

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

1～8ページ

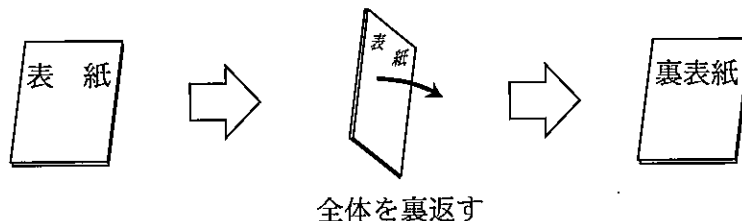
次の問題13から問題16までは、4問題中2問題を選択して解答すること。

選択 問題13	電気加熱	} 2問題を選択	11～14ページ
選択 問題14	電気化学		15～16ページ
選択 問題15	照明		17～19ページ
選択 問題16	空気調和		21～24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。

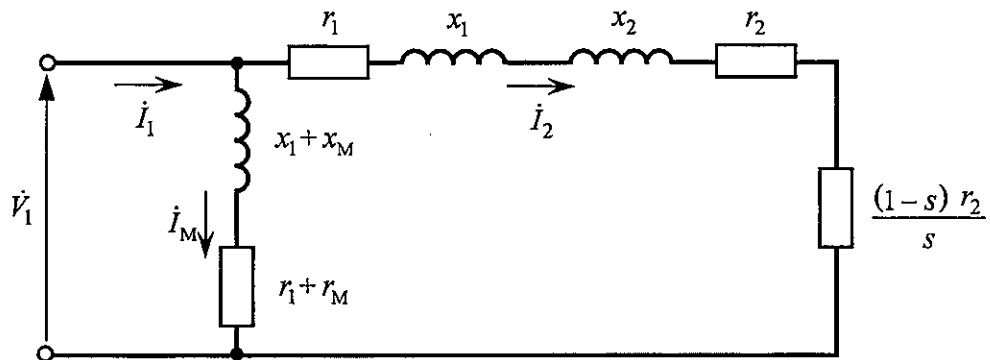
(電動力応用)

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。

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) 図1に示すようなL形等価回路(1相当り)で表される三相誘導電動機の世界制御について考える。

なお、回路の各電圧、電流、抵抗等については図1に示すとおりとする。



- |                            |                            |
|----------------------------|----------------------------|
| $\dot{V}_1$ : 一次電圧         | $r_1$ : 一次抵抗               |
| $\dot{i}_1$ : 一次電流         | $r_2$ : 二次抵抗 (一次換算値)       |
| $\dot{i}_2$ : 二次電流 (一次換算値) | $x_1$ : 一次漏れリアクタンス         |
| $\dot{i}_M$ : 無負荷時励磁電流     | $x_2$ : 二次漏れリアクタンス (一次換算値) |
|                            | $r_M$ : 鉄損抵抗               |
|                            | $x_M$ : 励磁リアクタンス           |
|                            | $s$ : すべり                  |

図1 三相誘導電動機のL形等価回路(1相当り)

1) 三相誘導電動機の極数を  $P$ 、滑りを  $s$ 、一次周波数を  $f_1$  [Hz] とすると、回転速度  $N$  は  $P$ 、 $s$  及び  $f_1$  の関数として表される。

一方、三相誘導電動機のトルク  $T$  は二次入力を同期角速度  $\omega_0$  [rad/s] で除すれば求められ、次式で表される。ただし、 $V_1$  の大きさを  $V_1$ 、 $I_1$  の大きさを  $I_1$ 、 $I_2$  の大きさを  $I_2$  とする。

$$T = \frac{\boxed{1}}{\omega_0} \text{ [N}\cdot\text{m]} \quad \dots\dots\dots \text{①}$$

式①は、図1に示した L 形等価回路の回路定数を用いて次式で表すことができる。

$$T = \frac{3V_1^2}{\frac{4\pi f_1}{P} \left\{ \left( r_1 + \frac{r_2}{s} \right)^2 + (x_1 + x_2)^2 \right\}} \times \boxed{2} \text{ [N}\cdot\text{m]} \quad \dots\dots\dots \text{②}$$

<  $\boxed{1}$  及び  $\boxed{2}$  の解答群 >

- |                |                |                          |                          |
|----------------|----------------|--------------------------|--------------------------|
| ア $r_1$        | イ $r_2$        | ウ $\frac{r_1}{s}$        | エ $\frac{r_2}{s}$        |
| オ $3I_1^2 r_1$ | カ $3I_2^2 r_2$ | キ $3I_1^2 \frac{r_1}{s}$ | ク $3I_2^2 \frac{r_2}{s}$ |

2) 式②より、一次周波数と  $\boxed{3}$  を一定と考えると、 $\boxed{4}$  を変えることによってトルクを制御することができる。この方式では、始動トルクも最大トルクも電圧の 2 乗に比例して変化する。

また、一次周波数を変えて速度制御を行う方法は一次周波数制御と総称される。この制御には、周波数に比例して  $\boxed{4}$  も変え、ギャップ磁束を一定に保つ  $\boxed{5}$  と、一次電流を座標変換して磁束発生に作用する励磁電流成分とトルク電流成分とに分離して独立に制御する  $\boxed{6}$  がある。

<  $\boxed{3}$  ~  $\boxed{6}$  の解答群 >

- |              |          |          |          |
|--------------|----------|----------|----------|
| ア $V/f$ 一定制御 | イ ベクトル制御 | ウ 一次電流制御 | エ 二次電圧制御 |
| オ 一次電圧       | カ 二次電流   | キ 二次周波数  | ク すべり    |

