

電気分野
専門区分

試験時間 13:50～15:40 (110分)

課目Ⅳ 電力応用

必須 問題 9 電動力応用

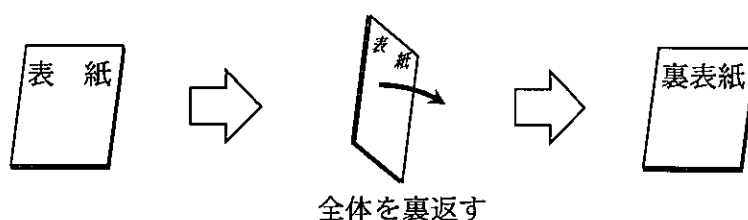
1～4 ページ

次の問題 10 から問題 13 までは、4 問題中 2 問題を選択して解答すること。

選択	問題 10	電気加熱	7～9 ページ
選択	問題 11	電気化学	10～12 ページ
選択	問題 12	照明	13～14 ページ
選択	問題 13	空気調和	15～17 ページ

※試験開始の指示があるまで開いてはいけません。
※問題の内容に関する質問にはお答えできません。

- 答案用紙（マークシート）には、**氏名**、**生年月日**、**受験番号**を記入すること。
- 問題の解答は答案用紙に記入すること。記入に当たっては答案用紙に記載の「記入上の注意」に従うこと。
- 問題の解答上の注意は、裏表紙にも記載してあるので、この問題冊子全体を裏返して必ず読むこと。
- 答案用紙は、解答未記入の場合も提出すること。
- 試験終了後、問題冊子は持ち帰ること。



(表紙)

(電動力応用)

問題9 次の文章の 1 ～ 16 の中に入れるべき最も適切な字句等をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。

(1) 高層ビルのロープトラクション式エレベータの運転特性について考える。最大積載質量が1000kg、かごの質量が1500kg、つり合いおもりの質量が2000kgであるとし、簡単のため、ロープの質量、綱車や電動機の慣性モーメント、空気抵抗の影響は無視できるものとする。また、高層ビルは15階建て、1階当たりの高さは4.0m、エレベータの定格速度は240m/minとする。

1) かごが1階で停止している状態から、加速度 α [m/s²]を図1のパターンで変化させる。なお、加速度の最大値を1m/s²、加速度変化率の最大値を1.25m/s³とし、加速度の大きさを最大値に保つ時間を t_a [s]、加速度を零として最大速度で運転する時間を t_b [s]としている。

速度は加速度の積分により求めることができ、 $t=1.6+t_a$ における速度の最大値 v_m [m/s]は次式で表される。

$$v_m = \text{1} \dots\dots\dots \text{①}$$

一方、かごの上昇距離は速度の積分であり、 $t=3.2+2t_a+t_b$ で停止した時の上昇距離 x_m [m]は次式で表される。

$$x_m = \text{2} \dots\dots\dots \text{②}$$

なお、加速期間と減速期間の対称性から、台形の面積として x_m を簡単に求めることができる。

< 1 及び 2 の解答群 >

- | | | |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| ア $t_a+0.8$ | イ $2t_a$ | ウ $2t_a+1.6$ |
| エ $v_m(t_a+t_b+1.6)$ | オ $v_m(2t_a+t_b+3.2)$ | カ $2v_m(t_a+t_b+1.6)$ |

2) 式②より、 t_a 及び t_b で x_m が調整できることがわかる。 x_m が小さい場合には、 $t_b=0$ として t_a により x_m を調整する。 v_m が定格速度240m/min=4m/sで制限されるため、 x_m がある距離を超えると、 t_a を一定値に保ち t_b により x_m を調整する。式①より求められる v_m が定格速度4m/sとなる t_a の値と、 $t_b=0$ を式②に代入してこのときの x_m を求めると、3 [m]となる。

この結果より、1階から6階までの $4.0 \times 5 = 20\text{m}$ を上昇するパターンでの t_b の値は、4 [s]となる。

＜ 3 及び 4 の解答群 ＞

ア 0.2 イ 1.2 ウ 2.2 エ 11.2 オ 14.4 カ 19.2

- 3) 駆動系が綱車を通して供給する力 F [N] は、不平衡質量に加わる重力に対抗する力と全体の質量を加減速するための力の和であり、乗車率を h ($0 \leq h \leq 1$) とすると次式で表すことができる。
ただし、重力の加速度を $g=9.8\text{m/s}^2$ とする。

$$F = \{ (h - 0.5)g + (h + 3.5)\alpha \} \times 1000 \text{ [N]} \quad \cdots \cdots \cdots \text{③}$$

