、その結果、年間需要の増加を上回る規模の新たな〔2〕が必要となってきた。一方、発電所の建設に当たっては、自然・社会環境に与える影響に関連して地元との十分な調整の実施をはじめとして、建設工事が完成に至るまで長い年月が必要である。したがって、電力を消費するあらゆる部門にわたって、電力ピークシフト対策(重負荷時の〔3〕を、軽負荷時である休日、夜間などに移行することによって、負荷率の改善を図る)を推進することが経済的に肝要である。

そこで〔4〕を変更することによって負荷調整を行い、重負荷時の昼間ピークから休日、夜間などの軽負荷時に需要を移すことができれば、電気供給事業者として電力供給設備の節減になるばかりでなく、発電所の効率的運転も可能となり、〔5〕原価の低減が図れる。これは省エネルギーの要請に沿うものであるといえる。

〈〔1〕～〔5〕の解答群〉

- | | | | |
|--------|--------|----------|---------|
| ア 電力料金 | イ 操業率 | ウ 操業パターン | エ 産業用電力 |
| オ 電力設備 | カ 負荷率 | キ 需要率 | ク 発電設備 |
| ケ 冷房設備 | コ 供給 | サ 生産設備 | シ 昼間需要 |
| ス 利用率 | セ 需要設備 | ソ 製造 | |

解答

[1]カ [2]ク [3]シ [4]ウ [5]コ

解説

負荷平準化と夏期の電力ピークシフト対策についての設問です。

電力ピークの先鋭化は**負荷率**の低下をもたらし、その先鋭化された需要を上回る**発電設備**が必要になります。このため、電力ピークを抑えるために、夏場の**昼間需要**のピークシフトを行うことで、負荷率の改善を図ることが重要となります。

ピークシフトを図る方法としては、**操業パターン**を重負荷時の昼間から休日、夜間などに需要を移すことでピークを抑え、また、電気供給事業者として電力供給設備の節減になるばかりでなく、発電所の効率的運転も可能となり、**供給原価**の低減を図ることができま

石油のような化石燃料をはじめ、再生エネルギーなどエネルギー源になるものは多数あります。エネルギー源の種類、またそこから変換されるエネルギーを利用した発電の仕組みを学びましょう。

1

化石燃料と非化石燃料

化石燃料：石炭、石油、天然ガスなど植物やプランクトンなどの生物の堆積によりできたものです。

非化石燃料：薪、廃棄物などの材料から、太陽光、風力を含む自然エネルギーや、原子力発電に使用されるウランなども非化石燃料に分類されます。

2

可採年数

可採年数は、今後このままの生産量であと何年生産できるかの年数を表しています。各主要燃料は次のとおりです。

石油：51年

天然ガス：53年

石炭：153年

ウラン：102年

新しい資源が見つかることや、採掘技術の発達などによって大きく可採年数が変化することがあります。

3

再生エネルギー

再生エネルギーは石油や石炭などといった有限な資源ではなく、**バイオマス(廃棄物)や水力のように、循環する地球資源の一部から取り出されるエネルギーを指します**。その中でも太陽光、風力、地熱など自然界に存在するエネルギーのことを**自然エネルギー**といいます。

化石燃料との大きな違いとして、枯渇しない、CO₂を排出しない(増加させない)という特徴があります。

memo

6

ベルヌーイの定理による変換

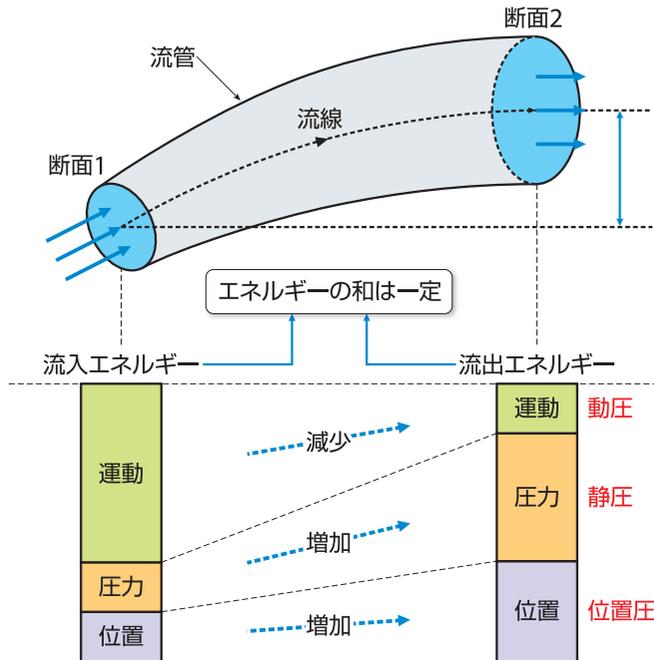
空調設備の搬送システムにおいて、搬送される流体は主として水や空気などですが、次に示す式①は、それら配管系やダクト系を流れる非圧縮性の流体のエネルギーの保存則を示すもので、ベルヌーイの方程式と呼ばれます。

