

電気分野
専門区分

課目Ⅳ 電力応用

試験時間 14:00～15:50 (110分)

3時限目

必須 問題11, 12 電動力応用

1～10 ページ

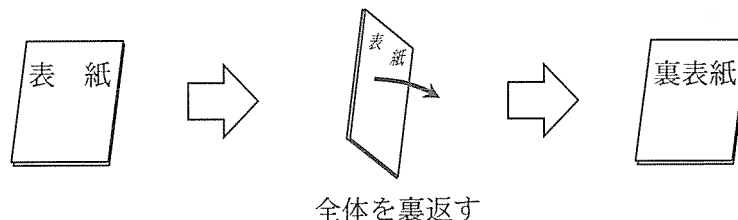
次の問題13から問題16までは、4問題中2問題を選択して解答すること。

選択 問題13	電気加熱	} 2問題を選択	13～15 ページ
選択 問題14	電気化学		17～18 ページ
選択 問題15	照明		19～21 ページ
選択 問題16	空気調和		23～26 ページ

I 全般的な注意

1. 試験開始の指示があるまで、この問題冊子の中を見ないこと。
2. 試験中に問題の印刷不鮮明、冊子のページの落丁・乱丁などに気付いた場合は、係の者に知らせること。
3. 問題の解答は答案用紙（マークシート）に記入すること。
4. 答案用紙の記入に当たっては、答案用紙に記載の「記入上の注意」に従うこと。「記入上の注意」に従わない場合には採点されない。該当欄以外にはマークや記入をしないこと。
5. 問題冊子の余白部分は計算用紙などに適宜利用してよい。
6. 試験終了後、問題冊子は持ち帰ること。

解答上の注意は、裏表紙に記載してあるので、この問題冊子全体を裏返して必ず読むこと。



指示があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
問題の内容に関する質問にはお答えできません。

(電動力応用)

問題 11 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。なお、 は複数箇所あるが、同じ記号が入る。(配点計 50 点)

(1) 汎用インバータ装置の構成と制御方式について考える。

1) インバータは を に変換する半導体電力変換器の総称である。回路方式や制御方式には種々のものがあるが、中小容量のかご形誘導電動機の可変速駆動に用いられる実際の汎用インバータ装置は、図 1 のように整流器部とインバータ部の構成になっている。図 1 は、インバータ部において半導体スイッチに を用いた インバータを示している。

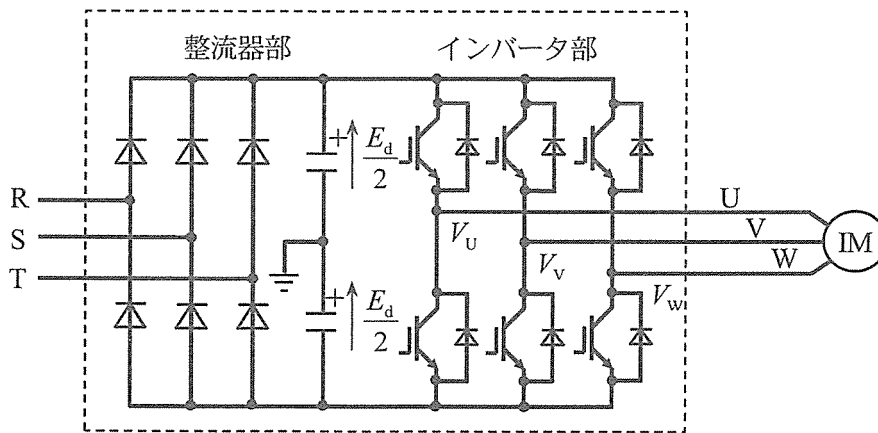


図 1 汎用インバータ装置

< ~ の解答群 >

- | | | |
|------------|-----------|---------|
| ア IGBT | イ MOS-FET | ウ サイリスタ |
| エ ダイオード | オ 交流電力 | カ 直流電力 |
| キ 中性点クランプ形 | ク 電圧形 | ケ 電流形 |

2) インバータの制御には、 制御方式が多く採用されている。図 2 は、この方式により制御したときの動作波形を示したものである。図 2 (a) に示す三角波のキャリア信号 e_s と各相の電圧指令 e_{0u} 、 e_{0v} 及び e_{0w} を比較し、電圧指令がキャリア信号よりも 場合には図 1 の上側の半導体スイッチをオン、 場合には図 1 の下側の半導体スイッチをオンさせる

ことにより、図 2 (b) に示すような各相の出力電圧波形 V_U 、 V_V 及び V_W が得られる。電圧波形にはキャリア周波数に関係した高調波成分が多く含まれるが、誘導電動機の [8] のフィルタ作用により、電動機にはほぼ正弦波の電流が流れる。したがって、通常は電圧波形の基本波のみを考えればよい。キャリア周波数が高いほど、電動機電流は正弦波に近づく。