従って、 $h=1$ で、最大加速度 $\alpha=1.0\text{m/s}^2$ のときの F は 5 [N] であり、図1で速度、加速度ともに大きくなる $t=0.8+t_a$ での供給電力 $P=F \times v$ は、 6 [kW] と計算できる。
ただし、 $v_m=4\text{m/s}$ とする。

＜ 5 及び 6 の解答群 ＞

ア 16.2 イ 33.8 ウ 51.5 エ 4500 オ 9400 カ 14300

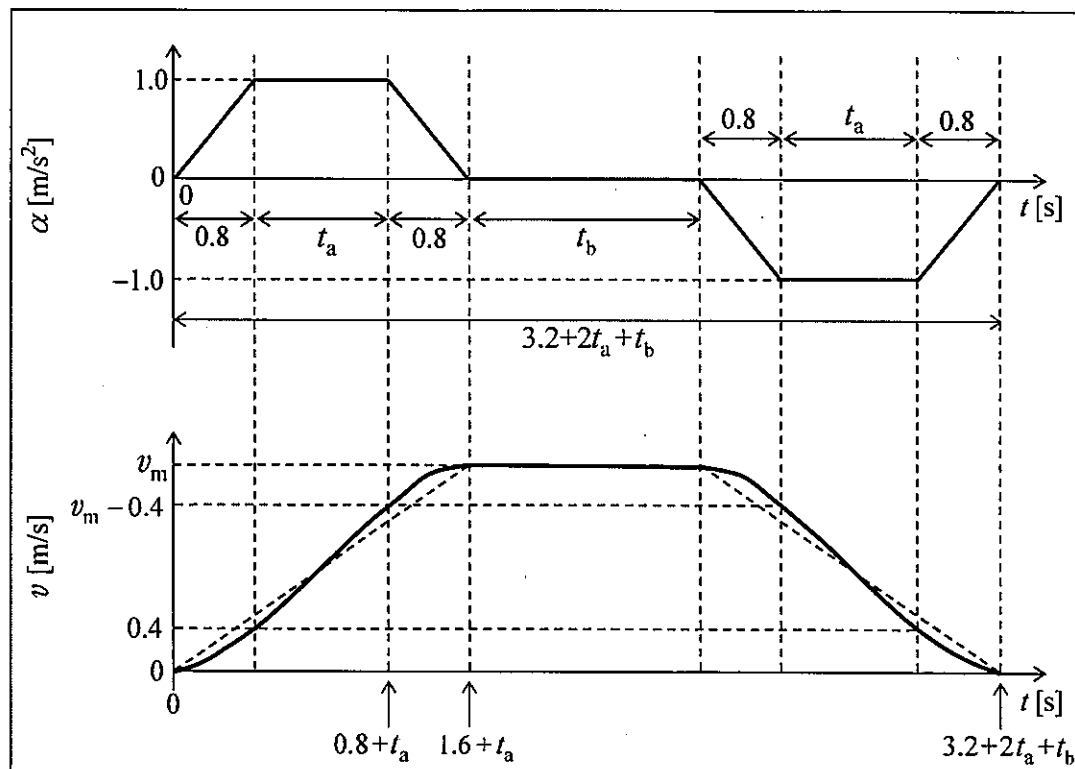


図1 加速度及び速度の時間的变化

問題 9 は次の頁に続く

(2) 実揚程のある送水ポンプ設備に関して、流量制御方式の違いによるエネルギー消費の差異を比較する。比較する制御方式は、一つは「吐出し弁の開度調整による弁制御方式」で、もう一つは「インバータによってポンプの回転速度を制御する速度制御方式」とする。

図2は、このポンプの流量と全揚程の関係、及びポンプの流量と管路抵抗の関係を、ポンプの流量及び全揚程の定格値で正規化したモデルでグラフに表したものであり、それぞれの制御方式について定格流量に対して100%、80%、50%の流量で運転した場合をモデル上で示している。