問題 11 は次の頁に続く

(2) 図2に示すような、勾配角度  $\theta$  の線路を運行する2台のつるべ式（交走式）ケーブルカーの動力について考える。

ケーブルカーは車両に動力を持たず、車両につないだケーブルを山頂にある巻上機で引っ張り上げて走行させている。つるべ式ケーブルカーでは、一本のケーブルの両側に車両をつなぎ、登り側車両と下り側車両を同時に走行させる仕組みとなっており、国内のほとんどのケーブルカーではつるべ式を採用している。ここでは、ケーブルの巻上機に用いられる電動機に関して、運行形態ごとの電動機の所要出力を求める。

ここで、ケーブルカーの運行速度は180 m/min、一車両当たりの車両質量は5000kg、乗客の最大搭乗質量（満員時）は1600kg、巻上機全体の機械効率率は70%とし、ケーブル荷重など記載のない条件は無視する。なお、線路勾配角度  $\theta$  は30度、斜面における走行抵抗は、重力の加速度  $g$  に関して  $10 \cdot g \times 10^{-3} \times \cos \theta$  [N/kg] であり、重力の加速度  $g$  は  $9.8 \text{ m/s}^2$  とする。

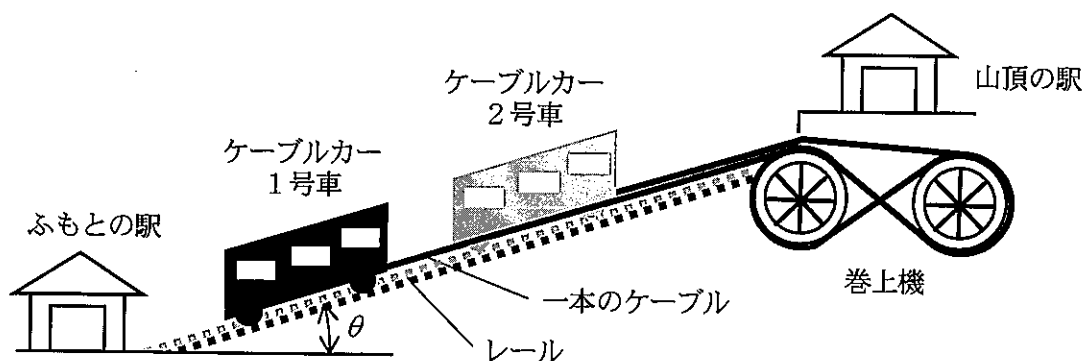


図2 ケーブルカー

1) ケーブルの片側だけに1号車の車両をつなぎ、登りの一車両だけ運行する状況を考える。

電動機が最大出力を必要とするのは、満員の乗客で登坂する場合である。この場合、斜面に沿って180 m/minで走行するとき、走行抵抗に打ち勝つために要する動力は、斜面方向に働く力と登坂速度を乗じて  $\boxed{A \mid a.bc}$  [kW] である。また、車両と乗客の全質量を斜面に沿って180 m/minで引っ張り上げるのに要する、単位時間当たりの位置エネルギーの増加分に相当する動力は、 $\boxed{B \mid ab}$  [kW] となる。そして、それらの動力を合算し、巻上機全体の機械効率を考慮すると、このときに電動機が要求される出力は  $\boxed{C \mid abc}$  [kW] となる。

2) 残りの片側に2号車をつないでケーブルの両側に車両がある状態とし、つるべ式で登り側車両と下り側車両を同時に運行させる状況を考える。

電動機が最大出力を必要とするのは、登り側車両が満員で下り側車両には乗客がない場合である。この場合、各車両が走行抵抗に打ち勝つために要する動力は、満員の登り側車両分と乗客のいない下り側車両分を合わせて  $\boxed{D \mid a.bc}$  [kW] である。

その一方で、車両の移動に関しては、登り側と下り側の車両質量が等しいことから、車両の上昇と下降に要する動力は相殺する。したがって、乗客の全重量だけを斜面に沿って引っ張り上げるのに要する動力を考慮すればよい。乗客がいるのは登り側だけなので、そのために要する動力は  $\boxed{E \mid ab.c}$  [kW] となる。よって、それらの動力を合算し、巻上機全体の機械効率を考慮すると、このときに電動機が要求される出力は  $\boxed{F \mid ab.c}$  [kW] となる。

以上の結果から、つるべ式によるケーブルカーの運行が効率的であることが分かる。

(電動力応用)

問題 12 次の各文章及び表の 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。(配点計 50 点)

(1) 電気自動車が走行した場合の消費エネルギーについて考える。

一般に、走行に必要な駆動力  $F$  は次式で求めることができる。

$$F = \left( M + \frac{J}{r^2} \right) \frac{dv}{dt} + Mg \sin \theta + C_r Mg + \frac{1}{2} \rho C_d A v^2 \quad [\text{N}] \quad \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

式①で、 $v$  [m/s] は速度、 $\frac{dv}{dt}$  [m/s<sup>2</sup>] は加速度、 $g$  [m/s<sup>2</sup>] は重力の加速度、 $M$  [kg] は乗員を含めた車両の重量、 $\frac{J}{r^2}$  [kg] はモータなどの回転系の慣性モーメントを等価質量に変換したもの、 $\theta$  は道路の傾き角度、 $C_r$  は転がり抵抗係数、 $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] は空気の密度、 $C_d$  は空気の抵抗係数、 $A$  [m<sup>2</sup>] は前面投影面積である。また、 $\sin \theta$  は、上り坂を正、下り坂を負とし、 $-0.05 < \sin \theta < 0.05$ 、 $\cos \theta \approx 1$  とする。