図 1 に示す、半導体スイッチに [3] を用いたインバータ装置では、キャリア周波数を [9] 程度まで高くすることが可能で、低騒音化も実現されている。

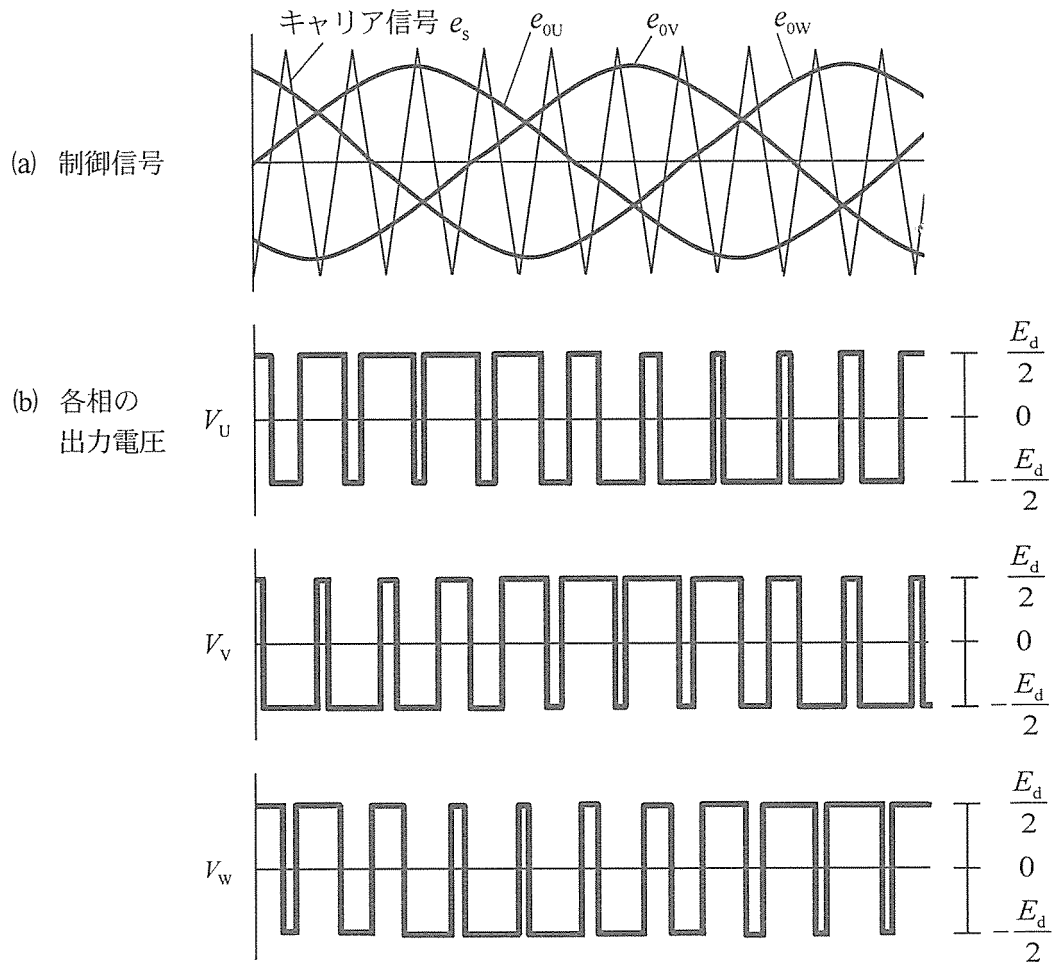


図 2 インバータの動作波形

< [5] ~ [9] の解答群 >

- | | | | |
|-------------|----------|-----------|-------------|
| ア 150 Hz | イ 15 kHz | ウ 150 kHz | エ PAM |
| オ PDM | カ PWM | キ 一次抵抗 | ク 浮遊キャパシタンス |
| ケ 漏れインダクタンス | コ 高い | サ 低い | |

問題 11 は次の頁に続く

(2) 図3は水平な直線軌道上を移動する運搬用電気車両のモデルを表す。この車両は、四つの車輪が二つの車軸で連結され、うち一つの車軸には減速機が備えられている。減速機には電動機が接続されており、蓄電池から電動機へ電力が供給されている。

減速機の減速比を $1:n$ とするとき、車軸並びに車輪の回転角速度 ω [rad/s] は、電動機の実出力軸の回転角速度 ω_M [rad/s] に関して $\omega = \frac{1}{n} \omega_M$ と表される。電動機へ供給される電流を I [A]、電動機のトルク定数を K [N·m/A] とするとき、電動機の入力トルクは $K \cdot I$ [N·m] と表される。

このモデルにおいて、すべての構成要素の合算質量を車両質量 M [kg] とし、回転運動するすべての要素（電動機の回転子及び出力軸、減速機の構成要素、車輪など）全体の慣性モーメント（車軸換算）を J [kg·m²] として考える。

また、車両の走行時に発生する摩擦として、電動機及び減速機内部で生じる粘性摩擦を考慮し、粘性摩擦トルク τ [N·m] を考える。このとき、 τ は車軸の回転角速度 ω に比例するものとみなして、 $\tau = D\omega$ と表す。ここで係数 D は正の定数とする。車輪と軌道の接触点において滑りは生じないものとし、前記の粘性摩擦以外の摩擦や抵抗は無視する。

この車両に関して、図4の電流パターンを供給して運転し、図5の車軸の回転角速度パターンで走行させた場合について考える。

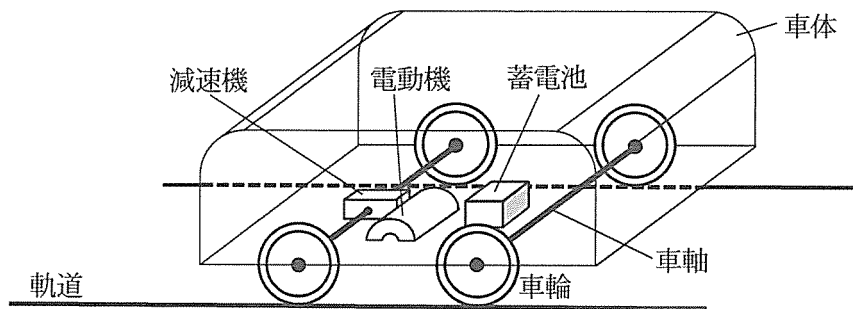


図3 運搬用電気車両のモデル

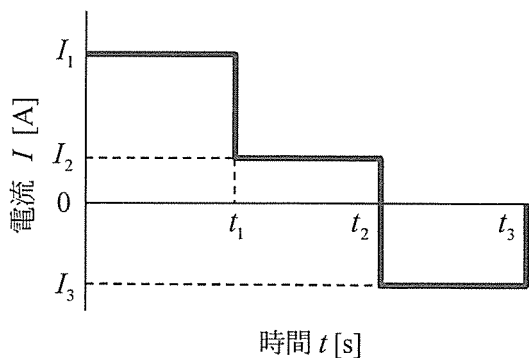


図4 電流パターン

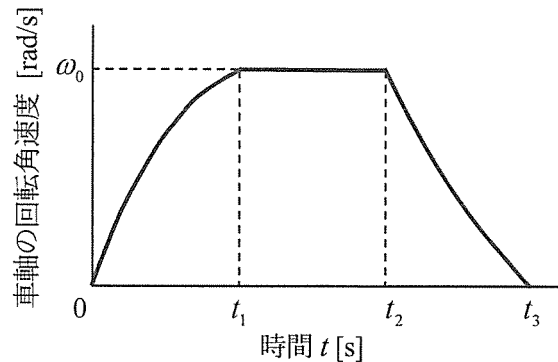


図5 車軸の回転角速度パターン

1) 走行時にこの車両の持つ運動エネルギーについて、直線運動と回転運動に分けて考える。

車両が一定速度 v_0 [m/s] で走行しているとき、質量 M の車両全体が持つ直線運動による運動エネルギーは [J] である。また、車輪の半径を a [m] とすると、このときの車軸の回転角速度は [rad/s] であるから、回転運動する要素が持つ回転運動による運動エネルギーは [J] である。