一般にポンプの全揚程 h [p.u.] は、流量 q [p.u.] とポンプの回転速度 n [p.u.] の関数として式①で表すことができ、管路抵抗 r [p.u.] は、流量 q [p.u.] の関数として式②で表すことができる。

$$h = k_1 \cdot n^2 - k_2 \cdot q^2 \quad \text{..... ①}$$

$$r = k_3 + k_4 \cdot q^2 \quad \text{..... ②}$$

ここで、式①、②において、 k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 は正の定数であり、特に式②の k_3 は正規化された実揚程を表し、 k_4 は吐出し弁の開度で決まる定数である。

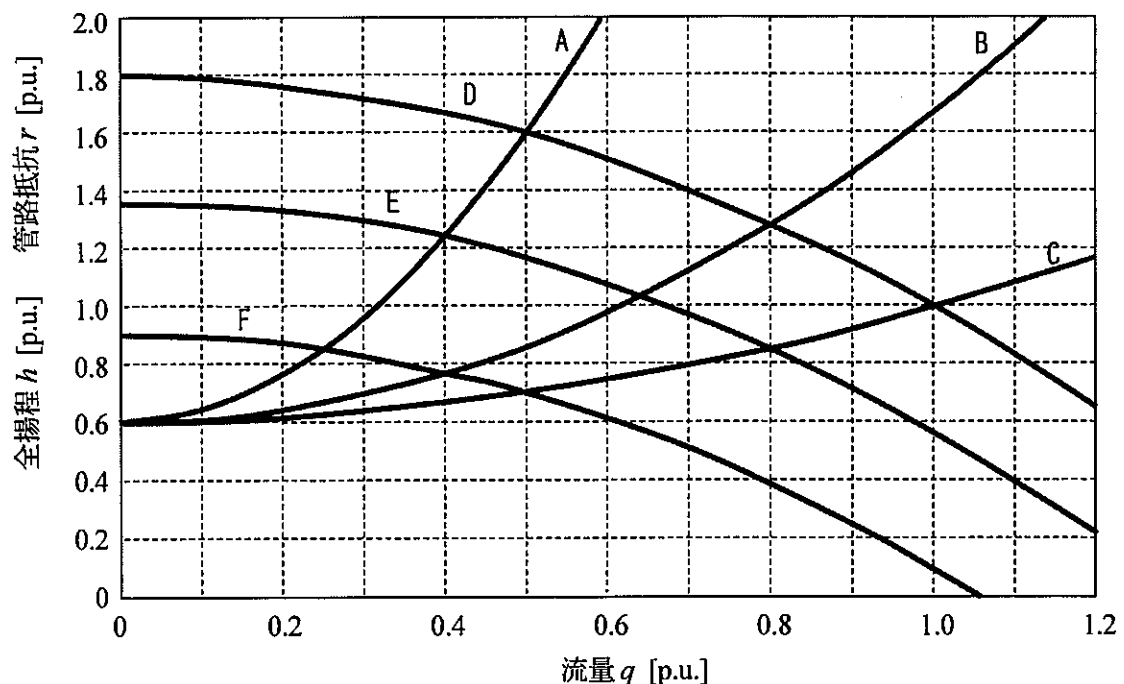


図2 流量と全揚程、管路抵抗の関係

- 1) 弁制御方式で定格の80%流量で運転した場合、図2においてポンプの全揚程は曲線 7 上の点で表され、その場合の管路抵抗は曲線 8 上の点で表される。また、速度制御方式で同じく定格の80%流量で運転した場合の全揚程は曲線 9 上の点で表される。

＜ 7 ～ 9 の解答群 ＞

ア A イ B ウ C エ D オ E カ F

- 2) 図2において、定格回転速度のときの全揚程曲線の流量0及び定格流量に注目すると、式①の全揚程の k_1 及び k_2 に関しては、図から $k_1 = 10$ であることが読み取れ、 k_1 が分かれば $k_2 = 11$ となる。一方、式②の管路抵抗の k_3 は実揚程を示すことから、 $k_3 = 12$ であることが読み取れる。 k_4 の値は吐出し弁の開度によるが、例えば定格運転点を通る抵抗曲線の場合、定格流量のときの管路抵抗 r の値が1.0 p.u.であること及び k_3 の値から、 $k_4 = 13$ となる。