以降の計算では、 $M = 1200$  [kg]、 $\frac{J}{r^2} = 40$  [kg]、 $C_r = 0.007$ 、 $C_d = 0.3$ 、 $A = 1.8$  [m<sup>2</sup>] の自動車を考え、 $\rho = 1.2$  [kg/m<sup>3</sup>]、 $g = 9.8$  [m/s<sup>2</sup>] とする。

表は、1 区間を 200 m として全 7 区間を走行する状態を表したもので、区間 I で速度を 0 m/s (静止状態) から 20 m/s まで一定加速度で加速し、区間 II から区間 VI を 20 m/s の一定速度で走行した後、区間 VII で速度を 20 m/s から 0 m/s まで一定加速度で減速し停止する。区間 III は傾き  $\sin \theta = 0.04$  の上り坂、区間 V は  $\sin \theta = -0.04$  の下り坂であるが、他の区間は水平な道路とする。

さて、各区間の走行時間を  $T$  [s]、走行距離を  $X$  [m]、初期速度を  $v_a$  [m/s]、最終速度を  $v_b$  [m/s] とすると、各区間で駆動力により供給されるエネルギー  $E$  は  $Fv$  を各区間で時間積分することにより計算できる。特に駆動力と速度が一定の区間では、この積分は駆動力と走行距離の積として求めることができ、次式となる。

$$E = \int_0^T F v dt = F v T = F X \quad [\text{J}] \quad \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

速度が変化する区間 I 及び区間 VII については、加速度が一定であることに注意すると、

$$\begin{aligned} E &= \int_0^T \left\{ \left( M + \frac{J}{r^2} \right) \frac{dv}{dt} + Mg \sin \theta + C_r Mg + \frac{1}{2} \rho C_d A v^2 \right\} v dt \\ &= \frac{1}{2} \left( M + \frac{J}{r^2} \right) (v_b^2 - v_a^2) + (Mg \sin \theta + C_r Mg) X + \left( \frac{1}{2} \rho C_d A \right) \frac{1}{4} (v_b^4 - v_a^4) \quad [\text{J}] \quad \dots \textcircled{3} \end{aligned}$$

となり、区間 I については  $v_a = 0$ 、 $\frac{dv}{dt} = 1$ 、 $\sin \theta = 0$  であることから、次式となる。

$$E = \frac{1}{2} \left( M + \frac{J}{r^2} \right) v_b^2 + C_r M g X + \left( \frac{1}{8} \rho C_d A \right) v_b^4 \quad [\text{J}] \quad \dots\dots\dots ④$$

また、区間Ⅶについては  $v_b = 0$ 、 $\frac{dv}{dt} = -1$ 、 $\sin\theta = 0$  であることから、次式となる。

$$E = -\frac{1}{2} \left( M + \frac{J}{r^2} \right) v_a^2 + C_r M g X + \left( \frac{1}{8} \rho C_d A \right) v_a^4 \quad [\text{J}] \quad \dots\dots\dots ⑤$$

最後に、インバータ及びモータなどからなる駆動システムの効率  $\eta$  [%] の影響を考える。簡略化のため、動作条件によらず効率一定とすると、駆動システムの損失エネルギー  $E_l$  は次式で与えられる。

$$E_l = \left( \frac{100}{\eta} - 1 \right) E \quad (E > 0 \text{ のとき})、E_l = \left( \frac{\eta}{100} - 1 \right) E \quad (E < 0 \text{ のとき})$$

注意すべき点は、減速を行うと運動エネルギーが回生され、下り坂では位置エネルギーが回生され、エネルギー伝達の方向が負荷からバッテリーの方向に変わる点である。

表には、 $\eta$  を 90 % として各区間での  $E$  及び  $E_l$  を計算した結果を示す。

表

区間	距離 $X$ [m]	加速度 $\frac{dv}{dt}$ [m/s <sup>2</sup> ]	速度 $v$ [m/s]	走行時間 $T$ [s]	傾き $\sin\theta$	駆動力 $F$ [N]	$E$ [kJ]	$E_l$ [kJ]
I	200	1.0	0 → 20	20	0	1322 → 1452	1	2
II	200	0	20	10	0	212	42.4	4.7
III	200	0	20	10	0.04	682	136.4	15.2
IV	200	0	20	10	0	212	42.4	4.7
V	200	0	20	10	-0.04	-258	3	4
VI	200	0	20	10	0	212	42.4	4.7
VII	200	-1.0	20 → 0	20	0	-1028 → -1158	-218.6	21.9
合計	1 400	—	—	90	—	—	5	6

< 1 ~ 6 の解答群 >

- ア -121.6    イ -51.6    ウ 5.2    エ 8.7    オ 27.8    カ 30.8  
 キ 87.2    ク 90.2    ケ 200.8    コ 207.4    サ 270.8    シ 277.4

問題 12 は次の頁に続く

(2) 定格点において、流量が  $10\text{ m}^3/\text{min}$ 、全揚程が  $25\text{ m}$ 、ポンプ効率が  $60\%$ 、回転速度が  $1500\text{ min}^{-1}$  の送水ポンプの流量制御について考える。ここで、水の密度を  $1000\text{ kg/m}^3$ 、重力の加速度を  $9.8\text{ m/s}^2$  とし、円周率は  $3.14$  とする。

このポンプの全揚程と流量、ポンプ効率と流量の関係を定格点での諸量の値で正規化したところ、次式が得られた。

$$h = 1.2n^2 - 0.2q^2$$

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

また、弁が全開のときの実揚程を含めた管路抵抗の特性として次式が得られた。

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

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.]、管路抵抗  $r$  [p.u.] は正規化された変数である。 $n=1$  のとき、これらの関係を図示すると次の図のようになる。