$$P + \frac{\rho v^2}{2} + \rho g z = \text{一定} \quad \text{①}$$

第一項
第二項
第三項

式①において、 v は**流体の管路断面平均流速**、 z は**基準面からの高さ**であり、 ρ は**流体の密度**、 g は重力の加速度を表します。

式①における第一項は**静圧**、第二項は**動圧**、第三項は**位置圧**を意味し、第一項と第二項の合計を**全圧**と言います。



ベルヌーイの定理の表現方法は色々ありますが、どれも変換できるように理解しておくことが重要です。

memo

.....

.....

.....

.....

.....

ベルヌーイの定理

圧力による表現

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + p + \rho g z = \text{一定} [\text{Pa}]$$

エネルギーによる表現

$$\frac{1}{2}mv^2 + p \frac{m}{\rho} + mgz = \text{一定} [\text{J}]$$

基準面からの高さによる表現

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} + z = \text{一定} [\text{m}]$$

v : 流体の管路断面平均流速 [m/s] p : 圧力 [Pa] m : 質量 [kg]

z : 基準面からの高さ [m] ρ : 流体の密度 [kg/m³] g : 重力の加速度 [m/s²]

例題

次の文章の空欄に入る字句を答えよ。

流体を扱う場合は配管系及びダクト系ともに①式を用いる。

$$\underbrace{P}_{\text{第一項}} + \underbrace{\frac{\rho v^2}{2}}_{\text{第二項}} + \underbrace{\rho g z}_{\text{第三項}} = \text{一定} \dots\dots\dots \text{①}$$

そのうちダクト系について、非常に影響が少ないのは第 項の項目である。

解答

三

解説

第三項は位置圧の項であり、流体における圧力、運動エネルギーに対して気体の質量が小さいことから重力が影響する項目は他に比較して小さくなります。

memo

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

例題

次の文章の空欄に入れるべき適当な字句を解答群から選び、その記号を答えよ。

大規模商用発電の方式である火力発電では、燃料の持つ [1] エネルギーを、まず [2] エネルギーに変換し、さらにこれを [3] エネルギーに変換して発電機を回転させる。

〈 [1] ~ [3] の解答群〉

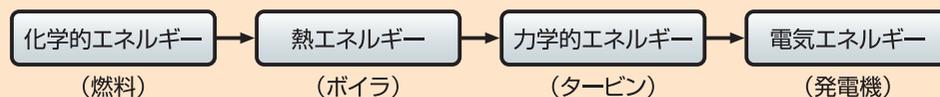
ア ポテンシャル イ 熱 ウ 光 エ 放射 オ 化学的
カ 原子核 キ 静電気 ク 電磁氣的 ケ 力学的

解答

[1] オ [2] イ [3] ケ

解説

燃料の燃焼から発電に至るまでのエネルギー変換は次のように行われます。



例題

次の文章の空欄に入れるべき適当な数値を答えよ。

液体燃料を使用するボイラで発生した蒸気タービンに通気し、このタービンで発電機を駆動する火力発電設備が定出力運転をしている。燃料消費量を36 [kl/h] とすると、発電電力は [A] [MW] である。ここで、燃料の高発熱量を40 [GJ/kl]、ボイラ効率 (高発熱量基準) を85%、タービンと発電機を一体とした効率を45%とし、その他の損失は無視できるものとする。

解答

[A] 153

解説

ボイラで単位時間当たりに発生する熱量は、ボイラ効率が85%であることから

$$\text{熱量} = 40 \text{ [GJ/kl]} \times 36 \text{ [kl/h]} \times 0.85 = 1224 \text{ [GJ/h]}$$