< ~ の解答群 >

- | | | | |
|---------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------|
| ア av_0 | イ $\frac{a}{2}v_0$ | ウ $\frac{1}{a}v_0$ | エ $\frac{a}{2}v_0^2$ |
| オ Mv_0 | カ $\frac{1}{2}Mv_0$ | キ Mv_0^2 | ク $\frac{1}{2}Mv_0^2$ |
| ケ $\frac{1}{a}Jv_0$ | コ $\frac{1}{2a}Jv_0$ | サ $\frac{a}{2}Jv_0^2$ | シ $\frac{1}{2a^2}Jv_0^2$ |

2) この車両について、車軸に関する運動方程式は、回転角加速度 $\dot{\omega}$ [rad/s²] を用いて次式で表される。

$$(J+a^2M)\dot{\omega} = nKI - D\omega \quad \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

ここで、この車両を図4に示す電流パターンに従い、車両の初速を 0 m/s として、 $0 \leq t \leq t_1$ で一定電流 I_1 [A] を電動機へ与えるとき、式①に基づけば、この間の車軸の回転角速度は、自然対数の底 e を用いて次式で求められる。

$$\omega = \frac{nK}{D}I_1 \left\{ 1 - e^{-\left(\frac{D}{J+a^2M}t\right)} \right\} \quad \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

式①と式②を踏まえると、 $t = 0$ [s] における車軸の回転角加速度は [rad/s²] である。また、 $t_1 \leq t \leq t_2$ で車軸の回転角速度 ω_0 [rad/s] で等速走行するので、その間に供給される電流 I_2 は、式 $I_2 = \text{}$ [A] と求めることができる。

< 及び の解答群 >

- | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| ア $\frac{nK}{D}I_1$ | イ $\frac{D}{nK}I_1$ | ウ $\frac{J}{nK}I_1$ | エ $\frac{nK}{J+a^2M}I_1$ |
| オ $\frac{nK}{D}\omega_0$ | カ $\frac{D}{nK}\omega_0$ | キ $\frac{J}{nK}\omega_0$ | ク $\frac{nK}{J+a^2M}\omega_0$ |

問題 11 は次の頁に続く

3) $t_2 \leq t \leq t_3$ の減速時に、負の電流 I_3 [A] を与えて車両を減速・停止させるとき、加速に要する時間 t_1 [s] と減速に要する時間 $(t_3 - t_2)$ [s] が等しいとすると、電流 I_3 の絶対値は電流 I_1 の絶対値より小さい値になる。 $t_2 \leq t \leq t_3$ の回転角速度を一次関数として近似するならば、式①の運動方程式は次式に近似できる。

$$(J + a^2 M) \dot{\omega} = n K' I_3 \quad \dots\dots\dots \textcircled{3}$$

ここで、 K' は正の定数とする。式③を踏まえると、 $t_2 \leq t \leq t_3$ の回転角速度を近似した一次関数は次式で表される。

$$\omega = \boxed{15} \quad \dots\dots\dots \textcircled{4}$$

< $\boxed{15}$ の解答群 >

- | | | | |
|---|---|---|---|
| ア | $\frac{n K'}{D} I_3 (t - t_2) + \omega_0$ | イ | $\frac{n K'}{D} I_3 (t - t_2) - \omega_0$ |
| ウ | $\frac{n K'}{J + a^2 M} I_3 (t - t_2) + \omega_0$ | エ | $\frac{n K'}{J + a^2 M} I_3 (t - t_2) - \omega_0$ |

4) 図5の速度パターンにおいて、 $t = t_2$ [s] の時点で車両が持つすべての運動エネルギーのうちの20%が、 $t = t_3$ [s] で静止するまでに摩擦によって失われ、残りの80%が蓄電池へ回生されたとする。車体の全質量 M を3000 kg、車軸から見た総合的な慣性モーメント J を250 kg·m²、車輪半径 a を0.5 m、 $t = t_2$ の時点での車両速度 v_0 を6 m/s とするならば、蓄電池へ回生された電力量は $\boxed{16}$ [W·h] になる。

< $\boxed{16}$ の解答群 >

- | | | | | | | | |
|---|---|---|----|---|----|---|----|
| ア | 8 | イ | 16 | ウ | 20 | エ | 25 |
|---|---|---|----|---|----|---|----|

(空 白)

(電動力応用)

問題 12 次の各文章の 1 ~ 13 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。なお、6 は複数箇所あるが、同じ記号が入る。(配点計 50 点)

(1) ロープトラクション式エレベータを図 1 に示す加速度のパターンで運転する場合の走行時間や駆動力について検討する。

図 1 では、時間 $t = 0$ [s] でかごが 1 階に停止しており、これを基準としたかごの上昇距離を x [m]、速度を $v = \frac{dx}{dt}$ [m/s]、加速度を $a = \frac{dv}{dt}$ [m/s²] とする。また、乗り心地や安全性の観点から、加速度の範囲を $-1 \text{ m/s}^2 \sim 1 \text{ m/s}^2$ 、加速度の変化率の範囲を $-1 \text{ m/s}^3 \sim 1 \text{ m/s}^3$ に制限し、加速度を上限値及び下限値に維持する時間をそれぞれ T_a [s]、加速度を零として速度を最大値 v_m [m/s] に維持する時間を T_b [s] とする。

