

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

1～11 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	13～16 ページ
選択	問題14	電気化学		17～20 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 不正行為への対処

不正行為には厳正に対処する。不正行為を行った場合は、試験会場から退出させ、全課目の試験結果を無効とする。

具体的な不正行為については裏表紙を参照（※1）のこと。

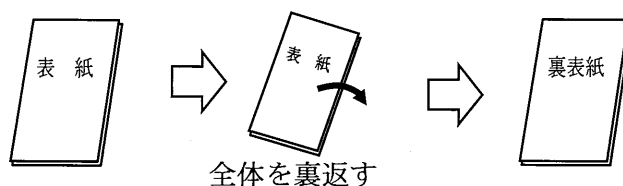
II 試験中における注意事項

1. 受験票は、机の上の見やすい位置に、常に置いておくこと。
2. 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、監督員に知らせること。
ただし、問題内容についての質問は一切受け付けない。
3. 試験終了後、問題冊子は持ち帰ること。
4. 以下の場合、監督員に挙手合図をすること。
・体調不良 ・水分補給が必要 ・トイレに行きたい

III 問題解答上の注意事項

1. 問題の解答は答案用紙(マークシート)に記入すること。
2. 答案用紙へ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。
3. 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。
4. その他の問題解答上の注意事項については裏表紙を参照（※2）のこと。

注意事項は、裏表紙に続くので、この問題冊子全体を裏返して必ず読むこと。
その際、冊子の中は決して見ないこと。



指示があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。

(電動力応用)

問題 11 次の各文章の 1 ～ 15 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) 誘導電動機の変速運転に用いられるベクトル制御の原理について等価回路を用いて考える。

電圧、周波数、負荷トルクなどが変化しない定常状態を考え、一次電圧を $\dot{V}_1$ [V]、一次電流を $\dot{I}_1$ [A]、二次電流を $\dot{I}_2$ [A]、一次角周波数を ω_1 [rad/s]、すべりを s 、一次自己インダクタンスを L_1 [H]、二次自己インダクタンスを L_2 [H]、一次と二次の間の相互インダクタンスを M [H]、一次抵抗を R_1 [Ω]、二次抵抗を R_2 [Ω] とする。ただし、鉄損電流は無視できるものとする。

一次・二次間の諸量の換算に通常用いられる巻数比 $\frac{n_1}{n_2} \approx \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$ の代わりに、換算係数として $a = \frac{M}{L_2}$ を用いて一次側を二次側に換算すると、図 1 の等価回路が得られる。 $a = \frac{M}{L_2}$ としたことにより、漏れインダクタンスが一次側に集約され、励磁インダクタンスは L_2 で表される。

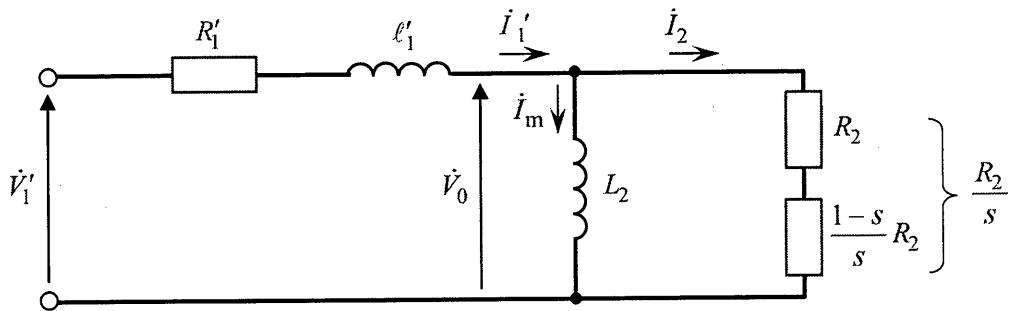


図 1 二次側に換算した三相誘導電動機の 1 相分の等価回路

1) 図 1 において、 $\dot{V}_1$ の二次側換算値 $\dot{V}_1'$ 、 $\dot{I}_1$ の二次側換算値 $\dot{I}_1'$ 、 R_1 の二次側換算値 R_1' 及び漏れインダクタンス ℓ_1 [H] の二次側換算値 ℓ_1' は次の式①～④で表される。