発電効率45%であり、JとWを変換すると

$$\therefore \text{発電電力} = \frac{1224}{3600} \times 0.45 = 0.153 \text{ [GW]} = \mathbf{153} \text{ [MW]}$$

例題

次の文章の空欄に入れるべき適当な数値を解答群から選び、その記号を答えよ。

高低差230mで放水される水力発電用ダムに蓄えられている有効貯水量12000000 [m³]の水が保有する位置エネルギーは約 [GJ]である。

また、このダムからの放水85m³/sを利用して発電する場合、理論最大発電出力は約 [MW]である。

〈 及び の解答群〉

ア 19 イ 190 ウ 1350 エ 1900 オ 2700
カ 9500 キ 13500 ク 27000

解答

[1]ク [2]イ

解説

[1] 水が保有する位置エネルギー W は、水の質量を m [kg] (水1 [m³] = 1 [t] = 10³ [kg])、重力加速度を g (=9.8) [m/s²]、有効落差を H [m]とすると、
 $W = mgH$ [J] = (12000000 × 10³) × 9.8 × 230 [J] ≒ **27000** [GJ]

[2] 理論最大発電出力 P は、水の流量を Q [m³/s] とすると
 $P = 9.8QH$ [kW] = 9.8 × 85 × 230 [kW] ≒ **190** [MW]
となります。

memo

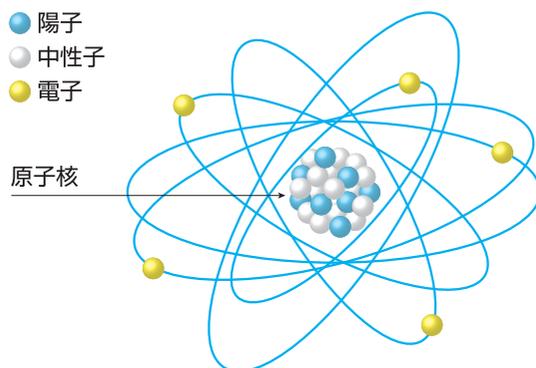
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

9

原子力発電

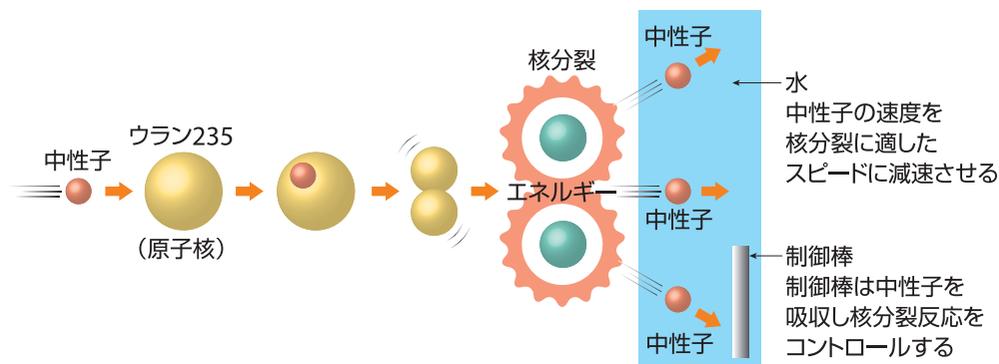
原子力発電所では、原子の核分裂時に発生するエネルギーを利用して発電を行っています。

原子は陽子と中性子が結合した原子核の周りを電子が回っており、その原子核が分裂する現象を核分裂と呼んでいます。



原子の構成

原子力発電所の燃料である天然ウランは、**核分裂しやすいウラン235**と**核分裂しにくいウラン238**によって構成されており、核燃料のウランが詰まった炉心に中性子を当てることで核分裂が起こりエネルギーを発生させます。



核分裂の仕組み

飛び出した中性子は他のウラン235に当たり、次々と連鎖的に核分裂を起こしてしまいます。そのため、核分裂を抑制するために、**制御棒**といわれる中性子を吸収する物を入れて、飛び出した中性子の量を調整します。また、炉内を満たす水(軽水)は、発生した熱によって蒸気となりタービンを回す役割の他に、核分裂した中性子を**減速**させ、核分裂しやすい速度にする働きも持ちます。