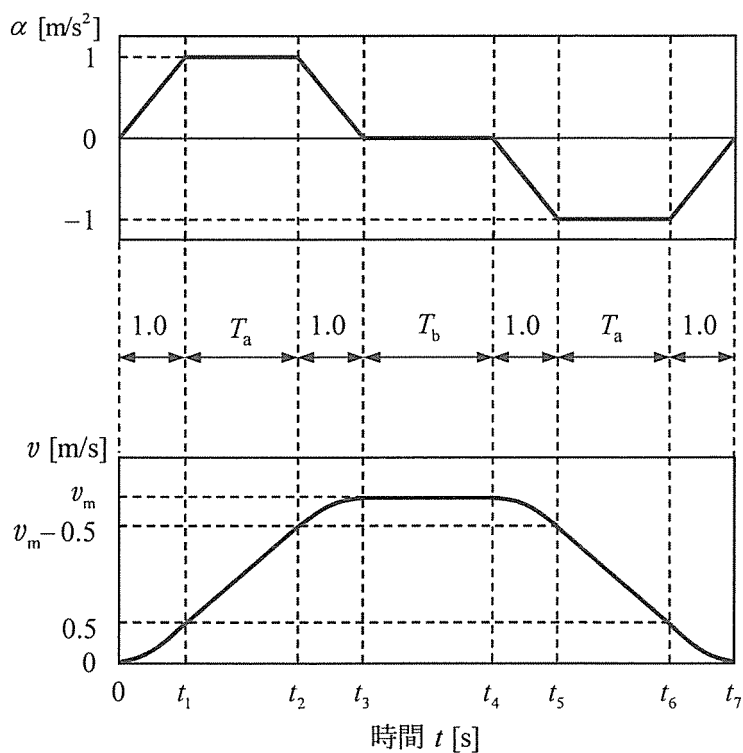


図 1

1) $0 \leq t \leq t_3$ の期間で加速度を積分すると、 $t = t_3$ [s] での速度 v_m となることから、次式が成り立つ。

$$v_m = T_a + 1 \text{ [m/s]} \quad \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

また、停止するまでの上昇距離 x_m は、 $0 \leq t \leq t_7$ の期間で速度を積分することにより、次式で求められる。

$$x_m = \boxed{1} \times v_m \text{ [m]} \quad \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

式①及び式②より、 T_a 、 T_b (いずれも正) により、速度及び上昇距離を調整できることがわかる。なお、 v_m は定格速度 v_N [m/s] に制限され、上昇距離が小さい場合には v_N 以下となる場合がある。

一例として 15 階建のマンションに設置されている定格速度 2 m/s (分速 120 m) の 9 人乗りエレベータを考える。移動距離が 1 階当たり 3 m とすると、1 階から 3 階への上昇距離は 6 m であり、 $T_a=1$ [s]、 $T_b=0$ [s] となることから、走行時間 $t_7=4+2T_a+T_b$ [s] は 6 s と計算される。

同様に、1 階から 15 階に移動する場合は、上昇距離は 42 m であり、走行時間は $\boxed{2}$ [s] と計算される。

< $\boxed{1}$ 及び $\boxed{2}$ の解答群 >

ア 22 イ 24 ウ 25 エ T_a+T_b+1 オ T_a+T_b+2 カ T_a+T_b+4

2) このエレベータは、最大積載質量 600 kg、かごの質量が 1000 kg、つり合いおもりの質量が 1300 kg である。乗車率を h ($0 \leq h \leq 1$) とすると、不平衡質量は $(600h - 300)$ [kg]、可動部全体の質量は $\boxed{3}$ [kg] である。なお、簡略化のため、ロープの質量や走行抵抗などは無視できるものとする。

図 1 より、 $t_1 \leq t \leq t_2$ では加速度が 1 m/s^2 であり、綱車から可動部に供給される駆動力 F [N] を求めると、 $h=1$ の場合には $F = \boxed{4}$ [kN] となる。また、 $t_5 \leq t \leq t_6$ では加速度が -1 m/s^2 であり、 $h=0$ の場合には $F = \boxed{5}$ [kN] となる。なお、重力の加速度を 9.8 m/s^2 とする。

< $\boxed{3}$ ~ $\boxed{5}$ の解答群 >

ア -5.30 イ -5.27 ウ -5.24 エ 5.84 オ 5.87 カ 5.90
 キ $(600h+2300)$ ク $(600h+2600)$ ケ $(600h+2900)$

問題 12 は次の頁に続く

(2) ある工場の送風設備（送風機定格出力 30 kW）において、1 日 24 時間のうち、8 時間は定格風量で運転し、4 時間は定格風量の 80%、12 時間は定格風量の 50% で運転している。送風機の風圧－風量特性、風路の送風抵抗曲線及び送風機効率は次式で表される。

$$h = 1.2n^2 + 0.5nq - 0.7q^2$$

$$r = kq^2$$

$$\eta = 2 \left(\frac{q}{n} \right) - \left(\frac{q}{n} \right)^2$$

ただし、 h [p.u.] は風圧、 n [p.u.] は回転速度、 q [p.u.] は風量、 r [p.u.] は風路の送風抵抗、 η [p.u.] は送風機効率で、いずれも送風機の定格点での値で正規化したものである。係数 k はダンパの開度によって変化する係数であり、全開のときを $k = 1$ とする。

送風機の風圧－風量特性及び風路の送風抵抗曲線を図示すると図 2 のようになる。送風機の定格動作点での効率（実際値）は 75%、送風機を駆動する誘導電動機の効率は動作点によらず 90% である。

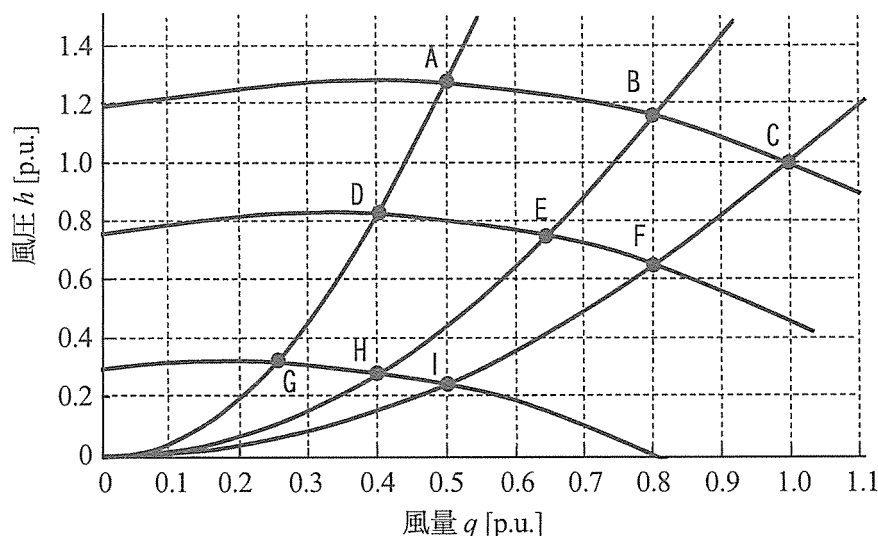


図 2 送風機の風圧－風量特性、送風抵抗曲線

1) ダンパ制御によって風量を制御する場合を考える。誘導電動機を直接三相交流電源に接続し、送風機を定格回転速度 $n = 1$ [p.u.] で運転する。

まず、ダンパが全開のとき、風量は定格風量 $q = 1$ [p.u.] となる。このときの動作点は、図 2 の点 C であり、軸動力は 40 kW、消費電力は 44.44 kW である。