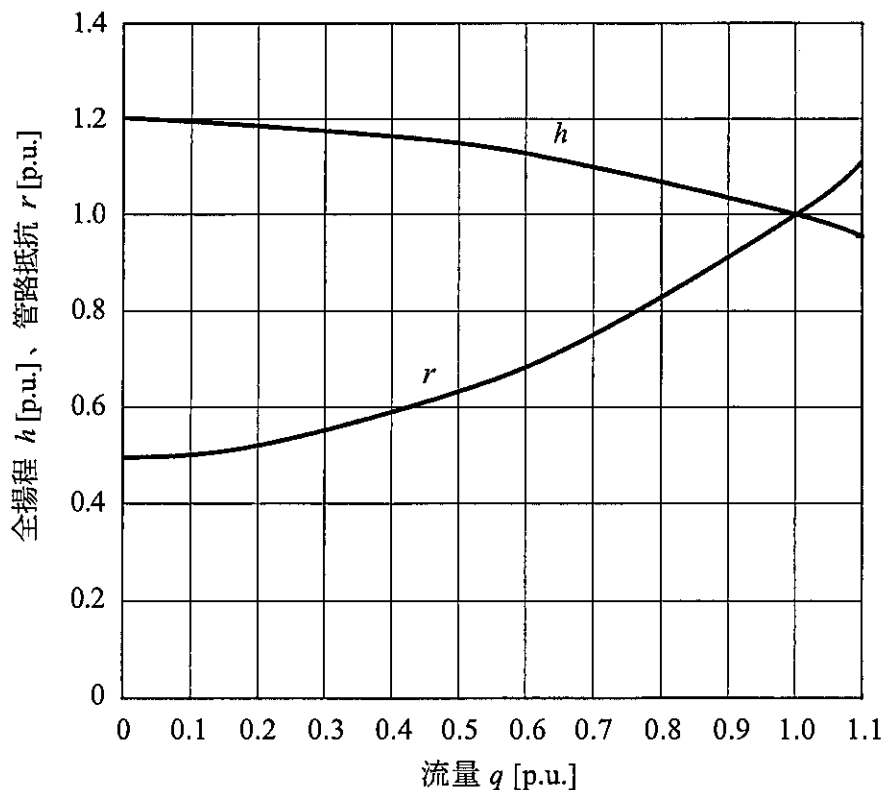


図 ポンプ揚程曲線、管路抵抗曲線 ( $n=1$  のとき)



1) ポンプを定格点で運転しているときの電動機の軸動力は  [kW] であり、軸トルクは  [N·m] である。

2) 弁の開度調整により流量を  $7\text{ m}^3/\text{min}$  に制御する場合、ポンプの全揚程は  [m]、電動機の軸動力は  [kW] となる。

3) 電動機の回転速度制御により流量を  $7\text{ m}^3/\text{min}$  に制御する場合、ポンプの全揚程は  [m]、電動機の軸動力は  [kW] となり、軸動力を大幅に削減できることが分かる。

<  ~  の解答群 >

ア 15.6	イ 18.6	ウ 23.3	エ 24.5	オ 27.6
カ 34.5	キ 36.5	ク 40.8	ケ 47.8	コ 52.5
サ 57.7	シ 68.1	ス 123	セ 260	ソ 433

(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 [ 1 ] ~ [ 14 ] 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、[ 5 ] は複数箇所あるが、同じ記号が入る。

(配点計 50 点)

(1) 各種の加熱方式の原理、特徴及び応用分野について考える。

1) レーザは単色性、指向性、集光性、制御性に優れた [ 1 ] であり、広い分野に応用されている。レーザは使用する媒質によって、赤外域から紫外域にわたる各種のものがあるが、熱加工用には YAG や炭酸ガスなどを媒質とした [ 2 ] 域のレーザが主として用いられる。その用途としては、極めて高いエネルギー密度を利用した穴あけ、切断、微細加工、文字マーキングなどがある。

< [ 1 ] 及び [ 2 ] の解答群 >

ア プラズマ	イ 可視光	ウ 紫外
エ 赤外	オ 電磁波	カ 電子ビーム

2) アーク加熱は、温度が 4 000 ~ 6 000 K のアーク柱を熱源として利用するものである。その代表的応用例として製鋼用アーク炉がある。その電極材料には [ 3 ] が使用される。製鋼用アーク炉では、50、60Hz の商用電源が用いられるのが一般的であるが、騒音やフリッカの低減、電極の消耗の低減などを図るために、アークが安定する [ 4 ] の電源を使用することもある。

< [ 3 ] 及び [ 4 ] の解答群 >

ア タングステン	イ モリブデン	ウ 黒鉛
エ マイクロ波	オ 高周波	カ 直流

3) 誘導加熱は、被加熱物の周りに巻かれたコイルに交流電流を流すことで発生する交番磁束により被加熱物に生じる  を利用して加熱する方式である。この加熱原理の身近な適用例としてIH クッキングヒータがあり、工業用としては金属の加熱や溶解に用いられている。被加熱物に生じる  の密度は、表面から内部に向かい指数関数的に減少し、表面の  $\frac{1}{e}$  ( $e$ : 自然対数の底) の値になる位置を  と呼ぶ。

〈  及び  の解答群 〉

ア 渦電流

イ 分極電流

ウ 変位電流

エ 境界層厚さ

オ 電流浸透深さ

カ 電力半減深度

(2) 加熱や溶解のプロセスにおける省エネルギーについて考える。

1) 設備上の省エネルギー対策として、熱損失の低減が考えられる。

加熱炉や溶解炉では、炉壁を通して放熱損失が生じるので、炉の熱損失を低減させるためには炉壁の熱抵抗を大きくする必要がある。つまり、炉壁を構成する材料には、 率の小さなものを用いることが最も有効である。また、炉壁を作業温度まで立ち上げるのに要する熱量（炉の蓄熱量）を低減させることも省エネルギー対策となる。そのため、炉壁の断熱材には密度及び比熱の小さい素材であるセラミックファイバが広く用いられている。

