

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

必須 問題11, 12 電動力応用

1～10 ページ

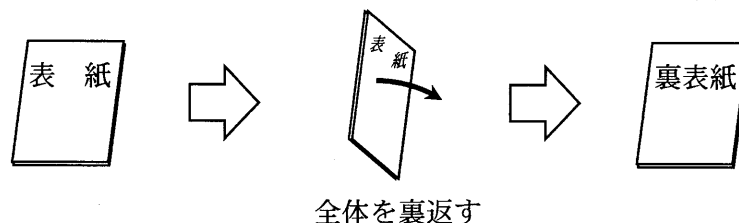
以下の問題13から問題16までは、4問題中2問題を選択して解答すること。

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		17～19 ページ
選択	問題15	照 明		21～24 ページ
選択	問題16	空気調和		25～28 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、数値、式又は記述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)

交流電動機の可変速運転では、電圧、電流の大きさや位相を過渡的に変化させる必要があり、定常状態を対象とした交流フェーザの考え方だけでは不十分である。このため、空間ベクトルを用いた解析が行われるが、以下は永久磁石同期電動機の動作解析を例に、空間ベクトルの考え方を説明したものである。

1) 永久磁石を用いた三相同期電動機(極数 2)において、三相巻線が対象で、インダクタンスが回転子の回転角によらず一定であるとすると、u 相巻線の瞬時電圧  $v_u$  は式①で表すことができる。

ここで、各相の巻線抵抗を  $r$ 、自己インダクタンスを漏れ成分  $l$  と有効成分  $L$  の和  $(l+L)$  と表し、巻線間の相互インダクタンスを  $M$ 、永久磁石による鎖交磁束の最大値を  $\phi$ 、永久磁石による磁束の方向を  $\theta$  (u 相巻線の方向を基準とする) とする。

$$v_u = r i_u + \frac{d}{dt}(l+L) \cdot i_u + \frac{d}{dt}(\phi \cos \theta) + \frac{d}{dt} M \cdot i_v + \frac{d}{dt} M \cdot i_w \quad \dots\dots\dots \text{①}$$

式①は、三相巻線間の相互インダクタンスが  $L \cos \frac{2\pi}{3}$  であること、三相 3 線式では、三つの線電流に関して、式  の関係があることを利用し、瞬時電流  $i_v$ 、 $i_w$  を消去すると式②を得る。

$$v_u = r i_u + \frac{d}{dt}(L_a i_u) + \frac{d}{dt}(\phi \cos \theta) \quad \dots\dots\dots \text{②}$$

ただし、 $L_a = l + \frac{3}{2}L$  とする。

同様の関係式が v 相及び w 相についても成り立つが、巻線の方向が異なるため、式②中の  $\theta$  をそれぞれ  に置き換える必要がある。

三相交流電動機を解析する場合、次式で定義される電圧の空間ベクトル(複素数)が利用される。

$$\mathbf{v}_{\alpha\beta} = \sqrt{\frac{2}{3}} \left( v_u + v_v e^{j\frac{2\pi}{3}} + v_w e^{j\frac{4\pi}{3}} \right) \quad \dots\dots\dots \text{③}$$

u 相に関する式②及び、同様な v 相、w 相の関係式を式③に代入して整理すると、次式となる。

$$\mathbf{v}_{\alpha\beta} = r \mathbf{i}_{\alpha\beta} + \frac{d}{dt}(L_a \mathbf{i}_{\alpha\beta}) + j\omega \phi_m e^{j\theta} \quad \dots\dots\dots \text{④}$$

ただし、電流の空間ベクトル  $i_{\alpha\beta}$  を電圧ベクトルと同様に次式で定義した。

$$i_{\alpha\beta} = \sqrt{\frac{2}{3}} \left( i_u + i_v e^{j\frac{2\pi}{3}} + i_w e^{j\frac{4\pi}{3}} \right) \dots\dots\dots ⑤$$

また、 $\omega = \frac{d\theta}{dt}$ 、 $\phi_m = \sqrt{\frac{3}{2}}\phi$  である。

<  1  及び  2  の解答群 >

- |   |   |   |
|---|---|---|
| ア $i_u + i_v + i_w = 0$                               | イ $i_u + i_v e^{j\frac{2\pi}{3}} + i_w e^{j\frac{4\pi}{3}} = 0$ | ウ $i_u + i_v e^{-j\frac{2\pi}{3}} + i_w e^{-j\frac{4\pi}{3}} = 0$ |
| エ $\theta - \frac{\pi}{6}$ 、 $\theta - \frac{\pi}{3}$ | オ $\theta - \frac{\pi}{3}$ 、 $\theta - \frac{2\pi}{3}$          | カ $\theta - \frac{2\pi}{3}$ 、 $\theta - \frac{4\pi}{3}$           |

問題 11 の 2) ~ 4) は次の 3 頁 ~ 5 頁にある

2) 図に三相巻線方向と、 $\alpha\beta$  軸方向の関係を示す。三相交流電動機の解析では回転磁界に同期して回転する同期回転座標 (dq 軸) が採用されるため、同図にはその dq 軸も示してある。なお、永久磁石による磁束方向を d 軸に一致させている。