次に、ダンパの開度を調整して定格風量の 80% で運転するとき、動作点は図 2 の点 B である。このときの風圧は 1.15 p.u.、送風機効率は 0.96 p.u. であり、消費電力は 42.7 kW である。

さらに、ダンパ開度を調整して定格風量の 50% で運転するとき、消費電力は 37.8 kW となる。

なお、さらにダンパ開度を絞っていくと、風量や圧力が脈動し、送風機の振動が大きくなり運転できなくなる。この現象を という。この現象が現れる動作点を 限界という。

＜ の解答群 ＞

ア サージング イ ダンピング ウ モーメント

2) 次に、インバータ（効率 95%）による誘導電動機の速度制御を導入し、ダンパを全開にして、送風機の回転速度を変えることで風量を制御する場合を考える。

i) 図2において、風量が定格風量 $q=1$ [p.u.] のときの動作点は点 C、定格風量の 80% のときの動作点は 、定格風量の 50% のときの動作点は である。次に、各動作点における消費電力を算定する。

＜ 及び の解答群 ＞

ア D イ E ウ F エ G オ H カ I

ii) 風量を定格風量 $q=1$ [p.u.] に制御するとき、消費電力は [kW] である。

iii) 風量を定格風量の 80% に制御するとき、回転速度は [p.u.] となり、このときの消費電力は [kW] である。

iv) 風量を定格風量の 50% に制御するとき、消費電力は [kW] となる。

＜ ～ の解答群 ＞

ア 0.25 イ 0.64 ウ 0.75 エ 0.80 オ 1.0 カ 1.3
キ 5.8 ク 24.0 ケ 30.0 コ 33.3 サ 46.8

3) 速度制御を用いた場合の 1 日の消費電力量は、ダンパ制御を用いた場合の 1 日の消費電力量 979.6 kW・h に対して、 [%] であり、省エネルギー効果が確認できる。

＜ の解答群 ＞

ア 45 イ 55 ウ 65 エ 75

(空 白)

選択問題

次の問題 13 から問題 16 までは、4 問題中
2 問題を選択して解答すること。

問題 13 電気加熱

問題 14 電気化学

問題 15 照 明

問題 16 空気調和

(電気加熱－ 選択問題)

問題 13 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。なお、 は複数箇所あるが、同じ記号が入る。(配点計 50 点)

(1) 各種の電気加熱方式の特長について考える。

1) 発熱体からの伝熱を利用して被加熱材を加熱する 方式の炉は、他の電気加熱方式の炉に比べ、 がし易い。

< 及び の解答群 >

- | | | |
|-------------|----------|--------|
| ア 加熱雰囲気温度管理 | イ 急速な加熱 | ウ 溶解 |
| エ 間接抵抗加熱 | オ 直接抵抗加熱 | カ 誘導加熱 |

2) アーク炉におけるアークの電圧・電流・長さの特性は、一般に の実験式で示すことができる。この実験式は、アーク電流の増大につれて、アーク電圧が低下する を示す。

3) マイクロ波加熱や誘電加熱に用いられる電磁波の周波数帯は、電気通信以外の工業などの目的で使用するために国際的に定められた周波数帯である として割り当てられている。

< ～ の解答群 >

- | | | |
|-----------|-----------|-------|
| ア ISM バンド | イ シチズンバンド | ウ 加熱帯 |
| エ エアトン | オ オーム | カ 放電 |
| キ 指数特性 | ク 反限時特性 | ケ 負特性 |

(2) 電気加熱の制御について考える。

1) 電気加熱の温度制御にとって温度計は必要不可欠な計測器である。温度計は、大きく接触式と非接触式に大別され、さらに、それぞれいくつかの種類に分かれている。接触式には、2種類の異種金属導体の両端を接続した閉回路に温度差によって起電力が生じる原理によって温度を計測する [6] などの温度計があり、非接触式には放射温度計などがある。放射温度計にもいくつかの種類があり、[7] はその中の一つである。

< [6] 及び [7] の解答群 >

- | | | |
|------------|---------|---------|
| ア バイメタル温度計 | イ 水銀温度計 | ウ 抵抗温度計 |
| エ 熱電温度計 | オ 光高温計 | |

2) 電気加熱設備のエネルギー原単位は、被加熱材の単位質量当たりの [8] で表される。加熱設備全体で消費されるエネルギーには、通常 [9] が含まれているが、[9] は被加熱材の加熱に寄与しない。エネルギー原単位は消費されるエネルギーの計測点を [10] として、そこでの計測値により評価・管理するのが一般的である。

< [8] ~ [10] の解答群 >

- | | | |
|---------|-------|--------|
| ア 出力端 | イ 入力端 | ウ 炉端 |
| エ 消費電力量 | オ 損失 | カ 伝熱効率 |
| キ 投入電力 | ク 比熱 | ケ 熱容量 |

問題 13 は次の頁に続く

(3) 加熱設備の各種計算を行なう。

1) 質量1000kgの鉄を、25℃から溶解するために必要な熱量は、 $\times 10^5$ [kJ] である。

ここで、鉄の融点は1535℃、比熱は0.435 kJ/(kg·K)、融解潜熱は272 kJ/kg とする。

2) 30分間の加熱時間に被加熱材に与える正味熱量が200kW·hの加熱設備がある。この加熱設備の熱損失が加熱時間の間に20kW·hあり、全電気効率が98%であるとき、この加熱設備の設備入力

$\times 10^2$ [kW] である。

3) 単相交流220V給電の抵抗加熱装置がある。この装置は、抵抗値が R [Ω]の発熱体と 5.0Ω の配線リアクタンスの直列回路で構成されている。この装置の発熱量が最大となるのは、 R の値が