質量とエネルギーの等価性

中性子を当て、原子核を異なる2つの核に分裂させると、元の質量より m [kg] だけ軽くなりま

す。この質量欠損により発生するエネルギー E は次の式で表されます。

質量とエネルギーの等価性

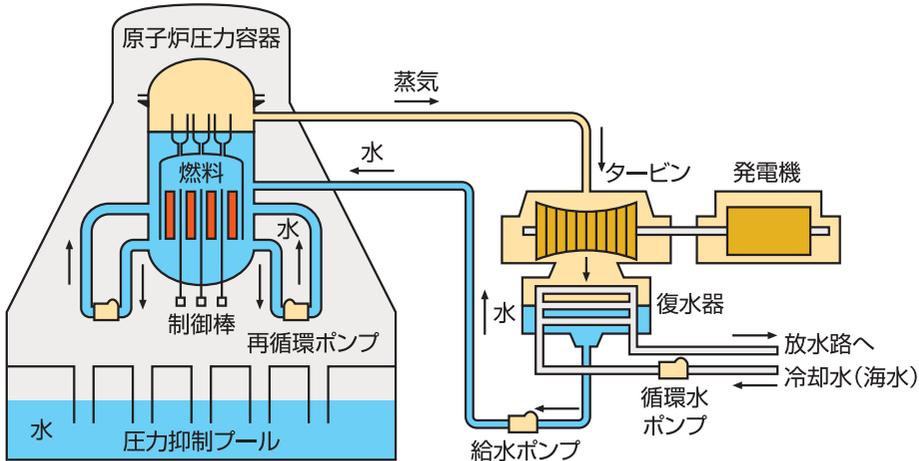
$$E=mc^2[\text{J}]$$

E : エネルギー [J] m : 質量 [kg] c : 光の速度 ($=3 \times 10^8$ [m/s])

原子炉の種類

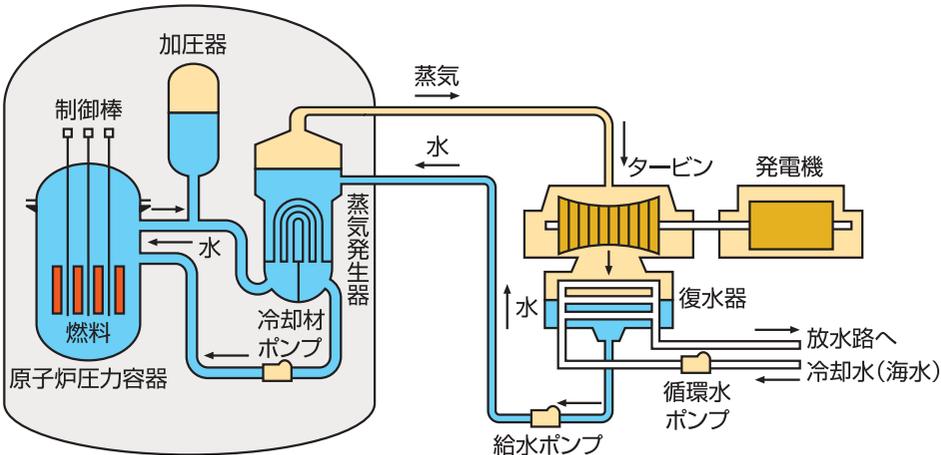
日本国内の原子炉では、高速中性子を減速させて核分裂しやすい低速中性子とするため、一般の水(軽水)を使用しています。軽水を用いる原子炉を**軽水炉**と呼び、**沸騰水型軽水炉(BWR)**と**加圧水型軽水炉(PWR)**に大別されます。

原子炉の中で、蒸気を発生させる



沸騰水型軽水炉 (BWR)

原子炉でつくられた高温高圧の水により、蒸気発生器で蒸気を発生させる



加圧水型軽水炉 (PWR)

加圧水型軽水炉 (PWR) では、蒸気発生器により一次冷却水と二次冷却水とに分かれており、放射性物質を一次冷却系に封じておくことができます。

例題

次の文章の空欄に入れるべき適当な数値を答えよ。

ウラン235原子1個の質量は $3.90 \times 10^{-22} \text{g}$ である。いま、1個のウラン235原子が核分裂を起こして $3.70 \times 10^{-28} \text{kg}$ の質量欠損が生じたとすると、このときに発生するエネルギーは約 [J] になる。これを1kgのウラン235原子が核分裂した場合に換算すると [kJ] という膨大なエネルギーの発生ということになる。ただし、光の速度を $3 \times 10^8 \text{m/s}$ とする。