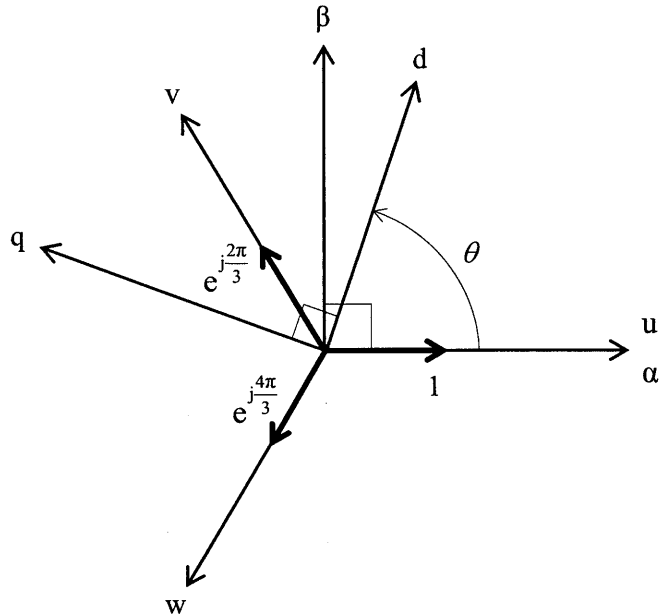


図 座標軸の関係

次に、同期回転座標から見た空間ベクトルを  $v_{dq}$ 、 $i_{dq}$  と表すと、静止座標 ( $\alpha\beta$  座標) から見た空間ベクトル  $v_{\alpha\beta}$ 、 $i_{\alpha\beta}$  との間には次の関係が成り立つ。

$$v_{\alpha\beta} = v_{dq} e^{j\theta}, \quad i_{\alpha\beta} = i_{dq} e^{j\theta} \quad \dots\dots\dots ⑥$$

式④に式⑥の関係を代入して整理し、両辺に  $e^{-j\theta}$  を乗じると、次の結果を得る。

$$v_{dq} = r i_{dq} + \boxed{3} + j\omega\phi_m \quad \dots\dots\dots ⑦$$

<  $\boxed{3}$  の解答群 >

ア  $\left(\frac{d}{dt} + j\omega\right)(L_a i_{dq})$

イ  $\left(\frac{d}{dt} + \omega\right)(L_a i_{dq})$

ウ  $\left(\frac{d}{dt} - \omega\right)(L_a i_{dq})$

3) ここまでは、巻線のインダクタンスが回転角に依存しないとしたが、広く用いられている埋込永久磁石形三相同期電動機では、インダクタンスの大きさが磁束の方向に依存する。

d 軸方向のインダクタンスを  $L_d$ 、q 軸方向のインダクタンスを  $L_q$  とすると、永久磁石を挿入するために、d 軸方向の等価的なギャップ長が大きくなり、4 ことになる。この場合には、式⑦の中の  $L_a \dot{i}_{dq}$  を  $L_d i_d + jL_q i_q$  で置き換える必要がある。この置き換えとともに、 $\dot{i}_{dq} = i_d + j\dot{i}_q$ 、 $v_{dq} = v_d + jv_q$  として、式⑦より  $v_d$ 、 $v_q$  を求めると次の結果が得られる。

$$v_d = r i_d + L_d \frac{d}{dt} i_d + \text{5} \dots\dots\dots \text{⑧}$$

$$v_q = r i_q + L_q \frac{d}{dt} i_q + \text{6} \dots\dots\dots \text{⑨}$$

< 4 ~ 6 の解答群 >

- |                               |                               |                                |
|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| ア $\omega L_q i_q$            | イ $(-\omega L_d i_d)$         | ウ $(-\omega L_q i_q)$          |
| エ $\omega (L_d i_d + \phi_m)$ | オ $\omega (L_q i_q + \phi_m)$ | カ $\omega (-L_q i_q + \phi_m)$ |
| キ $L_d$ と $L_q$ は等しい          | ク $L_d$ が $L_q$ より小さい         | ケ $L_q$ が $L_d$ より小さい          |

問題 11 の 4) は次の 5 頁にある

4) 空間ベクトル  $\mathbf{i}_{dq}$  と  $\mathbf{v}_{dq}$  の内積 ( $\mathbf{i}_{dq} \cdot \mathbf{v}_{dq}$  と表す) を式⑧及び式⑨の関係を用いて計算することができる。

$$\begin{aligned} \mathbf{i}_{dq} \cdot \mathbf{v}_{dq} &= i_d v_d + i_q v_q \\ &= r(i_d^2 + i_q^2) + \boxed{7} - \omega(L_q - L_d) i_d i_q + \omega \phi_m i_q \quad \dots\dots\dots ⑩ \end{aligned}$$

一方、この内積については、式③及び式④の定義式、及び1)で求めた  $i_u$ 、 $i_v$ 、 $i_w$  間の関係式を用いて次の結果を得る。

$$\mathbf{i}_{dq} \cdot \mathbf{v}_{dq} = \mathbf{i}_{\alpha\beta} \cdot \mathbf{v}_{\alpha\beta} = i_u v_u + i_v v_v + i_w v_w \quad \dots\dots\dots ⑪$$