＜ 10 ～ 13 の解答群 ＞

ア 0.4 イ 0.5 ウ 0.6 エ 0.7 オ 0.8 カ 0.9
キ 1.0 ク 1.2 ケ 1.4 コ 1.6 サ 1.8 シ 2.0

- 3) 定格の50%流量で運転した場合の、それぞれの制御方式での軸動力について考える。このときのポンプ効率 η は、弁制御方式の場合には0.75 p.u.、速度制御方式の場合には0.91 p.u.とする。

- i) 弁制御方式では、流量 $q=0.5$ p.u.、ポンプの回転速度 $n=1.0$ p.u.として、式①からポンプの全揚程 $h=1.6$ p.u. が求められる。このとき、ポンプ効率 $\eta=0.75$ p.u. なので、ポンプの軸動力を p_a とすると、 $p_a=1.07$ p.u.となる。

一方、速度制御方式では、ポンプの全揚程と管路抵抗が等しくなることから、流量 $q=0.5$ p.u.として、式①及び式②からポンプの回転速度 $n = 14$ [p.u.] が求められる。このとき、ポンプ効率 $\eta=0.91$ p.u. なので、ポンプの軸動力を p_b とすると、 $p_b = 15$ [p.u.] となる。

- ii) したがって、定格の50%流量で運転した場合の両制御方式における軸動力の比を計算すると、

$$\frac{p_b}{p_a} = 16 \text{ となり、速度制御方式の方が省エネルギーの効果が高いことが分かる。}$$

＜ 14 ～ 16 の解答群 ＞

ア 0.298 イ 0.319 ウ 0.329 エ 0.350 オ 0.359
カ 0.385 キ 0.652 ク 0.707 ケ 0.850

(空 白)

選択問題

次の問題 10 から問題 13 までは、4 問題中
2 問題を選択して解答すること。

問題 10 電気加熱

問題 11 電気化学

問題 12 照 明

問題 13 空気調和

(電気加熱 - 選択問題)

問題10 次の各文章の ～ の中に入れるべき最も適切な字句等をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。

(1) 各電気加熱方式の原理、特徴及び応用分野について考える。

1) アークは大気中の放電により電離した気体中での導電現象である。この現象を利用した製鋼用アーク炉では、一般的に の電源が用いられるが、電極と被加熱物間できわめて不規則なアーク現象を伴うため、負荷電流の変動が激しく、受電電圧が動揺することで、フリッカ障害を及ぼす場合がある。また、アークの非線形特性により高調波障害の要因となる。その一方、 を電源とするアーク炉はアークが安定しており、フリッカの低減や電極損耗の減少などの利点がある。

< 及び の解答群 >

ア マイクロ波	イ 高周波	ウ 商用周波数
エ 直流	オ マグネトロン	カ 真空管発振器

2) 真空中で陰極より放出された電子を電界で加速することで得られる電子流を物体に衝突させると、電子はそのエネルギーを放出する。それにより、分子、原子の振動エネルギーを増大させ、物体を局部的に急速に加熱させるのが 加熱である。この加熱方式では、高いエネルギー密度が得られ、精密な位置制御が行えるなどの特徴から、高融点金属の溶解、自動車部品などの低ひずみが要求される溶接、金属やセラミックの などに利用される。

< 及び の解答群 >

ア プラズマ	イ レーザ	ウ 電子ビーム
エ メッキ	オ 微細加工	カ 溶射

(2) 電気加熱設備の省エネルギーについて考える。

1) 加熱設備では、耐火材、断熱材、保温材が使用目的によって適宜組み合わせて利用される。省エネルギーの観点から、断熱材として 及び が小さい材料を使用するのが望ましい。このような材料としてセラミックファイバが適している。特に間欠操業の設備においては、 が大きいと蓄熱に要するエネルギーの比率が高まり、エネルギー損失につながることになる。

< 及び の解答群 >

- | | | |
|--------|--------|--------|
| ア 色温度 | イ 温度係数 | ウ 熱抵抗率 |
| エ 熱伝導率 | オ 熱容量 | |