解答

[1] 3.33×10^{-11} [2] 8.54×10^{10}

解説

質量欠損が $\Delta m = 3.70 \times 10^{-28} \text{[kg]}$ のときに発生するエネルギー E は、質量とエネルギーの等価性の式より、

$$E = \Delta mc^2 = 3.70 \times 10^{-28} \times (3 \times 10^8)^2 = \mathbf{3.33 \times 10^{-11} \text{[J]}}$$

ウラン235原子1個の質量 $3.90 \times 10^{-22} \text{[g]}$ で発生する熱量が $3.33 \times 10^{-11} \text{[J]}$ であるので、1 [kg] (=1000 [g]) のウラン235原子が核分裂した場合に換算した値を E' とすると、

$$3.90 \times 10^{-22} \text{[g]} : 1000 \text{[g]} = 3.33 \times 10^{-11} \text{[J]} : E' \text{[J]}$$

$$\therefore E' = \frac{1000 \times 3.33 \times 10^{-11}}{3.90 \times 10^{-22}} = 8.54 \times 10^{13} \text{[J]} = \mathbf{8.54 \times 10^{10} \text{[kJ]}}$$

memo

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

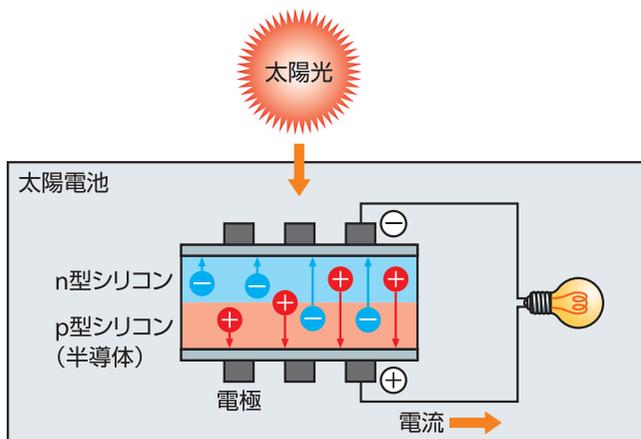
.....

10

自然エネルギー発電

太陽光発電

太陽光発電は物質に光が当たると中の電子が飛び出す光電効果を用いた発電方法です。光のエネルギーを電気エネルギーに変換するために、シリコンや化合物半導体、アモルファスシリコンなどが用いられています。太陽光線からのエネルギーは太陽定数といわれ、約1.37～1.5[kW/m²]で地球の大気圏に降り注いでいます。その変換効率はおおよそ17%程度であり、1[kW]の太陽光発電設備当たり、年間1200[kWh]程度発電します。

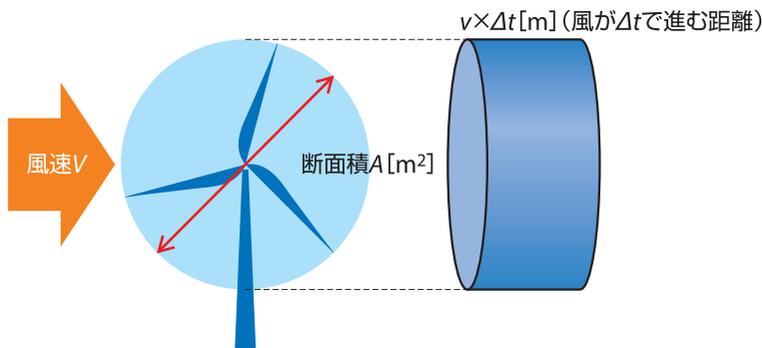


太陽電池の発電

風力発電

風力発電は風の力を利用して風車を回し、その動力で発電機を回転させて発電します。風車を回転させるエネルギーは、風車を通過する断面積と風速と風車の出力係数によって求めることができ、この時の断面積は、ブレード(羽根)が風を受ける面積に相当します。

断面積を A [m²]、風速を v [m/s]、空気の密度を ρ [kg/m³]、風車の出力係数 C_p とすると、空気の質量は、 A [m²] \times v [m/s] \times ρ [kg/m³] = m [kg/s]となります。