$$\dot{V}_1' = \frac{\dot{V}_1}{a} \text{ [V]} \quad \dots\dots\dots \text{①}$$

$$\dot{I}_1' = \text{ 1 } \times \dot{I}_1 \text{ [A]} \quad \dots\dots\dots \text{②}$$

$$R_1' = \text{ 2 } \times R_1 \text{ [}\Omega\text{]} \quad \dots\dots\dots \text{③}$$

$$\ell_1' = \frac{1}{a^2} \ell_1 \text{ [H]} \quad \dots\dots\dots \text{④}$$

ただし、漏れ係数を σ とすると、漏れインダクタンス ℓ_1 は次の式⑤で表される。

$$\ell_1 = \sigma L_1, \quad \sigma = 1 - \frac{M^2}{L_1 L_2} \quad \dots\dots\dots \text{⑤}$$

< 1 及び 2 の解答群 >

ア a イ a^2 ウ $\frac{1}{a}$ エ $\frac{1}{a^2}$

2) ベクトル制御では励磁電流による磁束 Φ を位相の基準として考えることから、励磁電流の大きさを I_m とし、 $\dot{I}_m = \dot{I}'_1 - \dot{I}_2 = I_m$ とすると、次の式⑥が成り立つ。

$$\dot{\Phi} = \Phi = \text{ 3 } [\text{Wb}] \quad \dots\dots\dots \text{⑥}$$

このとき、この磁束による誘起電圧 $\dot{V}_0$ は、次の式⑦のように表される。

$$\dot{V}_0 = jV_0 = j \text{ 4 } [\text{V}] \quad \dots\dots\dots \text{⑦}$$

また、等価回路と式⑦より、 $\dot{I}_2$ は次の式⑧のように計算され、 $\dot{I}_2 = jI_\tau$ と表すことができる。

なお、 I_τ はトルク電流であり、滑り s が負となる回生動作では I_τ も負となる。

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{V}_0}{\left(\frac{R_2}{s}\right)} = j \frac{s\omega_1\Phi}{R_2} = jI_\tau [\text{A}] \quad \dots\dots\dots \text{⑧}$$

従って、磁束の位相を基準とするベクトル制御では、一次電流 $\dot{I}'_1$ が励磁電流 I_m とそれに直角な成分 I_τ のベクトル和となるように制御される。

$$\dot{I}'_1 = I_m + \dot{I}_2 = I_m + jI_\tau \quad \dots\dots\dots \text{⑨}$$

< 3 及び 4 の解答群 >

ア $\ell'_1 I_m$ イ $L_2 I_m$ ウ $R'_1 I'_1$ エ $\omega_1 \Phi$ オ $s\omega_1 \Phi$

3) 式⑦及び式⑧より、三相全体での二次入力（同期ワット）を求めると $3V_0I_\tau$ であり、電動機の極数を P とすると、トルク τ は次のように表すことができる。

$$\tau = \frac{3}{2}P \times \text{ 5 } [\text{N}\cdot\text{m}] \quad \dots\dots\dots \text{⑩}$$

< 5 の解答群 >

ア $L_2 I_m$ イ $L_2 I_\tau$ ウ ΦI_m エ ΦI_τ

問題 11 は次の頁に続く

4) 一方、式⑥及び式⑧より、すべり角周波数 ω_s は、次のように定める必要があることが分かる。

$$\omega_s = s \omega_1 = \boxed{6} \text{ [rad/s]} \dots\dots\dots \text{⑪}$$

従って、一次角周波数 ω_1 は速度センサにより検出した回転速度 ω_m (電気角換算) に式⑪の ω_s を加算して決定することになる。このような制御を $\boxed{7}$ 形ベクトル制御と呼ぶ。