[Ω]のときであり、その発熱量は [kW]である。ただし、電源のインピーダンス及び配線損失は無視できるものとする。

< ~ の解答群 >

ア	1.8	イ	2.3	ウ	2.6	エ	3.4	オ	3.5	カ	4.2
キ	4.5	ク	4.8	ケ	5.0	コ	7.1	サ	9.3	シ	9.7

(空 白)

(電気化学 - 選択問題)

問題 14 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。なお、 及び は複数箇所あるが、それぞれ同じ記号が入る。

また、 ~ に当てはまる数値を計算し、その結果を答えよ。ただし、解答は解答すべき数値の最小位の一つ下の位で四捨五入すること。(配点計 50 点)

(1) 化学反応で生じるエネルギーを電気エネルギーに直接変換する装置を化学電池という。化学電池に該当する一次電池の例として 、二次電池の例として が挙げられる。 の電解質には の水溶液が用いられる。

また、物理変化で生じるエネルギーを電気エネルギーに直接変換する装置を物理電池という。物理電池としては、 などが該当する。

< ~ の解答群 >

- | | | |
|---------------|-------------|-----------|
| ア アルカリマンガン乾電池 | イ リチウムイオン電池 | ウ 水素電池 |
| エ 太陽電池 | オ 白金電池 | カ 燃料電池 |
| キ 塩化アンモニウム | ク 塩化リチウム | ケ 水酸化カリウム |

(2) 電気化学反応と電極電位について考える。

1) 可逆的な系の電気化学セルの開回路電圧である [5] 電圧は正極と負極の電極電位の差である。単極電位、すなわち半電池の [6] は単独に求めることはできないので、電位の基準点を与えるいわゆる [7] を使って求める。水溶液系では、基準電極として [8] が用いられ、それを片側に置き、もう一方の側に対象とする電極を置いたときの電池の [6] を単極の電位と定義する。

< [5] ~ [8] の解答群 >

ア エネルギー	イ 起電力	ウ 電荷	エ 銀電極
オ 作用電極	カ 参照電極	キ 白金電極	ク 標準水素電極
ケ 作動	コ 実	サ 対極	シ 理論

2) 電極反応は電極と電解質の [9] で起こり、この反応速度は [10] を用いて表される。

< [9] 及び [10] の解答群 >

ア エネルギー	イ 電位	ウ 電流密度	エ 外部
オ 内部	カ 界面		

(3) 電気分解におけるファラデーの法則の定数はファラデー定数と呼ばれ、 $96\,500\text{ C/mol}$ であるが、電子 1 個あたりでは、[A | a.bc] $\times 10^{-19}$ [C] である。

例えば、アルミナ (Al_2O_3) を電気分解してアルミニウムを作ることを考え、 3 kA の電流で 15 時間電解反応させたとする、アルミニウムの反応が 3 電子反応であることから、理論的に得られるアルミニウムは、[B | ab.c] [kg] である。実際の電気分解では電流効率を考慮する必要があり、その値が 92% であったとき、得られるアルミニウムは [C | ab.c] [kg] となる。

ここで、アボガドロ定数は $6.02 \times 10^{23}\text{ mol}^{-1}$ 、アルミニウムの原子量は 27.0 とする。

(照明 - 選択問題)

問題 15 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。

また、 $a.b \times 10^c$ ～ ab に当てはまる数値を計算し、その結果を答えよ。ただし、解答は解答すべき数値の最小位の一つ下の位で四捨五入すること。なお、円周率 π は 3.14 とする。

(配点計 50 点)

(1) 近年、照明用光源として LED を導入する事例は年々増加している。経済産業省が公表している 2019 年の機械統計によると、国内で新規に販売された照明器具（自動車用を除く）全体に占める LED 照明器具の台数の割合は、 に達している。これは、LED の省エネルギー性が高く評価され、寿命が長く価格も手頃になってきたことが主な理由である。

光源を評価する特性の中で、省エネルギー性に最も関係の深いものはランプ効率である。LED のランプ効率はこの 20 年間で大幅に向上し、他の光源に対する優位性は明らかである。

その他にも光源を評価する重要な特性として、始動性及び光束安定化特性が挙げられる。

例えば、直管蛍光ランプの場合は、次のような特性を持つ。

- ① 放電を開始するためにランプの両電極間に高電圧を印加する必要がある。
- ② ランプの管内に封入された物質である の蒸気圧によって光束が変化するため、点灯直後の光束は低く、ランプの温度上昇に伴い徐々に増加して安定する。

一方、LED の場合は、次のような特性を持つ。

- ① 固体発光素子であり電源投入からの点灯時間が短い。
- ② LED の温度上昇に伴い光束は 。

< ～ の解答群 >

- | | | |
|----------|----------|-------------|
| ア 約 30 % | イ 約 50 % | ウ 90 % 以上 |
| エ タングステン | オ ナトリウム | カ 水銀 |
| キ やや増加する | ク やや低下する | ケ 変化せず一定である |

(2) 光色が異なる2つの電球形LEDランプ a 及び b の特性を表1に示す。

表1 電球形LEDランプの特性

	定格消費電力 [W]	光色	相関色温度 [K]	全光束 [lm]	平均演色評価数	定格寿命 [h]
a	6.0	昼白色	X	810	83	40000
b	7.2	電球色	2700	810	83	40000

1) 2つの電球形LEDランプのうちの a のランプは昼白色ランプなので、表中の相関色温度の X は約 [K] である。また、2つの電球形LEDランプの平均演色評価数はどちらも 83 である。これは、2つのランプの光色は異なっているが、 という意味である。

2) ある居室で、全てを a のランプを搭載した照明器具あるいは全てを b のランプを搭載した照明器具とし、ランプの寿命末期の 40000 時間において 16000 lm の全光束を確保する条件で、必要台数設置したときの1年間の両者の電力消費量の差について考える。

ここで、二種類の照明器具の器具効率、照明率はいずれも 1 であり、保守率はランプの光束維持率と等しいものとする。寿命末期の 40000 時間における a、b ランプの光束維持率はどちらも 80% であるとし、途中で不点灯になるランプは一切ないものと仮定する。

点灯時間を年間 5000 時間とすると、ランプを a の昼白色とした場合には、ランプを b の電球色とした場合と比べて、1年間で [kW・h] の電力消費量削減となる。