風力発電

この空気の質量が風速 v で動く単位時間当たりの運動エネルギー W は

$$W = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times Av\rho \times v^2 = \frac{1}{2}A\rho v^3 \text{ [J]}$$

となり、運動エネルギーは風速の3乗に比例することがわかります。

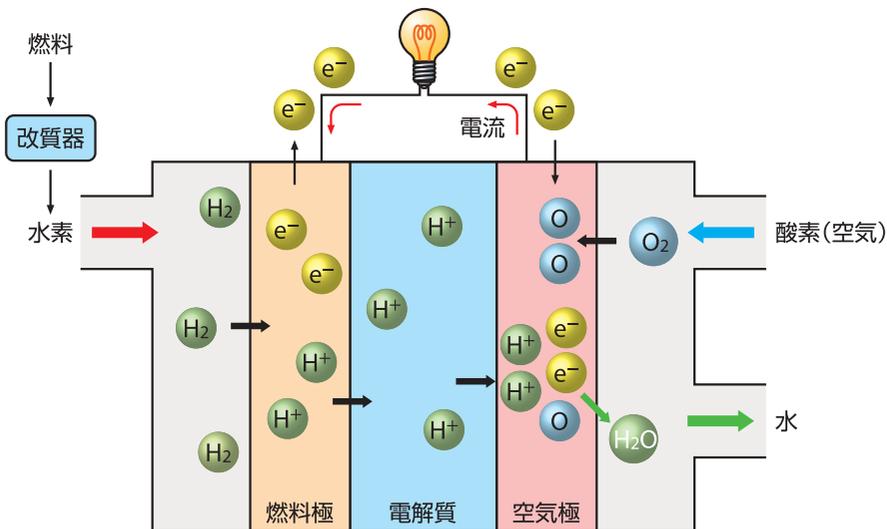
風車の受けるエネルギー P [kW]は

$$P = \frac{1}{2}C_p A \rho v^3$$

と表せます。

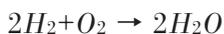
11 燃料電池での発電

燃料電池は、石油や天然ガスから改質によって得られた水素と、空気中の酸素を化学的に結合させることによって、化学エネルギーから電気エネルギーを得ることができます。化学反応の過程で排出されるのは水だけなので、クリーンな電池といわれています。

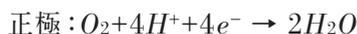
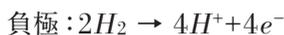


燃料電池の仕組み

全反応式



半反応式



※ 天然ガスなどの改質の過程で地球温暖化効果ガスが排出されるため、完全にクリーンな発電ではありません。

6

冷凍機、ヒートポンプの 基本原理と成績係数

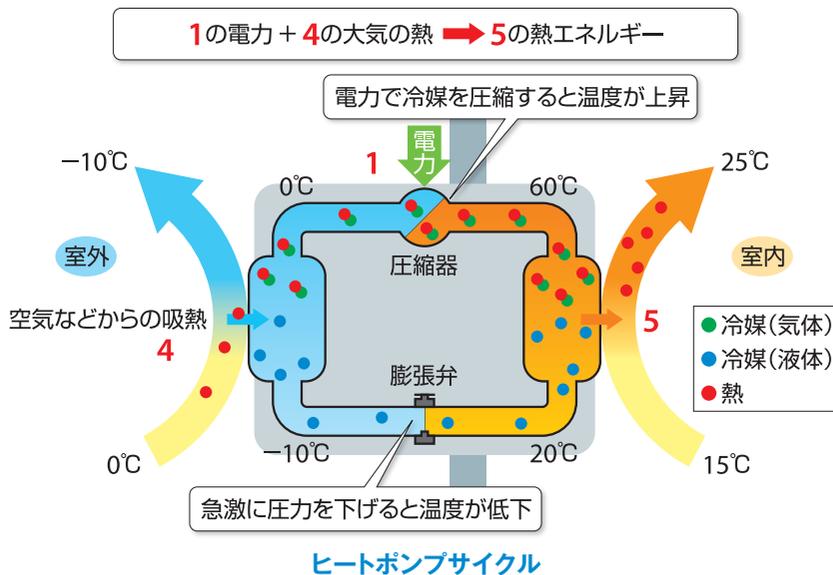
熱を移動させるヒートポンプの仕組みを知り、成績係数がどのように表されているのか学習しましょう。成績係数については課目Ⅳの空気調和でも学習しますが、基本的な用語などは課目Ⅰでよく出題されます。