すなわち、 $\mathbf{i}_{dq} \cdot \mathbf{v}_{dq}$  は三相全体の入力電力に相当する。この点を考慮して、式⑩を見ると、銅損となる右辺第一項と、磁気エネルギーの変化に相当する第二項を除く第三項及び第四項が機械的出力となる。電動機の極数が2の場合、回転角速度が  $\omega$  であることから、電動機のトルクは次式で与えられる。

$$\tau = \boxed{8} \quad \dots\dots\dots ⑫$$

もし、極数が  $2P$  (極対数が  $P$ ) の場合には、機械系の回転角速度が  $\frac{\omega}{P}$  となることから、電動機のトルクは式⑫の  $\boxed{9}$  倍となる。

電流の大きさ  $\sqrt{i_d^2 + i_q^2}$  が同じ条件で、トルクを最大とする  $i_d$  と  $i_q$  の関係はラグランジュの未定乗数法を用いて求めることができるが、その結果は次式で与えられる。

$$i_d = \frac{\phi_m}{2(L_q - L_d)} - \sqrt{\left\{ \frac{\phi_m}{2(L_q - L_d)} \right\}^2 + i_q^2} \quad \dots\dots\dots ⑬$$

このように  $i_q$  の大きさに応じて、適切な大きさの負の  $i_d$  を流すことにより、銅損を低減して電動機の効率を改善することができる。また、同じ定格電流に対し、より大きなトルクを発生できる。さらに、負の  $i_d$  は減磁運転を行って式⑨の  $q$  軸電圧を下げることになり、インバータの出力電圧の飽和が問題となる  $\boxed{10}$  時の運転領域を拡大できる利点もある。

<  $\boxed{7}$  ~  $\boxed{10}$  の解答群 >

- |   |  |  |
|---|--|--|
| ア 2                                     | イ $P$  | ウ $\frac{1}{P}$  |
| エ $\{\phi_m + (L_q - L_d) i_q\} i_d$    | オ $\{\phi_m + (L_q - L_d) i_d\} i_q$                                 | カ $\{\phi_m - (L_q - L_d) i_d\} i_q$                               |
| キ $\frac{d}{dt}(L_d i_d^2 + L_q i_q^2)$ | ク $\frac{d}{dt} \left\{ \frac{1}{2}(L_d i_d^2 + L_q i_q^2) \right\}$ | ケ $\frac{d}{dt} \left\{ \frac{1}{2}(L_d i_d + L_q i_q)^2 \right\}$ |
| コ 低速                                    | サ 始動   | シ 高速   |

(空 白)

(電動力応用)

問題 12 次の各問に答えよ。(配点計 50 点)

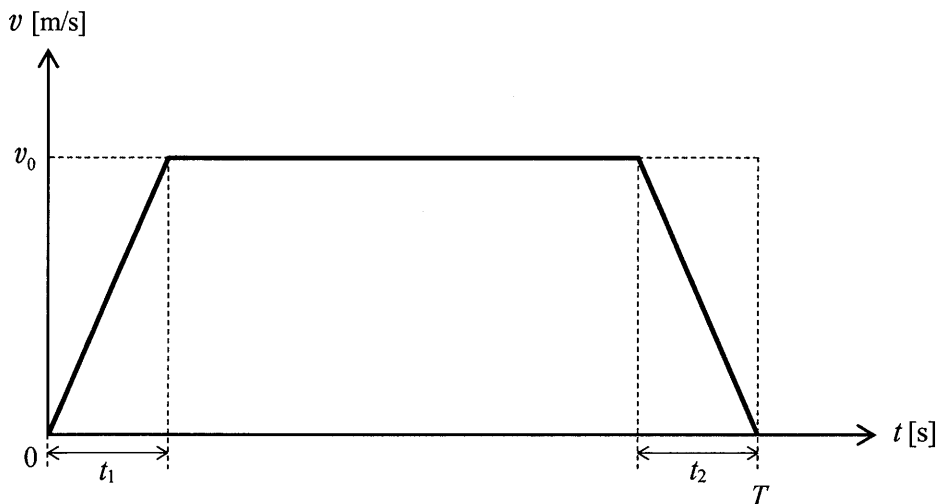
- (1) 次の各文章の  ~  の中に入れるべき最も適切な式を  ~  の解答群 > から選び、その記号を答えよ。

エレベータにおいて、積載荷重とかごの重さの合計と、釣り合い重りの重さが等しいときに、図のような運転パターンでかごを上昇させることを考える。

図において、縦軸をエレベータの速度  $v$  [m/s]、横軸を運転開始時からの経過時間  $t$  [s] とし、運転開始からの等加速度運転時間を  $t_1$  [s]、運転停止前の等減速度運転時間を  $t_2$  [s]、運転開始から停止までの経過時間を  $T$  [s]、等速度運転区間の速度を  $v_0$  [m/s] とする。

回転系の慣性モーメントを含めたエレベータのすべての等価質量を  $m$  [kg] とし、力行時の電気エネルギーから機械エネルギーへの変換効率を  $\eta_1$ 、回生時の機械エネルギーから電気エネルギーへの変換効率を  $\eta_2$  とする。

ここで、 $\eta_1$  及び  $\eta_2$  は一定とし、効率 100 % を  $\eta=1.0$  と表す。また、空気抵抗や摩擦の影響は無視できるものとする。