< ~ の解答群 >

ア 150 イ 600 ウ 1200 エ 5000 オ 6700 カ 8000

キ 被照射物が同じ色に見える

ク 被照射物の色のずれの大きさが同程度

ケ 分光分布の形が同じである

(3) 次の 1) ~ 4) の照明計算を行う。ただし、1) 及び 2) では壁面などの反射は考慮しないものとする。

1) 直径 40cm で一様な輝度をもつ円形光源が天井面に水平に設置されている。このとき、円形光源の中心直下で 5m 離れた水平な床面上の P 点の水平面照度が 40 lx であった。この円形光源の光度は $\boxed{A \mid a.b \times 10^c}$ [cd] である。

次に、P 点から床面上で水平に 2m 離れた点の直上 1m の点 Q に新たな点光源を設置して、P 点での水平面照度を 100 lx としたい。必要な光源の光度は $\boxed{B \mid a.b \times 10^c}$ [cd] となる。

2) 幅 2m、長さ 4 m で透過率 20%、吸収率 10% の均等拡散性の布に光が一様に放射されている。このとき、表面の輝度が 200 cd/m² であった。照度は $\boxed{C \mid a.b \times 10^c}$ [lx] となる。

3) 玄関に設置されているポーチ灯の光源を、電力節減のために白熱灯から LED ランプに交換した。各光源の消費電力は、交換前の白熱灯が 40 W、交換後の LED ランプが 5 W であった。照明の使用時間を 1 日当たり 10 時間で 1 年間 365 日使用するとすれば、この交換によって、年間の電気使用料金を $\boxed{D \mid a.b \times 10^c}$ [円] 節約することができる。ただし、電気料金は 23 円/(kW·h) とする。

4) 開口、奥行きともに 10 m で、天井高さ 4.8 m の作業場がある。天井面に照明器具を設置して、床面より 0.8 m 上の作業面の照度を 500 lx にしたい。

表 2 で、隣接した 2 つの室指数間の照明率は比例配分で与えられるものとして作業室の照明率を求めると $\boxed{E \mid a.bc} \times 10^{-1}$ となる。蛍光灯 40 W × 2 灯用下面開放埋込形照明器具を使用するものとすれば $\boxed{F \mid ab}$ [台] 必要になる。ただし、蛍光ランプ 1 本当たりの全光束を 4 500 lm、保守率を 0.67 とする。

表 2

室指数	0.60	0.80	1.00	1.50	2.00
照明率	0.34	0.42	0.48	0.57	0.62

(空 白)

(空気調和 - 選択問題)

問題 16 次の各文章の [1] ~ [18] 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。(配点計 50 点)

(1) 空調設備における熱源機器についての省エネルギーについて考える。

1) 熱源機器選定及び熱源システム構築における省エネルギー

i) 熱源の選定時には、成績係数が大きく、部分負荷効率も高く、年間を通して高効率を維持する機器を選定するのが基本である。例えば、ターボ冷凍機などでは、期間の成績係数を示す指標に [1] があり、この指標を参考に選択することも考えられる。

ii) 立地や負荷条件等に応じて、最適な機器やシステムを選択することも肝要である。例えば、冷暖房負荷が同時発生する頻度が高ければ、その条件を生かして成績係数の向上が期待できる [2] を熱源機器として採用することが考えられる。

iii) 部分負荷時の効率低下を抑える対策としては、機器の [3] によって部分負荷運転を極力少なくするのが効果的であり、同時に補機動力の削減効果も期待できる。蓄熱空調方式の採用により、熱源の部分負荷運転を少なくすることも考えられる。

〈 [1] ~ [3] の解答群 〉

- | | | | |
|---------------|--------|-------------|----------|
| ア COP | イ IPF | ウ IPLV | エ PAL |
| オ インバータターボ冷凍機 | | カ 三重効用吸収冷凍機 | |
| キ 熱回収ヒートポンプ | ク 台数分割 | ケ 台数統合 | コ 容量割り増し |

2) 熱源機器の運転制御における省エネルギー

i) 冷凍機やヒートポンプでは、蒸発温度や凝縮温度によって成績係数が変わるので、成績係数を向上させるためには、求める負荷に対応できる範囲で次の①及び②を検討することが望ましい。

- ① 冷房時の冷水(冷風)温度を [4] こと
- ② 暖房時の温水(温風)温度を [5] こと

ii) 定流量で稼動する負荷変動が大きいターボ冷凍機の省エネルギー運転について、部分負荷時の蒸発温度を上げて年間の消費電力を小さくするための制御として、最も省エネルギーとなる制御は、冷凍機における冷水の入口温度一定制御、出口温度一定制御、出入口温度差一定制御のうち 一定制御である。

〈 ~ の解答群 〉

- | | | |
|--------|--------|--------------|
| ア 入口温度 | イ 出口温度 | ウ 出入口温度差 |
| エ 上げる | オ 下げる | カ 定格条件で一定に保つ |

(2) 空調設備の負荷及び空調方式についての省エネルギーについて考える。

1) 空調設備の省エネルギーでは、まず空調負荷をできるだけ小さくすることから始める。空調室温の設定は負荷を左右する要素であり、環境に配慮した省エネルギー設定とすることが求められている。なお、建築物衛生法では、居室の環境基準の温度基準値を と定めている。

2) 空調の対象エリアの状況に応じた空調方式の選択も省エネルギーのためには必要である。大空間のごく一部が居住域であるときの空調などでは 空気調和設備を選択することで省エネルギー効果が期待できるとされているが、採用の際には冷房時の結露防止について考慮する必要がある。

3) セントラル空調機方式において、風量制御により空調機ファンの動力を削減したい。風量制御方法のうちの回転速度制御、吸込みベーン制御及び吐出しダンパ制御を比較すると、一般に、風量変化に対する動力削減効果が最も大きいのは 制御である。

〈 ~ の解答群 〉

- | | | |
|--------------|----------|----------|
| ア 15～30℃ | イ 17～28℃ | ウ 20～27℃ |
| エ ターミナルレヒート式 | オ デシカント式 | カ 放射型 |
| キ 回転速度 | ク 吸込みベーン | ケ 吐出しダンパ |