2) 電気加熱の設備を高電力化することで、加熱や溶解に要する時間を短くすると、相対的に が減少するので省エネルギーとなる。ただし、大容量の負荷では、配電線の損失を少なくすることが重要である。そのため、負荷と電源の距離を短くすることや、もし変えられるのであれば、負荷の はできるだけ高くして、電圧を上げ電流を少なくすることが望ましい。

< 及び の解答群 >

- | | | |
|----------|-----------|-------|
| ア アドミタンス | イ インピーダンス | ウ 顕熱 |
| エ 潜熱 | オ 熱損失 | カ 変動率 |

問題 10 は次の頁に続く

(3) 入力端における電力が 380 kW 一定で運転され、1 時間当たり 850 kg の被加熱物を加熱処理している連続式誘導加熱炉がある。被加熱物は、炉入口温度 25℃、炉出口温度 1200℃ で均一に加熱処理されている。また、この加熱炉は熱的に安定した状態で、熱損失は 54 kW で一定である。

1) 被加熱物である金属の単位質量当たりの加熱正味熱量が 0.27 kWh/kg の場合、この加熱炉の電気効率は [%] である。

2) この加熱炉で、1 時間当たりの処理量を 900 kg に増加したい。そのための手段として、次の二つの方法を考えてみる。なお、いずれの場合も電気効率及び熱損失は変わらないものとする。

i) 被加熱物の炉出入口の温度条件を変えずに、電源設備容量を変更する方法によるときは、入力端の電力を [kW] に増加すればよい。

ii) 加熱炉の入力端における電力 380 kW 一定は変えずに、被加熱物の予熱を行う方法によるときは、加熱炉に入れる被加熱物の初期温度を [℃] に予熱すればよい。

< ~ の解答群 >

ア 61	イ 67	ウ 70	エ 75	オ 90	カ 150
キ 358	ク 398	ケ 402			

(電気化学－選択問題)

問題11 次の各文章の 1 ～ 12 の中に入れるべき最も適切な字句等をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。

- (1) 電気化学システムにおいて、電流 I が流れた時の反応化学種のモル数 n 、時間 t の関係は次のように表される。

$$\frac{dn}{dt} = \frac{I}{zF} \text{ [mol/s]} \quad \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

z : 生成物 1 mol 当たりの反応電子数

F : ファラデー定数

- 1) この式①の左辺は、電極反応の 1 を表す。電流値 0 の見かけ上なにも変化の起こっていない平衡電位を E_{eq} 、実際の電極電位を E とすると、その差である過電圧 η は、 $\eta = E - E_{\text{eq}}$ で表される。電流 I の絶対値は、 η の絶対値が大きい方が大きくなり、 E が E_{eq} より大きいと 2 反応が起こる。

〈 1 及び 2 の解答群 〉

ア 還元 イ 酸化 ウ 速度 エ 力 (ちから) オ 量

- 2) 電解質溶液の抵抗は、金属の抵抗が「長さ 3 」するのと同じように取り扱うことができる。

〈 3 の解答群 〉

ア と断面積に比例 イ に比例、断面積に反比例 ウ に反比例、断面積に比例

問題 11 は次の頁に続く

- (2) 化学電池とは、化学反応で生じるエネルギーを直接電気エネルギーに変換して放電する装置である。電池の性能を表す用語として、4 電圧は電池の表示に用いる電圧、5 は放電終止電圧までに得られた電気量と活物質の量から予想される理論容量の比率である。

＜ 4 及び 5 の解答群 ＞

- | | | | |
|--------|-------|------|--------|
| ア 開路 | イ 閉路 | ウ 公称 | エ 電圧効率 |
| オ 電流効率 | カ 利用率 | | |

- (3) 鉛蓄電池は 100 年以上の歴史を持ち、自動車の起動用などに使われる。ここでは、鉛蓄電池について考える。なお、ファラデー定数 F を $26.80 \text{ A} \cdot \text{h/mol}$ 、鉛の原子量を 207.2、酸素の原子量を 15.999 とする。

- 1) 鉛蓄電池の負極活物質は鉛 (Pb)、正極活物質は 6 であり、放電で生成するのは正極、負極とも 7 である。

＜ 6 及び 7 の解答群 ＞

- | | | |
|--------------|----------------------------|--|
| ア 一酸化鉛 (PbO) | イ 二酸化鉛 (PbO ₂) | ウ 硝酸鉛 (Ⅱ) (Pb(NO ₃) ₂) |
| エ 硫化鉛 (PbS) | オ 硫酸鉛 (PbSO ₄) | カ 硫酸鉛 (Pb ₂ SO ₄) |