図



1) 加速区間において必要な巻き上げる力  $F_1$  は、次式により求められる。

$$F_1 = \boxed{1} \text{ [N]}$$

2) 加速区間中の時刻  $t$  における入力電力  $P_1$  は、変換効率を考慮すると次式により求められる。

$$P_1 = \boxed{2} \text{ [W]}$$

3) 加速区間全体における損失エネルギー  $E_1$  は、次式により求められる。

$$E_1 = \boxed{3} \text{ [J]}$$

4) 総走行距離  $L$  は、次式により求められる。

$$L = \boxed{4} \text{ [m]}$$

5) 総走行区間における損失エネルギー  $E_T$  は、次式により求められる。

$$E_T = \boxed{5} \text{ [J]}$$

<  $\boxed{1}$  ~  $\boxed{5}$  の解答群 >

ア  $mv_0$

イ  $mv_0 t_1$

ウ  $\frac{mv_0}{t_1}$

エ  $(1-\eta_1) \frac{mv_0^2}{2}$

オ  $\frac{1}{\eta_1} \frac{mv_0^2}{2}$

カ  $\frac{1-\eta_1}{\eta_1} \frac{mv_0^2}{2}$

キ  $\left(\frac{1}{\eta_1} + \eta_2\right) \frac{mv_0^2}{2}$

ク  $\left(\frac{1}{\eta_1} - \eta_2\right) \frac{mv_0^2}{2}$

ケ  $\left(\frac{1}{\eta_1} - \frac{1}{\eta_2}\right) \frac{mv_0^2}{2}$

コ  $\frac{mv_0^2}{t_1^2} t$

サ  $\eta_1 \frac{mv_0^2}{t_1^2} t$

シ  $\frac{1}{\eta_1} \frac{mv_0^2}{t_1^2} t$

ス  $v_0(T-t_1-t_2)$

セ  $v_0\left(T + \frac{t_1+t_2}{2}\right)$

ソ  $v_0\left(T - \frac{t_1+t_2}{2}\right)$

問題 12 の (2) は次の 9 頁及び 10 頁にある

(2) 次の各文章の  $\boxed{A \mid a.bc}$  ～  $\boxed{F \mid ab.c}$  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。

送水ポンプの流量制御の運転効率化について考える。現状では吐出し弁の開度調整によって流量を調整している設備について、これをポンプの回転速度制御による流量調整に切り替えることで省エネルギー化を図りたい。

現状の設備では、定格点において流量  $Q_N$  が  $20.4 \text{ m}^3/\text{min}$ 、全揚程  $H_N$  が  $18 \text{ m}$ 、回転速度  $n_N$  が  $1500 \text{ min}^{-1}$ 、ポンプ効率  $\eta_N$  が  $60\%$  のポンプが備えられている。ここで、水の密度は  $1 \text{ t/m}^3$  とする。

この設備について調査したところ、ポンプの全揚程と流量の関係、及びポンプ効率と流量の関係は、定格点において正規化すると、それぞれ次の式で表されることが分かっている。

$$h = 1.25n^2 - 0.25q^2$$

$$\eta^* = 2.0 \left( \frac{q}{n} \right) - \left( \frac{q}{n} \right)^2$$

ただし、流量  $q$  [p.u.]、全揚程  $h$  [p.u.]、回転速度  $n$  [p.u.]、ポンプ効率  $\eta^*$  [p.u.] は、いずれも定格点において正規化された変数とする。

また、吐出し弁全開の状態において、実揚程を含めた管路抵抗  $r$  [p.u.] の特性は次式で表されるものとする。

$$r = 0.5 + 0.3q^2$$

ただし、管路抵抗  $r$  は定格点において正規化された変数とする。

1) 現状の運用において、弁の開度調整によって流量  $q$  を  $0.75 \text{ p.u.}$ 、回転速度  $n$  を  $1 \text{ p.u.}$  で運転する場合、ポンプを駆動するのに必要な軸動力  $p_1$  は  $\boxed{A \mid a.bc} \times 10^{-1} \text{ [p.u.]}$  である。

2) 一方、弁の開度調整の代わりに、ポンプの回転速度制御によって流量  $q$  を、1) と同じ  $0.75 \text{ p.u.}$  として運転する場合には、管路抵抗  $r$  の値が  $\boxed{B \mid a.bc} \times 10^{-1} \text{ [p.u.]}$  であるから、ポンプの回転速度  $n$  は  $\boxed{C \mid a.bc} \times 10^{-1} \text{ [p.u.]}$  となる。このとき、ポンプ効率  $\eta^*$  は  $\boxed{D \mid a.bc} \times 10^{-1} \text{ [p.u.]}$  になることから、ポンプを駆動するのに必要な軸動力  $p_2$  は  $\boxed{E \mid a.bc} \times 10^{-1} \text{ [p.u.]}$  となる。

3) 定格点において必要な正味の軸動力は、 $P_N = \frac{Q_N H_N}{6.12 \eta_N} = 100$  [kW]であるから、軸動力  $p_1$  と  $p_2$  との差を考えれば、ポンプの回転速度制御に運転方式を切り替えることで 

F	ab.c
---	------

 [kW]の軸動力の低減による省エネルギー化を図ることができる。

(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 次の各問に答えよ。(配点計 50 点)