1

冷凍機とヒートポンプ

冷凍機とヒートポンプの基本原理は同じであり、**低温熱源から高温熱源に熱エネルギーを移動させ、外気のエネルギーを使い大きな熱エネルギーとして利用する機器**をいいます。高温熱源側の熱エネルギーを利用する(暖める)ものをヒートポンプ、低温熱源側の熱エネルギーを利用する(冷やす)ものを冷凍機といいます。

ヒートポンプのサイクルは4つの過程で構成され、高温熱源または低温熱源とヒートポンプとの間で熱を授受する2つの過程と、作動媒体の膨張と圧縮の2つの過程から成り立ちます。



サイクルの性能は**成績係数(COP)**と呼ばれる指標で評価されます。高温熱源と低温熱源の温度が定められている場合、**逆カルノーサイクル**で作動するときに最高性能を引き出すことができ、**両熱源の温度差が無限小に近づく**と**成績係数は無限大に近づきます**。

2

COP (成績係数)

COPとは、エアコンが作り出す熱・冷熱量の、消費する電力量に対する割合を表しており、COP=3.0のエアコンとは、消費する電力量の3倍の熱・冷熱量を作り出すものを意味しま

す。COPの値は省エネ性能を表しています。前ページの図の場合、COPは、(出力熱エネルギーは5/入力電力は1)であり5となります。COPはAPFと同様に省エネルギーの指標として使用されます。

① 成績係数(COP:Coefficient of Performance)とAPF(Annual Performance Factor)

COPはエネルギー消費効率を表す指標の一つで、機器への入力エネルギーに対する出力エネルギーの比として表される指標です。

$$COP = \frac{\text{機器からの出力エネルギー(定格能力)} [kW]}{\text{機器への入力エネルギー(定格消費電力)} [kW]}$$

エアコンなどの冷暖房の性能評価としても使われますが、その場合、冷房COPと暖房COPというように分けられます。そのエネルギーは**定格時の値**が用いられます。

ただ、冷暖房は年間を通じて行われ、季節による外気温の影響を受けやすいエアコンなどでは、APFが2006年に新しい省エネの指標として定められました。

APFは**通年エネルギー消費効率**と呼ばれ、次の式で表されます。

$$APF = \frac{\text{冷房期間+暖房期間で発揮した能力} [kWh]}{\text{冷房期間+暖房期間の消費電力量} [kWh]}$$

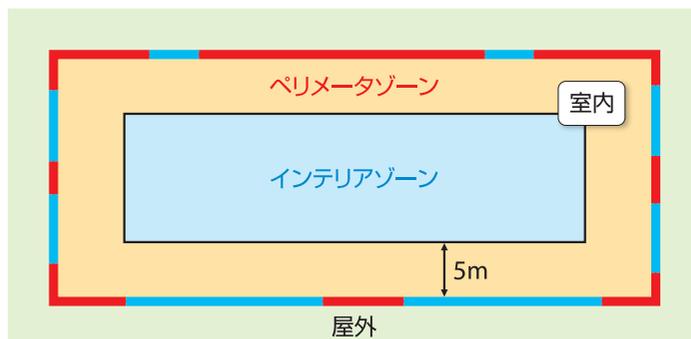
② PAL (Perimeter Annual Load)

PALとは、年間熱負荷係数のことです。建築物の外壁や窓の断熱性能に関する指標で、熱損失の防止性能を評価する指標です。

PALは次の式で表されます。

$$PAL = \frac{\text{屋内周囲空間の年間熱負荷} [MJ/\text{年}]}{\text{屋内周囲空間の床面積} [m^2]}$$

建物の屋内周囲空間をペリメータといいます。PALは、ペリメータの床面積1m²当たりの年間熱負荷を示しており、PALが小さいほど断熱性能がよく、省エネ性能がよくなります。



ペリメータゾーンの範囲例

例題

次の文章の空欄に入る適当な数値を答えよ。

空気調和設備の主な冷熱源である、熱料を直^だ焚きしてエネルギー源とする吸収冷凍機と、電気をエネルギー源とする電動チラー（蒸気圧縮冷凍機）の消費エネルギーを比較評価する。ここで、電動チラーは電気の受電端発電効率を37%とした1次エネルギー換算値で評価する。