電気加熱の場合、設備を  化すれば、加熱や溶解に要する時間が短縮されるので、相対的に熱損失の低減となることから省エネルギーが図れる。

<  及び  の解答群 >

- |            |       |      |
|------------|-------|------|
| ア 熱伝達      | イ 熱伝導 | ウ 反射 |
| エ 高インピーダンス | オ 高電力 |      |

2) 作業上の省エネルギー対策としては、温度管理を徹底することが考えられる。

抵抗炉を例にとると、温度制御によって被加熱物の無駄な加熱を防ぐためには、熱電対などで検出した炉内の温度を、目標設定部を持つ  に入力し、操作部へ信号を送って炉の発熱体に供給する電力を抑制することになる。この場合、精密に温度調整するために、操作部に半導体スイッチング素子を使った交流電力調整器が用いられることが多い。これを用いた電力調整方式では、位相制御の他に  制御がある。この制御は、位相制御に比べて高調波の発生が少ないという特徴がある。

<  及び  の解答群 >

- |         |         |           |
|---------|---------|-----------|
| ア カスケード | イ サイクル  | ウ デマンド    |
| エ 差圧継電器 | オ 指示調節計 | カ 電空ポジション |

(3) 質量 800 kg の被加熱物を 25℃ から 1200℃ に 45 分間で均一な温度に加熱する加熱設備がある。  
この加熱設備は熱的に安定した状態であり、設備の入力端における電力は 300 kW で一定とする。

1) 加熱設備の入力端におけるエネルギー原単位は  [kW・h/kg] である。

2) 被加熱物である金属の比熱は 0.678 kJ/(kg・K) であり、温度に関わらず一定とすれば、加熱正味熱量は  [kW・h] である。ただし、被加熱物は 1200℃ までは溶融しないものとする。

3) 加熱設備の単位時間当たりの熱損失は  $4 \times 10^4$  J/s で一定であるとすれば、この加熱設備の全電気効率は  [%] と求めることができる。

4) 省エネルギー対策として加熱設備の熱損失を 25% 削減した。その結果、従来と同様の加熱時間及び昇温量の条件で加熱した場合、加熱設備の入力端における電力は  [kW] に低減することができた。なお、省エネルギー対策による全電気効率の変化はないものとする。

<  ~  の解答群 >

ア	0.281	イ	0.375	ウ	0.500	エ	72.3	オ	85.9	カ	92.0
キ	133	ク	177	ケ	236	コ	286	サ	289	シ	291

(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。

また、 abc ~  a.bc 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) アルカリ蓄電池の種類と特徴について考える。

1) アルカリ蓄電池は質量基準の濃度 30 % 程度の  カリウムなどのアルカリ性水溶液を電解質とした二次電池の総称であり、ニッケル・カドミウム電池やニッケル・金属水素化物電池がその代表である。

<  の解答群 >

ア 硝酸                      イ 水酸化                      ウ 炭酸

2) ニッケル・金属水素化物電池の場合、充電状態では正極の活物質は  であり、放電するときにそれが  される。この電池は、ハイブリッド自動車などの用途では急速に充放電を繰り返す。急速に放電するときの電池の電圧の値は、ゆっくり放電するときの電圧の値  。充放電を繰り返したときの性能低下を表す指標の一つとして  がある。

<  ~  の解答群 >

ア オキシ水酸化ニッケル (NiOOH)	イ 金属水素化物 (MH)
ウ 水酸化ニッケル (Ni(OH) <sub>2</sub> )	エ サイクル寿命                      オ 放電寿命
カ 時間率                      キ 還元                      ク 酸化                      ケ 中和	
コ より高い                      サ より低い                      シ と変わらない	



(2) 燃料電池のエネルギー変換効率その他の諸量を求める。ここで、ファラデー定数を 26.80 A·h/mol、空気中の酸素濃度を 20% とし、気体は全て理想気体であり 22.4 L/mol とする。

1) 燃料電池の理論熱効率は、電気エネルギーへ変換されるべき燃料の燃焼反応のギブズエネルギー ( $\Delta G$ ) とエンタルピー ( $\Delta H$ ) より、式  で表される。

<  の解答群 >

ア  $\Delta G \cdot \Delta H$       イ  $\frac{\Delta G}{\Delta H}$       ウ  $\frac{\Delta H}{\Delta G}$

2) 水素・酸素燃料電池では、水素ガスを 1 モル消費すると、電子が  モル流れる。このとき必要な空気の体積は、水素の  倍である。家庭用燃料電池では、主に都市ガスを原燃料として水との反応で水素を含むガスを製造して燃料電池スタックの燃料とし、空気を酸化剤として運転する。このときの開回路電圧の値は、純粋な水素と酸素を燃料電池スタックに供給するときの電圧の値  。

<  ~  の解答群 >

ア 0.5      イ 1      ウ 2      エ 2.5      オ 5  
カ より高い      キ より低い      ク と変わらない

3) 水素・酸素燃料電池で、1.00 kA·h の電気量を得るために必要な水素は   [L] である。このとき、家庭用燃料電池システムの平均セル電圧が 0.750 V で、使用した燃料の燃焼熱が 5400 kJ であるとする、このシステムのエネルギー変換効率は   [%] である。