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

1) 誘電加熱は電氣的に  に近い、木材やプラスチックなどの加熱に適した加熱方式であり、  
被加熱物を  に置くことで発生する  を利用したものである。

<  ～  の解答群 >

- |        |         |         |
|--------|---------|---------|
| ア 渦電流  | イ 高周波電界 | ウ 交流磁界  |
| エ 直流磁界 | オ ジュール熱 | カ 絶縁物   |
| キ 導電体  | ク 半導体   | ケ 誘電体損失 |

2) 赤外加熱に利用される赤外放射は、 の一種であり、 よりも波長の長い領域  
にあり、赤外線とも呼ばれる。

<  及び  の解答群 >

- |         |         |        |
|---------|---------|--------|
| ア プラズマ  | イ 可視光   | ウ 電磁波  |
| エ 電子ビーム | オ マイクロ波 | カ ラジオ波 |

(2) 次の各文章の [ 6 ] ~ [ 10 ] の中に入れるべき最も適切な字句をそれぞれの解答群から  
選び、その記号を答えよ。

1) 空気や水などの流れの中に置かれた固体表面と流体との間に温度差があると、両者の間で  
熱移動が生じ、この熱流は近似的に  $Q = hS(\theta_1 - \theta_2)$  で表される。 $h$  は熱伝達率と呼ばれ、その値は  
主として流体の物性及び [ 6 ] によって変化する。 $\theta_1$  及び  $\theta_2$  は、それぞれ固体表面の温度と  
流体の温度を示し、 $S$  は固体の [ 7 ] である。

< [ 6 ] 及び [ 7 ] の解答群 >

ア 厚さ	イ 体積	ウ 断面積	エ 伝熱面積
オ 透過率	カ 放射率	キ 誘電率	ク 流速

2) 加熱炉や溶解炉の熱効率を良くするためには、[ 8 ] が小さい炉壁材料を使用して炉内から  
外部へ逃げる熱損失を低減することや、間欠操業の炉においては、炉壁材料に比熱及び密度の  
小さい材料を使用し、[ 9 ] を削減することが効果的である。また、放射や [ 10 ] による  
熱損失を低減するためには、操業中の炉蓋や扉の開放時間を短縮することも有効である。

< [ 8 ] ~ [ 10 ] の解答群 >

ア ステファン・ボルツマン定数	イ 貫流	ウ 層流
エ 対流	オ 潜熱	カ 蓄熱量
キ 熱抵抗	ク 熱伝導率	ケ 膨張率

問題 13 の (3) は次の 15 頁にある

- (3) 次の各文章の  ～  の中に入れるべき最も適切な数値をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。

質量 200 kg の金属を 40 分間で 20 °C から 1200 °C まで昇温する加熱炉がある。被加熱物の比熱は 0.477 kJ/(kg·K) であり、温度に関わらず一定とする。また、この加熱炉は熱的に安定した状態であり、炉からの熱損失は 35 kW で一定とする。

- 1) 加熱炉の入力端における電力が 110 kW で一定の場合、この加熱炉の原単位は  [kW·h/kg] である。

- 2) このときの加熱正味熱量は  [kW·h] であり、加熱炉の電気効率は  [%] となる。

〈  ～  の解答群 〉

ア 0.250      イ 0.367      ウ 0.483      エ 26.5      オ 31.3      カ 38.3  
キ 50.8      ク 68.2      ケ 74.5

- 3) 電気効率及び熱損失には変化がないものとするれば、同じ昇温条件で入力端における電力を 120 kW に増加すると、加熱時間は  [分] に短縮され、原単位も  [kW·h/kg] に低減される。これは、高電力化により加熱時間が短くなったことで、相対的に熱損失が減少したことによる省エネルギー効果を意味するものである。

〈  及び  の解答群 〉

ア 0.221      イ 0.345      ウ 0.426      エ 34.5      オ 35.3      カ 36.7



(空 白)

(電気化学 — 選択問題)

問題 14 次の各問に答えよ。(配点計 50 点)

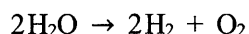
(1) 次の各文章の  ~  の中に入れるべき最も適切な字句、数値又は記述をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。なお、 は 2 箇所あるが、同じ記号が入る。

1) 電気エネルギーと化学エネルギーの直接変換を担うのが電気化学システムである。この基本要素である電極は 2 種類に分けられ、脱電子反応すなわち酸化反応が起こる  と、受電子反応すなわち  反応が起こる  とがある。この電極は電子伝導体であり、電極触媒能とともに電子伝導性が良いことが電極材料の条件となる。この 2 種の電極間に介在するのがイオン伝導体である  である。このイオン伝導体も良好なイオン伝導性を有する必要がある。

電気化学システムでは、電子伝導体とイオン伝導体界面で起こる電子授受の反応が特徴である。これらを生かすことにより、電気エネルギーと化学エネルギーの直接変換が可能となる。

2) 電気化学システムを利用して水を分解すると、水素と酸素が得られる。これは、電気エネルギーから化学エネルギーへの変換の一つである。これに基づく産業は古くから水電解工業として存在し、安価な電力の得られるところでは、アンモニア製造等への水素供給を担っている。