- 2) 鉛蓄電池の 25℃ での理論的な開路電圧 U [V] は、次式で表される。ここで、 $a_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ は硫酸の活量、 $a_{\text{H}_2\text{O}}$ は水の活量である。

$$U = 2.041 + 0.0591 \log \frac{a_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{a_{\text{H}_2\text{O}}} \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

- i) $\frac{a_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{a_{\text{H}_2\text{O}}} = 0.1$ とすれば、式②より開路電圧 U は 8 [V] である。

＜ 8 の解答群 ＞

- | | | | |
|--------|--------|--------|--------|
| ア 1.98 | イ 2.04 | ウ 2.10 | エ 2.63 |
|--------|--------|--------|--------|

ii) この電池は、放電すると電解液の濃度が低くなるので、抵抗は なる。

＜ の解答群 ＞

ア 大きく イ 小さく ウ 一定と

iii) 電池の容量はファラデーの法則に従うので、理論的には活物質量を 2 倍にすると、電池の容量は 倍になる。

＜ の解答群 ＞

ア $\frac{1}{2}$ イ $\sqrt{2}$ ウ 2 エ 4

3) いま、負極活物質の Pb の質量を 100 g とすると、化学量論的に必要な正極活物質の質量は [g]、理論容量は [A·h] である。

＜ 及び の解答群 ＞

ア 12.6 イ 25.9 ウ 30.9 エ 108 オ 115 カ 123

(照明－選択問題)

問題 12 次の各文章の ～ の中に入れるべき最も適切な字句等をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。

(1) 照明用の各種光源には次のような特徴がある。

1) 白熱電球のソケットに直接取り付けられる電球形 LED ランプは、発光効率が高く省エネ性の高い光源である。

i) 製品の定格寿命は一般的には 時間程度であり、白熱電球を使う時よりも交換頻度がかなり低くなる。

＜ の解答群 ＞

ア 2 000

イ 6 000

ウ 40 000

ii) 光源色は電球色だけでなく、相関色温度が [K] の昼白色の製品もある。

＜ の解答群 ＞

ア 3 000

イ 5 000

ウ 6 700

2) 放電現象を利用した光源としては、低圧水銀蒸気を利用した蛍光ランプや HID (高輝度放電) ランプの一種でメタルハライドランプなどがある。蛍光ランプは発光効率が比較的高いが、周囲温度が 5℃ などの低い環境下では、 という短所がある。代表的なメタルハライドランプとしては Sc-Na (スカンジウム・ナトリウム) 系のものがあり、このランプも発光効率は高いが平均演色評価数は 程度である。ただし、街路灯など屋外で用いるのには問題ないレベルと考えられる。

＜ 及び の解答群 ＞

ア 70

イ 80

ウ 90

エ 光色の青味が増す

オ 光束が低下する

カ 表面輝度が高くなる

(2) 光束法を用いて、次に示す条件で被照面の照明計算を行う。

間口 24m、奥行き 18m、天井面高さ 2.8m の直六面体の部屋に、1 台当たりの器具光束が 3750 lm の LED 照明器具を 136 台 設置する。被照面は床面から 80 cm の高さとし、その条件下での固有照明率は 0.74、保守率は 0.82 とする。

1) 被照面の照度計算に用いる室指数は である。

2) 保守率を考慮した被照面の平均照度は [lx] と計算される。

〈 及び の解答群 〉

ア 0.19 イ 2.6 ウ 5.1 エ 720 オ 870 カ 1070

(3) 一辺の長さが 40 cm で正方形の片側発光面を持つ照明器具がある。この発光面が、 2800 cd/m^2 の輝度で均等拡散面であると仮定したときの照明器具の全光束、光度、照度及び輝度を求める。ただし、円周率は 3.14 とする。