＜ $\boxed{6}$ の解答群 ＞

- ア $\frac{L_2}{R_2} \frac{I_m}{I_r}$ イ $\frac{L_2}{R_2} \frac{I_r}{I_m}$ ウ $\frac{R_2}{L_2} \frac{I_m}{I_r}$ エ $\frac{R_2}{L_2} \frac{I_r}{I_m}$

＜ $\boxed{7}$ の解答群 ＞

- ア 磁束検出 イ 滑り周波数 ウ 速度検出 エ 直接

(2) 図2は、カゴに積載した荷(積荷)を斜面に沿って引き上げる二つの方式の巻上装置について、簡略に図示したものであり、図2(a)は、一つのカゴを繋いだワイヤロープを巻胴で巻き取る片側巻上げ式である。巻胴と電動機の回転軸は直結しており、巻胴の回転動作は電動機によって駆動され、巻胴にトルクを与えなければ巻胴は逆回転し、カゴは重力の作用で斜面に沿って降下する。図2(b)は、一つの巻胴に巻かれたワイヤロープの片端にカゴA、反対側の端にカゴBを繋ぎ、巻胴を回転させて片側のカゴを引き上げると、反対側のカゴが引き下がる仕組みのつるべ式である。この二つの巻上方式の所要動力等について比較する。

両図において、斜面の角度 θ は 30° 、一つのカゴの質量は 50kg 、巻胴の直径は 1m 、電動機の出力は 40kW とする。走行抵抗は、カゴと斜面の間に生じる摩擦力のみとし、重力加速度 g を用いて単位質量当たり $12 \cdot g \times 10^{-3} \times \cos \theta \text{ [N/kg]}$ とする。ただし、 g は 9.8m/s^2 とする。なお、ワイヤロープの質量は無視でき、走行抵抗以外の外力は無いものとして考える。

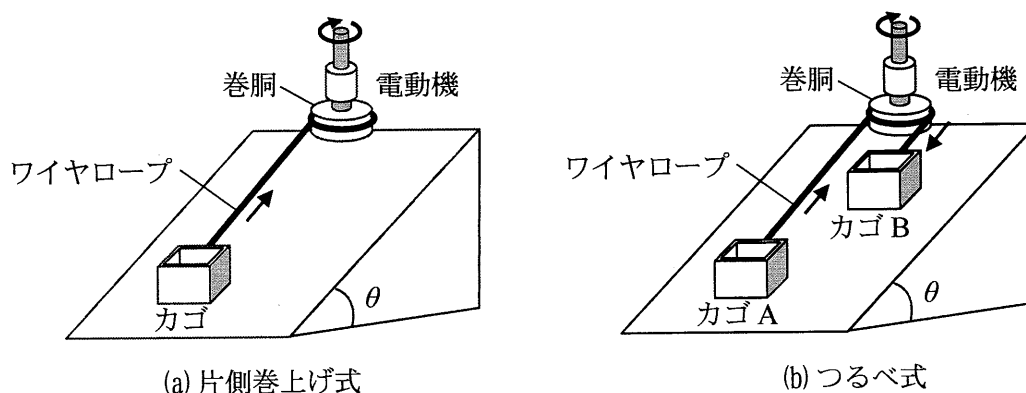


図2 巻上装置の簡略図

1) まず、積荷のないカゴのみの状態で、等速で引き上げる場合の電動機の所要動力を考える。

i) 図2 (a) の片側巻上げ式では、カゴに作用する重力により、斜面に沿って下向きに働く力は [N] となり、引き上げる際の走行抵抗は [N] である。これらの力を合計すれば、巻胴の半径が0.5mであるから、カゴの等速での引き上げ時における巻胴の回転軸の所要トルク [N・m] が求められる。

＜ の解答群 ＞

ア 245 イ 265 ウ 386 エ 424 オ 490

＜ の解答群 ＞

ア 4 イ 5 ウ 8 エ 12 オ 16

＜ の解答群 ＞

ア 125 イ 155 ウ 196 エ 215 オ 245

ii) 片側巻上げ式で、例えばカゴを斜面に沿って9 km/h の等速で引き上げるとき、巻胴及び電動機の回転軸の角速度は [rad/s] となる。このとき、電動機の所要動力は、回転軸に作用するトルクと角速度の積として求められ、 [W] となる。