また、この家庭用燃料電池システムを構成するセルの放電特性が  $U = \alpha - \beta i$  で表されるとき、電池の出力密度  $p$  は  $p = U \cdot i$  で求められる。ただし、 $U$  は端子電圧、 $i$  は電流密度、 $\beta$  は電流密度基準の電圧勾配である。

ここで、 $\alpha = 0.9$  [V] とし、端子電圧が 0.750 V のときの電流密度が  $0.5 \text{ A/cm}^2$  であったとする。このことから、電流密度  $i$  を  $0.3 \text{ A/cm}^2$  として運転したときに得られる出力密度を求めると    $\times 10^{-1} \text{ [W/cm}^2\text{]}$  となる。

(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。なお、 は複数箇所あるが、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。なお、円周率は3.14とする。

(配点計 50 点)

(1) 照明用の光源として現在は LED が広く利用されているが、LED で白色を実現するためには、LED 素子に蛍光体を組み合わせる方式と、赤、緑、青の3種類の LED 素子を用いる方式が一般的である。

前者の方式で白色を得る場合、LED 素子には  LED 又は  LED が一般的に使われているが、より発光波長の長い  LED 素子を用いた方が、蛍光体で LED 発光の一部を吸収し再発光する際のストークス・ロスが少なく、発光効率の点では有利となる。最近の LED は、蛍光ランプや HID ランプなどの他の光源より発光効率が高く寿命も長い。LED 光源の光色は様々で、白色の実現方式によっても異なってくるが、その平均演色評価数は  である。

<  ～  の解答群 >

ア 青色      イ 赤色      ウ 黄色      エ 緑色      オ 紫外      カ 赤外  
キ 常に 70 以下      ク 常に 70 を超え 90 以下      ケ 90 を超えることも可能

(2) ある事務所の照明設計を行うため、直管蛍光ランプを用いた照明器具 A と直管 LED ランプを搭載した照明器具 B とを比較検討することにした。両者の主な仕様は表に示されているとおりであり、直管 LED ランプは照明器具に取り付けられた電源ユニットで点灯するタイプであるとする。

ここで、両者それぞれにおけるランプの消費電力を  $W_L$ 、点灯装置(電源ユニットあるいは安定器)の消費電力を  $W_D$ 、照明器具全体の消費電力を  $W_T$  としたとき、 $W_L + W_D = W_T$  の関係があり、表中の電源効率は、 $\frac{W_L}{W_T} \times 100$  [%] で表されるものである。また、両者の照明器具の配光分布、照明率及び保守率には差がなく考慮しないで良いこととする。

表 照明器具の主な仕様比較表

	搭載ランプの種類	ランプの1本 当たりの光束	ランプ効率	電源効率
1 灯用照明器具 A	直管蛍光ランプ	2000 lm	100 lm/W	90 %
1 灯用照明器具 B	直管 LED ランプ	1600 lm	160 lm/W	85 %

1) 事務所内のある部屋において、適切な作業面照度を得るのに、照明器具 A で直管蛍光ランプが 40 本必要であるとする、照明器具 B では直管 LED ランプが  [本] 必要である。

2) 作業面照度を同じとした場合、照明器具 B を採用すると照明器具 A を採用した場合に対して、約  [%] の電力低減となる。

<  及び  の解答群 >

ア 25          イ 34          ウ 38          エ 40          オ 41          カ 50

3) 省エネルギー性以外にも直管蛍光ランプの場合は  というデメリットがある。また、今回検討した直管 LED ランプの口金は GX16t-5 タイプで、直管蛍光ランプ用口金の G13 タイプとは形状が異なっている。この理由は、 のためである。

<  及び  の解答群 >

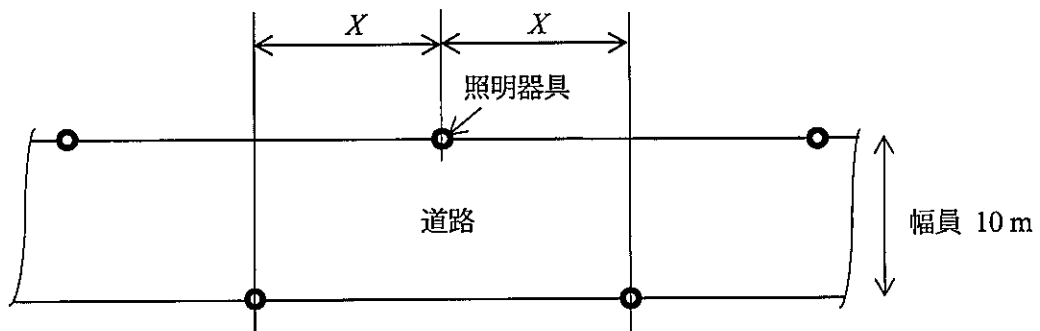
ア 価格優先	イ 誤接続防止による安全性の確保
ウ 新規デザインによる意匠性優先	エ 低温時に光束が低下しやすい
オ 点光源に近くまぶしい	カ 放熱フィンが必要になる

(3) 次の 1) ~ 3) の照明計算を行う。

1) 全光束が 31400lm の球形の光源（点光源とみなす）がある。全ての方向の光度が等しいとすると、その光度は  $\boxed{A \mid a.b} \times 10^3$  [cd] となる。

この光源を水平な床面上の高さ 2m の位置に設置したとき、床面上で直下より 1.5m 離れた位置での水平面照度は  $\boxed{B \mid a.b} \times 10^2$  [lx] となる。