1) この照明器具の全光束は [lm] である。

2) この照明器具の発光面を垂直に見た場合の光度は [cd] である。

〈 及び の解答群 〉

ア 450 イ 890 ウ 1400 エ 5600 オ 14000 カ 35000

3) この照明器具の発光面を鉛直下向き方向としたとき、3 m 直下の法線面照度は [lx] である。

4) この照明器具の発光面を、正面 (0°) に対して 60° 斜め方向から見たときの輝度は [cd/m^2] である。

〈 及び の解答群 〉

ア 50 イ 149 ウ 310 エ 2000 オ 2400 カ 2800

(空調調和 - 選択問題)

問題 13 次の各文章及び図の 1 ～ 10 の中に入れるべき最も適切な字句等をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。

(I) 図 1 は、蒸気圧縮式冷凍機やヒートポンプにおける冷凍サイクルの行程を $P-h$ 線図に示したものである。ここで、 P は循環冷媒の圧力、 h は比エンタルピーを示す。また、 $A \sim D$ は冷媒の状態点を示す。

1) 図 1 の $A \rightarrow B$ は 1 工程、 $B \rightarrow C$ は 2 工程、 $C \rightarrow D$ は 3 工程、 $D \rightarrow A$ は 4 工程を示している。

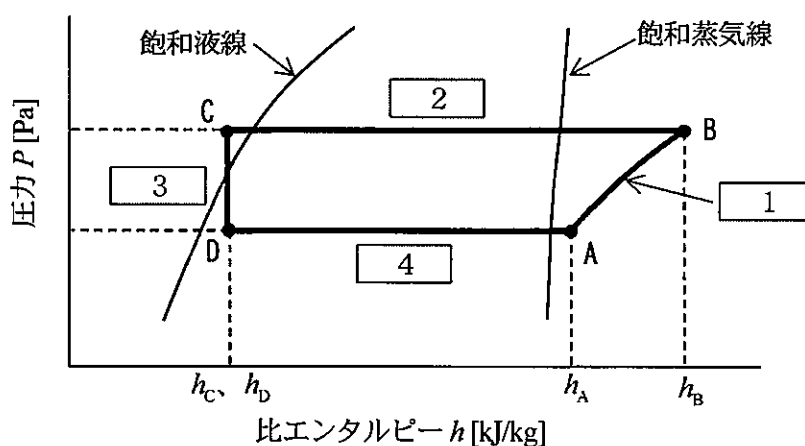


図 1 冷凍サイクル

< 1 ～ 4 の解答群 >

ア 圧縮

イ 凝縮

ウ 蒸発

エ 膨張

2) 冷房運転時の COP は、図の各点の比エンタルピーを用いて次のように表すことができる。

$$\text{COP (冷房)} = \frac{\text{5}}{\text{6}}$$

< 5 及び 6 の解答群 >

ア $h_A - h_D$

イ $h_B - h_A$

ウ $h_B - h_C$

エ $h_C - h_D$

- (2) 図2のような、取入れ外気と室内からの還気を一定比率で混合した空気を、冷水コイルで冷却除湿した後に冷房対象室へ送風する空調機がある。各点の温湿度や風量・流量等は図2に示すとおりである。ここで、空気の密度は $1.2 \text{ kg(DA)}/\text{m}^3$ 、比熱は $1.0 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 、また水の密度は 1.0 kg/L 、比熱は $4.19 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ とする。なお、 kg(DA) は乾き空気の質量を表す。