水電解反応は次式で表される。



このように、水素は水が還元されて生成する。ここで、水素 1 分子当たり、反応に関与する電子数は  [個] である。

<  ~  の解答群 >

ア 1	イ 2	ウ 4	エ アノード
オ カソード	カ 界面	キ 還元	ク 酸化
ケ 中和	コ 気体	サ 固体	シ 電解質

3) 電気化学システムを用いると、金属を高純度化することもできる。

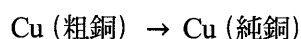
① 電気化学システムを用いて、金属を高純度化するプロセスは  と呼ばれ、これも 2) と同様に古くから工業的に活用されている。

② 電線等に利用される銅は、純度が低いと電気抵抗が大きく、この抵抗による電力損失が大きくなる。高純度の銅を得るためには、純度の低い粗銅を2種の電極のうちの  にして電気分解を行う。このとき、2種の電極間のイオン伝導体としては、 水溶液が用いられる。この構成の電気分解により、一段で純度 99.99 % 以上の高純度の銅が生成する。

〈  ~  の解答群 〉

- |        |           |         |
|--------|-----------|---------|
| ア アノード | イ カソード    | ウ 陰極    |
| エ 塩酸   | オ 水酸化カリウム | カ 硫酸    |
| キ 電解精製 | ク 電解製鉄    | ケ 電解メッキ |

③ この電気分解では、不純物と銅の持つ  傾向の差を利用する。電圧を巧みに制御することにより、 傾向が銅  不純物は電解液中に残り、純銅上には析出しない。また、溶解しない不純物は溶液中に溶けずに固体として沈殿する。  
ここでの反応は次のように表すことができる。



このとき、銅1原子当たり、反応に関与する電子数は  [個]である。

〈  ~  の解答群 〉

- |         |          |         |
|---------|----------|---------|
| ア 1     | イ 2      | ウ 3     |
| エ イオン化  | オ ファラデー化 | カ 静電力   |
| キ より小さな | ク と同程度の  | ケ より大きな |

(2) 次の各文章の  $\boxed{A \mid a.bc \times 10^d}$  ～  $\boxed{D \mid a.bc \times 10^d}$  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、銅の原子量は 63.5 とし、ファラデー定数は 26.8 A·h/mol とする。

1) 水の電気分解で 2 mol の水素を作るのに必要な理論電気量は  $\boxed{A \mid a.bc \times 10^d}$  [A·h] である。

この電気分解における理論分解電圧が 1.21 V であるとき、実際の操業電圧は 1.82 V であった。

このときの電圧効率  $\boxed{B \mid a.bc \times 10^d}$  [%] となる。

2) 純銅を電解で製造するとき、このプロセスで純銅を 5.00 kg 得るのに必要な理論電気量は

$\boxed{C \mid a.bc \times 10^d}$  [A·h] である。また、このプロセスで、理論電気量と同じ電気量で電解したところ、

実際に得られた純銅は 4.68 kg であった。このときの電流効率は  $\boxed{D \mid a.bc \times 10^d}$  [%] である。

(空 白)

(照明 — 選択問題)

問題 15 次の各問に答えよ。(配点計 50 点)

(1) 次の各文章の 

A	a.b
---	-----

 ~ 

E	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  $\pi = 3.14$  とする。

1) 400 W の光源を取り付けた投光器がある。図 1 に示すように、平面頂角  $20^\circ$  の円錐<sup>えんすい</sup>範囲内に全光束が投射されるとすると、その平均光度は 

A	a.b
---	-----

 $\times 10^4$  [cd] と求まる。ただし、光源の発光効率を 20 lm/W、器具の効率を 80% とし、 $\cos 10^\circ = 0.9848$  とする。なお、半頂角  $\theta$  の円錐の立体角  $\omega$  は  $\omega = 2\pi(1 - \cos\theta)$  で表される。

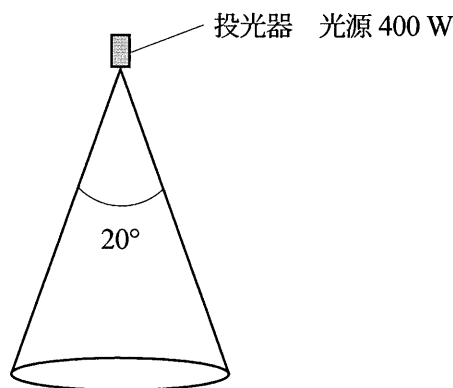


図 1

2) 間口 30 m、奥行き 40 m の部屋に、定格電力 500 W、総合効率 50 lm/W の光源が 20 個設置されている。この部屋に、更に定格電力 300 W、総合効率 120 lm/W の光源  $n$  個を設置し、床面の照度を 350 lx にしたい。必要最小限の光源数  $n$  は 

B	ab
---	----

 [個] となる。ただし、照明率 0.60、保守率 0.70 とする。

3) 図2に示すように、床面に対する鉛直線 OP 上で床面から 2.5 m 離れた位置に、円の中心が O で直径 50 cm の完全拡散性円板光源が床面と平行に置かれている。ここで、床面上の P 点に、完全拡散性円形板の極めて小さな被照面を考える。この被照面の反射率は 0.7 であり、照度  $E$  は 100 lx である。