2) 図に示すように、道路幅員が 10 m のアスファルト道路で照明器具を千鳥配列とし、平均路面輝度を  $1.0 \text{ cd/m}^2$  としたい。照明器具 1 台当たりの光源の光束を 30000lm、平均照度換算係数を  $15 \text{ lx}/(\text{cd/m}^2)$ 、照明率を 0.3、保守率を 0.7 とすると、照明器具の間隔  $X$  は  $\boxed{C \mid ab}$  [m] にすればよい。



図

3) 開口 19.2 m、奥行き 12.8 m、天井高さ 2.8 m のオフィスで、全般照明によって作業面の照度  $750 \text{ lx}$  以上が確保されていた。このとき使用した照明器具は蛍光ランプ 2 灯用器具で、器具 1 台当たりの消費電力は 86 W、蛍光ランプ 1 灯当たりの光束は 4950lm であり、照明率は 0.54、保守率は 0.70 であった。また、照明器具の設置台数は照度条件を満たす最小限の  $\boxed{D \mid ab}$  [台] であった。

この照明をタスク・アンビエント照明方式に改善した。使われていた照明器具の台数は変更しないで、蛍光ランプ 2 灯用を 1 灯用に変更してアンビエント照明とし、タスク照明の光源には新たに 1 台当たり 10W の LED を 30 台使用した。点灯時間は改善前後で変更がなく、照明は全て点灯するものとする、この改善により消費電力量を  $\boxed{E \mid ab}$  [%] 削減することができる。

(空 白)

(空気調和 - 選択問題)

問題 16 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。

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) 空調負荷を求める際の前提となる、外壁や窓など建築物の外皮を介して出入りする熱量を求めるために、熱貫流率  $U$  や日射熱取得率  $\eta$  が用いられる。ここで、図 1 に示すような厚さ 0.15m のコンクリートと、厚さ  $x$  [m] の断熱材からなる断面構成の外壁を介しての熱の移動について考える。

ここで、外壁を構成するコンクリートの熱伝導率  $\lambda_c$  が  $1.5 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 、断熱材の熱伝導率  $\lambda_R$  が  $0.05 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 、外壁の屋外表面の熱伝達率  $\alpha_o$  が  $23 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ 、屋内表面の熱伝達率  $\alpha_i$  が  $9 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$  であるとする。

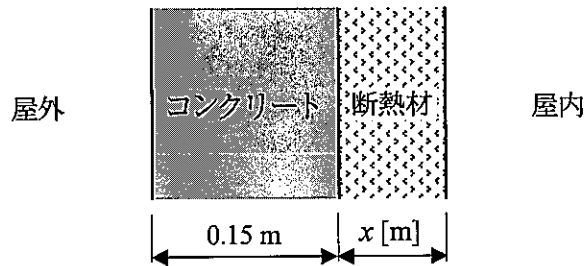


図 1

1) 外壁の断熱性能として、熱貫流率  $U$  が  $0.4 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$  以下であることが求められるときの最小限の断熱材の厚さ  $x$  と外壁の室内側表面温度を求める。

i) 熱貫流率  $U$  は、熱貫流抵抗  $R$  の逆数であることから、次式で表すことができる。

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{\boxed{1}} \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

<  の解答群 >

ア  $\alpha_o + \frac{0.15}{\lambda_c} + \frac{x}{\lambda_R} + \alpha_i$       イ  $\frac{1}{\alpha_o} + \frac{0.15}{\lambda_c} + \frac{x}{\lambda_R} + \frac{1}{\alpha_i}$       ウ  $\frac{1}{\alpha_o} + \frac{\lambda_c}{0.15} + \frac{\lambda_R}{x} + \frac{1}{\alpha_i}$

ii)  $\alpha_0$ 、 $\alpha_i$ の値が与えられており、コンクリート部分の熱抵抗の値が  [m<sup>2</sup>·K/W] と計算されることから、これらの値を式①に代入すれば  $U$  の条件を満たすために必要な断熱材の厚さ  $x =$   [m] が得られる。

〈  及び  の解答群 〉

ア 0.001      イ 0.010      ウ 0.072      エ 0.100      オ 0.112      カ 0.145

iii) 断熱材が ii) で求めた厚さのとき、外気温度が 0℃ で室温が 20℃ の定常状態であったとすると、内外温度差による外壁の単位面積当たりの貫流熱量  $Q_1$  の値は、 $Q_1 =$   [W/m<sup>2</sup>] となる。また、このときの外壁の室内表面温度は  [℃] となる。室内空気の露点温度が、この室内表面温度より  場合は表面結露が生じる恐れがある。

〈  ~  の解答群 〉

ア 8              イ 14              ウ 17              エ 19              オ 31              カ 50  
キ 高い              ク 低い

2) 次に、外壁単位面積当たりの日射が  $J$  [W/m<sup>2</sup>] で日射吸収率  $\varepsilon$  が 0.6 であるときの、日射による熱の取得について、日射熱取得率  $\eta$  を用いて考える。

日射により取得した熱量を、外壁面が日射を吸収することによる外気温の相当上昇分  $\Delta\theta$  の貫流熱とみなして評価すると、 $\Delta\theta$  は式  $\Delta\theta =$   [K] と表され、よって、単位面積当たりの貫流熱量  $Q_2$  は、式  $Q_2 =$   [W/m<sup>2</sup>] で表される。日射熱取得率はこれを  $J$  で除したものであるから、次式で表される。

$$\eta = \frac{\text{}}{J} \dots\dots\dots \text{②}$$

式②より、 $\eta$  の値は約  となり、窓からの日射取得に比べて極めて小さい値となる。

〈  ~  の解答群 〉

ア 0.01              イ 0.03              ウ 0.1              エ  $\varepsilon J \alpha_0$               オ  $\frac{\varepsilon J}{\alpha_0}$   
カ  $\frac{J}{\varepsilon \alpha_0}$               キ  $\frac{U \varepsilon J}{\alpha_0}$               ク  $\frac{U J}{\varepsilon \alpha_0}$               ケ  $\frac{U}{\varepsilon J \alpha_0}$