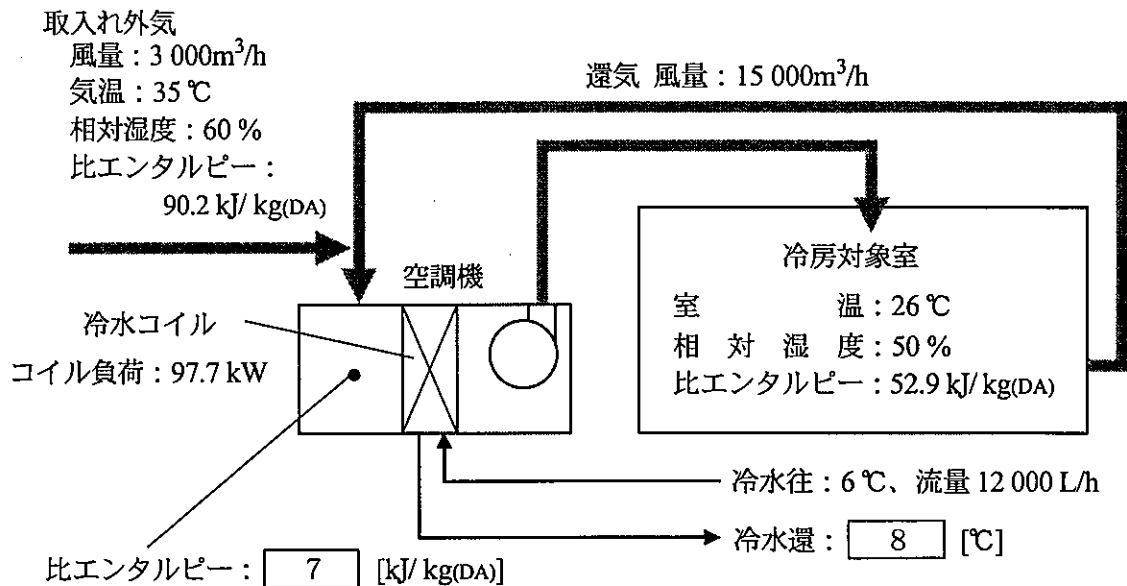


図2 空調システム

- 1) 冷水コイル入口の、還気と取入れ外気を混合した空気の比エンタルピーは、 $[\text{kJ}/\text{kg(DA)}]$ となる。

< の解答群 >

ア 55.5 イ 59.1 ウ 68.3 エ 82.2

- 2) 冷水コイルで処理した冷却負荷が 97.7 kW のとき、冷水コイルの出口水温は $[\text{℃}]$ になる。

< の解答群 >

ア 11.5 イ 12.0 ウ 13.0 エ 13.5 オ 14.0

問題 13 は次の頁に続く

(3) 空調負荷の低減対策として、まず室内の温湿度の適切な設定があり、貫流熱負荷の低減には断熱強化、日射熱負荷の低減には熱線反射ガラスやブラインド・庇^{ひさし}の設置などがある。また、外気負荷の低減対策には、取入れ外気量の適正化、空調立ち上がり運転時の外気カットなどがある。

負荷には顕熱負荷と潜熱負荷があり、前述の貫流熱負荷及び日射熱負荷は による負荷であり、また外気負荷は による負荷である。

＜ 及び の解答群 ＞

ア 顕熱のみ

イ 潜熱のみ

ウ 顕熱と潜熱の両方

(空 白)

(表紙からの続き)

● 解答上の注意

1. 問題は全て、、 … で示す設問番号付きの空欄の中に当てはまる字句等(字句、数値、式、記述、図、グラフ等を含む)を、該当する解答群から選択する形式であり、一つの設問に対する正答は唯一である。数値を答える設問で「約」や「程度」が付されている場合も、正しい値に最も近い値のみを正答とする。
2. 、 … で示す設問のうち、同じ設問番号付きの空欄が複数箇所ある場合は、同じ設問番号の正答は同じ字句等である。
3. 一つの解答群から同じ字句等を2回以上用いてよい場合は、当該の設問においてその旨が明記されている。
4. 問題の解答は、該当する解答群の字句等から正答を選択し、選択した字句等に付された「ア」、「イ」、「ウ」…の記号を答えるものとし、答案用紙(マークシート)の該当欄のその記号を正しく塗りつぶすこと。解答用紙に記載されている定められた方法で塗りつぶさないと採点されないことがあるので注意すること。
5. 数値計算の結果を解答群から選択する問題において示されている正答は、次の「数値計算における正答となる値の導出手順」に従って計算した値である。有効数字を確保しないと、計算結果が正答と完全には一致しない場合もあり得ることに注意すること。

● 数値計算における正答となる値の導出手順

1. 原則として十分に大きい有効桁数を確保した値を用いて計算した最終結果の数値を、解答群に示されている数値の最小位の一つ下の位で四捨五入した値とする。
2. 問題文中で与条件として示されている数値については、記載してある位より下の位は「0」であるものとし、十分に有効桁数が確保されているものとして扱う。例えば、2.1 kg の 2.1 は、2.100…と考える。
3. すでに解答した数値を用いて次の設問以降の計算を行う場合は、解答群にある四捨五入後の数値を用いるのではなく、四捨五入前の十分に大きい有効桁数を確保した値を用いる。