負荷が等しい条件で運転している吸収冷凍機のCOPが1.2、電動チラーのCOPが3.6であり、両者とも補機の消費エネルギーはCOPには含まれていないものとする。

消費エネルギーを、このCOPから算出される1次エネルギー換算値で比較すると、吸収冷凍機は電動チラーの [倍] となる。

解答

1.1

解説

重油や、ガスなどを燃料とした直焚きをエネルギー源とする吸収式冷凍機と、電気をエネルギー源とする電動チラーを比較する場合、燃料から電気を作る際に必要な効率を考慮し、同じ一次エネルギーとして考える必要があります。COPは入力エネルギーを基準としているため、電気を利用する電動チラーの場合、受電端発電効率37%を考慮した一次エネルギー基準として比較します。

一次エネルギーを基準とした電動チラーのCOPは、

$$\text{COP(電動チラー)} = 3.6 \times 0.37 = 1.332$$

$$\frac{\text{COP(電動チラー)}}{\text{COP(吸収式冷凍機)}} = \frac{1.332}{1.2} = 1.11 \approx 1.1 \text{ [倍]}$$

となります。

memo

電気エネルギーを直接貯蔵することは難しく、電気エネルギーをほかのエネルギーの形に変えて貯蔵されます。その貯蔵方法、仕組み、変換システムなどを学んでいきましょう。

1

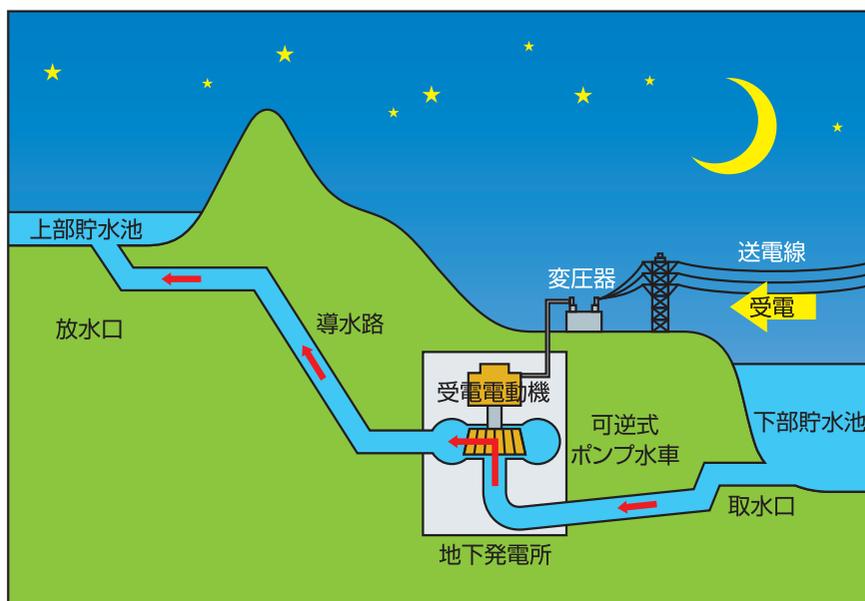
電気の貯蔵

電気エネルギーは基本的にそのままの形では貯蔵できないため、電力需要の急激な変化に対して供給量不足による電圧低下や停電が起きないとは限りません。需要に対して必要な供給量を保つために余剰発電をしておく必要がありますが、**電力貯蔵システムの研究開発により、余剰発電を少なくすることが期待されます。**

また、自然エネルギーを利用した太陽光、風力発電などの供給不安定な電源の有効活用にも利用されます。

① 揚水発電

揚水発電所は、水力発電所と同様に水の位置エネルギーを利用して、水車を回転させることで電気を作りますが、揚水発電所では下部にある水をポンプによって揚水する(持ち上げる)ことで、上部の調整池などに水を貯めておき、必要なときに水を放出し発電を行います。**夜間などの電力使用量が少ない時間帯に水を貯めておき、昼間の電力需要が大きいつきに水を流すことで電力需要のピークカットの役割を果たします。**また、夜間に限らず太陽光発電で発電した電気などを利用して揚水を行う場合もあります。



夜の揚水発電の動き