このとき、円板光源の光度  $I$  は 

C	a.b×10 <sup>c</sup>
---	---------------------

 [cd]、輝度  $L$  は 

D	a.b×10 <sup>c</sup>
---	---------------------

 [cd/m<sup>2</sup>]、被照面の輝度は 

E	ab
---	----

 [cd/m<sup>2</sup>] である。

なお、円周上の 1 点を A とし  $\angle APO = \theta$  とすると、光源の輝度と照度の関係は  $E = \pi L \sin^2 \theta$ 、光源の面積  $S$  と光度の関係は  $SL = I$  で表すことができる。

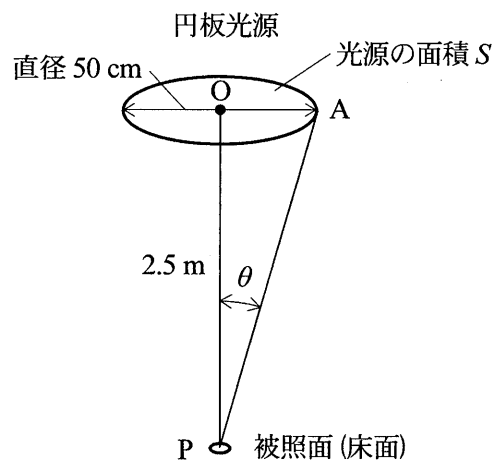


図2

問題 15 の (2) は次の 23 頁及び 24 頁にある

(2) 次の各文章の  ～  の中に入れるべき最も適切な字句、数値又は記述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 LED パッケージは、一般的に  の LED と、その光で励起される黄色を発光する蛍光体を組み合わせて白色を得ている。この白色は、 に基づく黒体軌跡から離れていない光色となる。

〈  及び  の解答群 〉

- |            |            |            |
|------------|------------|------------|
| ア 青色       | イ 赤色       | ウ 緑色       |
| エ プランクの放射則 | オ ランベルトの法則 | カ 標準比視感度曲線 |

2) 1) の LED において、例えば図 3 に二つの白色 LED の相対分光分布特性を示すが、実線で示す (a) は破線で示す (b) に対して相関色温度が  、また光の質を表す平均演色評価数 Ra の値については、(a) と (b) の差は一概には分からない。

どちらの分光分布も二つのピークを持った形状をしており、一方のピークは LED からの直接発光によるもの、もう一方のピークは励起された蛍光体からの発光によるものである。ここで、波長の  にある方が LED からの直接発光によるものである。

また、LED から発せられるピーク波長の光が、蛍光体によって発せられるピーク波長の光に変換された場合のエネルギーロス  [%] 程度である。

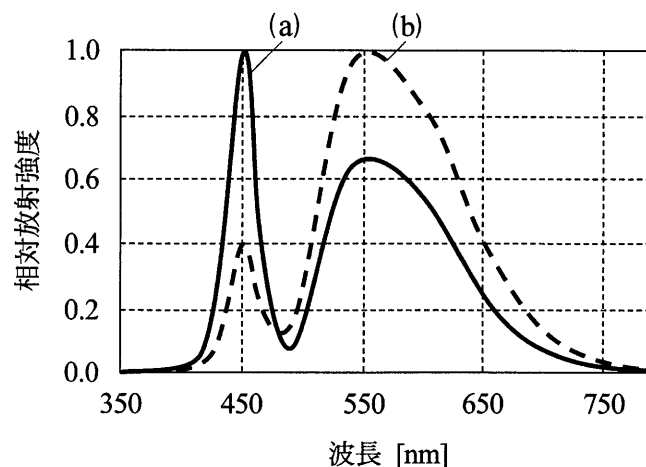


図 3 白色 LED の相対分光分布特性



< 3 ~ 5 の解答群 >

ア 20

イ 40

ウ 60

エ 紫外線領域

オ 長い領域

カ 短い領域

キ 低く

ク 高く

(空気調和 — 選択問題)

問題 16 次の各問に答えよ。(配点計 50 点)

(i) 次の表の  ～  の中に入れるべき最も適切な字句を  ～  の解答群 > から選び、その記号を答えよ。

空調設備に関しては、種々のエネルギー評価指標を用いて、工場等のエネルギーの使用状況やエネルギー性能等の評価を行うことができる。次の表は、それらのエネルギー評価指標の例を示したものである。

表 エネルギー評価指標の例

		評価指標の例 指数 (X)	評価指数 $X = \frac{B}{A}$	
			分母 (A)	分子 (B)
原単位評価		単位面積当たり 年間熱負荷	延床面積 空調面積 他	年間熱負荷
		単位面積当たり 時間最大熱負荷		時間最大熱負荷
		<input type="text" value="1"/>	室内周囲空間の床面積 [m <sup>2</sup> ]	室内周囲空間の年間熱負荷 [MJ/年]
効率評価	効率	ボイラ効率	<input type="text" value="2"/>	発生熱量
		全熱交換器効率	排熱量	<input type="text" value="3"/>
	成績係数	<input type="text" value="4"/>	入力エネルギー	出力エネルギー
		APF (エアコンディショナ)	期間入力エネルギー	期間出力エネルギー
		<input type="text" value="5"/> (主に中大型冷凍機)		
	環境 効率	<input type="text" value="6"/> (環境性能効率)	建築物の環境負荷 (L)	建築物の環境品質 (Q)