**問題 16 は次の頁に続く**

(2) ヒートポンプは、低温側の熱を高温側に汲み上げることのできる機器である。冷房目的で用いる場合は冷凍機と呼び、冷暖房兼用もしくは暖房目的に使う場合にヒートポンプと呼ぶことが一般的である。

1) 理想的な熱サイクルについて

ヒートポンプの原理は、図2に示す温度の異なる二つの熱源の間で作動する可逆的な熱力学のサイクルの一種である  サイクルの作動原理により説明することができる。

図2は、このサイクルを用いて高温熱源から低温熱源へと移動する熱の一部を仕事として取り出すときの作動を  $P-V$  線図上に示したものであり、サイクルは次の4過程から成っている。

A → B : 高温熱源から  $Q_1$  の熱を受けるが、温度  $T_1$  は一定である。

B → C : 熱の出入りはないが、仕事  $W$  を行い温度が下がる。

C → D : 低温熱源に  $Q_2$  の熱を放出するが、温度  $T_2$  は一定である。

D → A : 熱の出入りはないが、温度は上がる。

この中で、A → B は  過程、D → A は  過程である。

また、全ての熱サイクルにおいては高温熱源からの熱の全てを仕事に変換することは不可能であり、一部を低温熱源に捨てなければ作動せず、その効率は高温熱源と低温熱源との温度差が大きいほど高くなる。

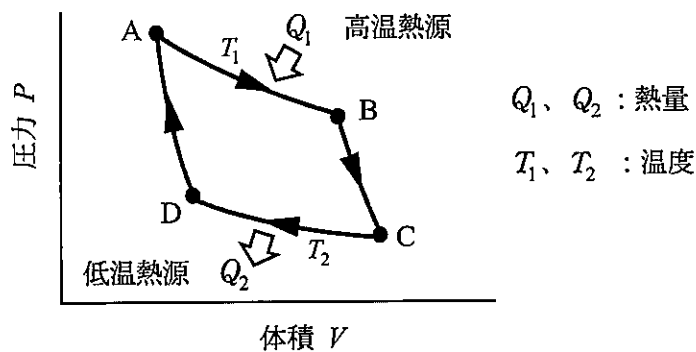


図2

<  ~  の解答群 >

- |        |          |        |        |
|--------|----------|--------|--------|
| ア カルノー | イ コンバインド | ウ ランキン | エ 断熱圧縮 |
| オ 断熱膨張 | カ 等温圧縮   | キ 等温膨張 |        |



## 2) ヒートポンプの原理と成績係数について

図2のサイクルは、逆サイクルに作動させることによって、仕事を加えることで低温熱源から熱を拾い高温熱源へと汲み上げることができる。これがヒートポンプの原理である。ヒートポンプとして利用するときの熱源機器としての性能は成績係数（COP）と呼ばれる指標で示すことができ、高温熱源と低温熱源との温度差が小さいほど成績係数は高くなる。したがって、冬季に大気よりも高温な都市排熱や河川などの未利用エネルギーを低温熱源として利用して高温熱源まで熱を汲み上げると、高い成績係数を期待することができる。例えば、熱源として15℃の河川水を利用して45℃の温熱を得る場合の成績係数を試算すると、その理論値は  $\frac{A}{ab.c}$  になる。ただし、0℃は273 Kとする。

## 3) 冷媒について

蒸気圧縮ヒートポンプの冷媒として用いられるフロンには、オゾン層破壊や地球温暖化などの環境上の課題がある。フロンの中でも  $\text{CFC}$  は、成層圏のオゾン層で太陽光によって分解されてオゾン層を破壊する力が大きいので、すでに全廃されてから10年以上が経過している。オゾン破壊係数が0であるいわゆる代替フロンといわれている  $\text{HFC}$  も、地球温暖化係数が大きいため、今後の使用の大幅削減に向けて取組み中であり、代替冷媒の普及が待たれる。

一方、一般の吸収冷凍機の冷媒は  $\text{NH}_3$  であり、環境上の問題はない。しかし、成績係数については、蒸気圧縮式の消費電力を一次エネルギー換算して比較すると、一般に吸収式の方が低くなる。

<  $\text{CFC}$  ～  $\text{HFC}$  の解答群 >

ア CFC

イ HFC

ウ HCFC

エ アンモニア

オ 臭化リチウム

カ 水

(空 白)

(空 白)

(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 <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。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。

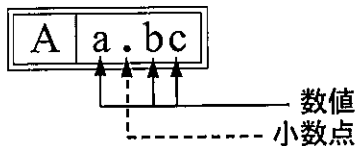
(2) 既に解答した数値を用いて次の問題以降の計算を行う場合も、必要に応じて四捨五入後の数値ではなく、四捨五入前の数値を用いて計算することなど、(1)の計算条件を満足すること。

(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

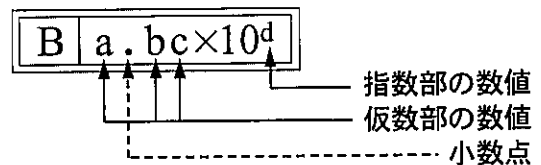
(解答)

「680」を  
塗りつぶす

A			
a	b	c	
0	0	0	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

「解答例2」

(設問)



(計算結果)

9.183... × 10<sup>2</sup>  
↓ 四捨五入  
9.18 × 10<sup>2</sup>

(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

(裏表紙)