問題 16 は次の頁に続く

(3) 換気の必要性和省エネルギーについて考える。

換気とは、工場や業務施設等の室内環境を居住や生産等に適した状態に保つため、室内の空気を外気などの清浄な空気に入れ替えることである。

1) 居室の室内環境基準の一つに CO₂ 濃度がある。CO₂ 濃度を法律で定める許容値以下に保つためには、外気導入による換気が必要不可欠であり、必要な外気導入量は次式で求められる。

$$1 \text{ 人当たりの外気導入量 } [m^3/(h \cdot \text{人})] = \frac{\boxed{10}}{\boxed{11} - \boxed{12}} \times 100$$

換気量は換気回数でも表され、例えば天井高さが 3 m で在室者密度が 0.2 人/m² の居室において、30 m³/(h・人) の外気を導入しているときの換気回数は、換気回数 $\boxed{13}$ [回/h] に相当する。

空調システムでは、導入外気量に相当する量が外部に排気され、残った還気と外気が混合してシステムを循環する。この循環風量は一般に外気量の 3 倍程度である。

一方、工場や研究所では、施設の機能上、汚染物質、燃焼ガス、臭気などの排出があり、業務施設などと比べて排気量が多くなり、必然的に相当する外気導入量も多くなる傾向がある。

< $\boxed{10}$ ~ $\boxed{13}$ の解答群 >

- | | | | |
|--|-----|---|-----|
| ア 0.5 | イ 1 | ウ 2 | エ 5 |
| オ 外気中の CO ₂ 濃度 [%] | | カ 室内の CO ₂ 濃度許容値 [%] | |
| キ 1 人当たりの O ₂ 消費量 [m ³ /(h・人)] | | ク 1 人当たりの CO ₂ 発生量 [m ³ /(h・人)] | |

2) 外気は大きな空調負荷となるため、省エネルギー上は過剰な外気導入を抑制することが求められ、居室の室内環境維持のための外気導入では次のような対策が効果的である。

- i) 居室等の外気導入量の実態を把握し、適正外気量となるよう調整又は制御を行なう。
 - ① 設計値に対して風量が過大、あるいは設計値自体が過大などの状況で、かつ必要外気量が概ね確定・予測できる場合は、 $\boxed{14}$ を手動操作して風量を絞る。
 - ② 在室者が変動する場合などは、CO₂ 濃度制御の導入により自動で外気量の最適化を行なう。
- ii) 支障が少ないと考えられる $\boxed{15}$ は、外気導入を停止する。

〈 14 及び 15 の解答群 〉

- ア 外気取り入れダンパ イ 空調機出口ダンパ ウ 吹出口ダンパ
エ 熱負荷のない時 オ 熱負荷ピーク時 カ 予冷予熱時

iii) 工場や研究所における汚染物質、臭気などの排出を目的とする換気においては、16 の採用などによって給排気量を削減する。

〈 16 の解答群 〉

- ア 局所給排気 イ 高効率ファン ウ 高性能フィルタ

3) 外気導入量を制御するときには、次の点に注意が必要である。

- i) 室内におけるウイルス感染のリスク低減などを目的として、既存の制御に対して外気導入量を増加する必要性が生じる事態も出現している。例えば CO₂ 濃度制御を導入しているときには、室内の CO₂ 濃度設定値を 17 ことで、外気導入量を増加側にシフトすることができる。
- ii) 空調システムの風量制御に 18 制御を用いる場合、外気量は制御単位ごとに送風量に比例して変動するが、必要外気量は必ずしも負荷と比例しないので、外気量不足のエリアが生じる恐れがある。そのような事態を回避するため、外気量補償の方法を考慮する必要がある。

〈 17 及び 18 の解答群 〉

- ア CAV イ CWV ウ VAV エ VWV
オ 上げる カ 下げる

(表紙からの続き)

II 解答上の注意

1. 問題の解答は、該当欄にマークすること。
2.

1

、

2

などは、解答群の字句等(字句、数値、式、図など)から当てはまる記号「ア、イ、ウ、エ、オ・・・」を選択し、該当欄のその記号を塗りつぶすこと。
3.

A	a.bc
---	------

、

B	a.bc×10 ^d
---	----------------------

などは、計算結果などの数値を解答する設問である。a,b,c,dなどのアルファベットごとに該当する数字「0,1,2,3,4,5,6,7,8,9」(ただし、aは0以外とする)を塗りつぶすこと。なお、下位の桁の値が「0」となる場合にも0を塗りつぶすこと。
また、計算を伴う解答の場合は次の(1)～(3)によること。

(1) 解答は解答すべき数値の最小位の一つ下の位で四捨五入すること。

このとき、解答すべき数値を求める過程の計算においても、必要となる桁数には十分配慮し、「解答として最後に四捨五入した数値」が、「解答が求める最小位まで有効な値」となるようにすること。

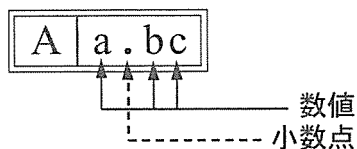
(2) 既に解答した数値を用いて次の問題以降の計算を行う場合も、必要に応じて四捨五入後の数値ではなく、四捨五入前の数値を用いて計算することなど、(1)の計算条件を満足すること。

(3) 問題文中で与えられる数値は、記載してある位以降は「0」として扱い、(1)の「解答は解答すべき数値の最小位の一つ下の位で四捨五入すること。」の計算条件を満足しているものとする。

例えば、2.1 kgの2.1は、2.100...と考える。特に円周率などの場合、実際は $\pi = 3.1415...$ であるが、 $\pi = 3.14$ で与えられた場合は、3.1400...として計算すること。

「解答例1」

(設問)



(計算結果)

6.795...
↓ 四捨五入
6.80

(解答)

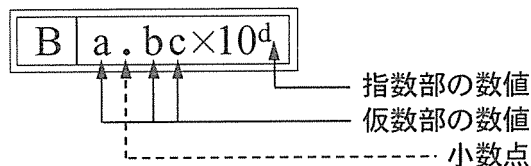
「680」を塗りつぶす



A		
a	b	c
0	0	0
1	1	1
2	2	2
3	3	3
4	4	4
5	5	5
6	6	6
7	7	7
8	8	8
9	9	9

「解答例2」

(設問)



(計算結果)

9.183... × 10²
↓ 四捨五入
9.18 × 10²

(解答)

「9182」を塗りつぶす



B			
a	b	c	d
0	0	0	0
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	5
6	6	6	6
7	7	7	7
8	8	8	8
9	9	9	9