〈 1 ~ 6 の解答群 〉

ア BEE	イ BOD	ウ CEC	エ CFC
オ COP	カ IPLV	キ ODP	ク PAL
ケ SPLV	コ 回収熱量	サ 損失熱量	シ 燃料の熱量
ス 蒸気量			

問題 16 の (2) は次の 27 頁及び 28 頁にある

(2) 次の各文章の [ 7 ] ~ [ 16 ] の中に入れるべき最も適切な字句又は数値をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。

空気調和において、新鮮な外気の取り入れによる換気は、室内の良好な空気質の維持のためには必要不可欠であるが、一方で、外気の導入は大きな空調負荷となることから、空気質の維持と省エネルギーの両立を図るためには、適正な換気量を維持することが極めて重要である。

ここで、室内における適正な換気量について考える。

1) 室内に汚染質の発生があり、換気のために導入している外気中にも一定の汚染質が含まれているとき、定常状態における室内の汚染質の濃度  $\sigma$  は、拡散を [ 7 ] と仮定すると、次の式で表される。ただし、単位は汚染質が気体の場合の例とする。

$$\sigma = \sigma_0 + \frac{q}{Q} \text{ [m}^3\text{/m}^3\text{]} \quad \dots\dots\dots \text{①}$$

ここで、 $\sigma_0$  [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>] は [ 8 ]、 $q$  [m<sup>3</sup>/h] は [ 9 ]、 $Q$  [m<sup>3</sup>/h] は [ 10 ] を示す。

< [ 7 ] ~ [ 10 ] の解答群 >

- |          |           |          |
|----------|-----------|----------|
| ア 汚染質発生量 | イ 外気汚染質濃度 | ウ 室内初期濃度 |
| エ 換気量    | オ 完全拡散    | カ 不完全拡散  |

2) 一般に、事務所ビルなどの居室の室内換気量は、居住者から呼吸により排出される CO<sub>2</sub> を汚染質の対象として、その濃度が法で定める基準値以下となるように決められる。CO<sub>2</sub> 濃度に関する居室の室内環境基準値は、「建築基準法」や「建築物における衛生的環境の確保に関する法律」によって、[ 11 ] [ppm] 以下と定められている。

3) 室内換気量は、1) の式①において、環境基準値を満たす室内 CO<sub>2</sub> 濃度の許容値、室内の CO<sub>2</sub> 発生量、及び外気の CO<sub>2</sub> 濃度を設定することにより算出できる。ここで、外気の CO<sub>2</sub> 濃度について、従来は、一般に 300 ppm 程度として算出していた。しかしながら、近年、大気中の CO<sub>2</sub> 濃度は世界平均で約 [ 12 ] [ppm] にまで上昇しているのが実態である。

< 11 及び 12 の解答群 >

ア 100                      イ 200                      ウ 300                      エ 400                      才 500  
カ 1000                      キ 2000

4) CO<sub>2</sub>濃度の許容値を 2) で示した法的な環境基準値とし、3) で示した外気の CO<sub>2</sub>濃度の現状を考慮すると、室内換気量は、外気の CO<sub>2</sub>濃度が 300 ppm のときと比べて、外気の濃度変化だけの単純計算では、約 13 倍に 14 させる必要があることが分かる。

5) また、1) の式①において、換気量を 15 倍にするか、あるいは汚染質の発生量を 16 倍にすることで、汚染物質による外気濃度からの濃度の増加分を半分に抑えられることが分かる。

< 13 ~ 16 の解答群 >

ア 0.1                      イ 0.5                      ウ 1.1                      エ 1.2                      才 1.5  
カ 2                      キ 4                      ク 10                      ケ 増加                      コ 減少

(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、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 <sup>d</sup>
---	----------------------

 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。

また、計算をとまなう解答の場合は以下によること。

- (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、解答すべき数値の計算過程においても、すべて最小位よりも一つ下の位まで計算し、最後に四捨五入すること。

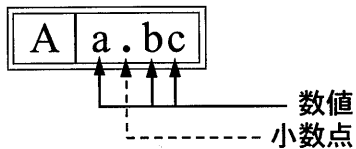
- (2) 既に解答した数値を用いて次の問題以降の計算を行う場合も、用いる数値は四捨五入後の数値ではなく、四捨五入する前の数値を用いるなど、(1) の計算条件を満足すること。

- (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、「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。」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... とし計算すること。

### 「解答例 1」

(設問)



(計算結果)

6.827.....

↓ 四捨五入

6.83

(解答)

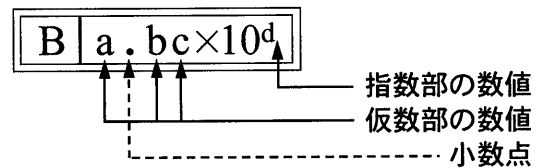
「6.83」に  
マークする



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

### 「解答例 2」

(設問)



(計算結果)

$9.183 \times 10^2$

↓ 四捨五入

$9.18 \times 10^2$

(解答)

「 $9.18 \times 10^2$ 」に  
マークする



B					
a	.	b	c	×10	d
		0	0		0
①		●	1		1
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
⑨		9	9		9

(裏表紙)