＜ の解答群 ＞

ア 2.5 イ 5 ウ 10 エ 27 オ 32

＜ の解答群 ＞

ア 313 イ 625 ウ 1250 エ 2500 オ 4000

問題 11 は次の頁に続く

iii) 一方、図2 (b) のつるべ式では、カゴ A 及び B に重力により斜面に沿って等しい下向きの力が働くので、重力の作用で巻胴を回転させるトルクは生じない。ただし、カゴの引き上げ（下げ）により走行抵抗はカゴ 2 台分生じるから、これのみを考慮して、等速でのカゴの引き上げ（下げ）時の巻胴の回転軸の所要トルク 13 [N・m] が求められる。したがって、例えばカゴを斜面に沿って9km/hの等速で引き上げ（下げ）するとき、電動機の所要動力は 14 [W] となる。

＜ 13 の解答群 ＞

ア 5 イ 10 ウ 20 エ 30 オ 40

＜ 14 の解答群 ＞

ア 13 イ 25 ウ 32 エ 44 オ 50

2) 次に、積荷のあるカゴの状態、等速で引き上げる場合の電動機の所要動力を考える。

図2 (a) の片側巻上げ式では、例えば100kgの荷をカゴに積載すると、引き上げられる質量は積荷なしのときの3倍になる。このとき、重力により斜面に沿って下向きに働く力も、走行抵抗も3倍になることから、電動機の所要動力及び所要トルクも3倍になる。

一方、図2 (b) のつるべ式では、カゴ A のみに100kgの荷を積載して引き上げるとき、片側巻上げ式と比べて、空のカゴ B が降下する際に生じる分の力が、電動機の所要トルクから減じられる。空のカゴ B が降下する際に斜面に沿って下向きに働く力から、カゴ B の走行抵抗を差し引いた力が、カゴ A を引き上げる方向に巻胴を回転させるトルクを生じさせる。カゴ B によるトルクは 15 [N・m] であり、等速運転時にはこのカゴ B が降下する分のトルク分の動力が省エネルギーに寄与することになる。

＜ 15 の解答群 ＞

ア 120 イ 130 ウ 200 エ 240 オ 250

(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。(配点計 50 点)

(I) 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。

1) 水平な車道を一定速度 v [m/s] で直進するために必要な駆動力 F は次式で求めることができる。

$$F = C_r M g + \frac{1}{2} \rho C_d A v^2 \text{ [N]} \quad \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

ここで、 M [kg] は乗員を含めた車両の質量、 C_r は転がり抵抗係数、 g [m/s²] は重力加速度、 ρ [kg/m³] は空気の密度、 C_d は空気の抵抗係数、 A [m²] は前面投影面積である。

このとき、駆動系の効率を η [%]、駆動系の制御回路、照明、オーディオなどの駆動力に関係のない消費電力の合計を P_0 [W] とすると、電源から供給される電力 P は、次式で与えられる。

$$P = \frac{100}{\eta} \left(C_r M g + \frac{1}{2} \rho C_d A v^2 \right) v + P_0 \text{ [W]} \quad \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

一方、走行時間を T [s] とすると、走行距離 X [m] は $X = v T$ であり、消費エネルギー E [J] は $E = P T$ であることから、単位距離を走行するために必要な消費エネルギー e は次式で表すことができる。

$$e = \frac{E}{X} = \frac{100}{\eta} C_r M g + \frac{100}{\eta} \frac{1}{2} \rho C_d A v + \frac{1}{v} P_0 \text{ [kJ/km]} \quad \dots\dots\dots \textcircled{3}$$

e の値が小さいほど電気自動車の性能が良いことを示す。式③で転がり抵抗に関する右辺第 1 項は速度に依存しないが、空気抵抗に関する第 2 項は速度の 2 乗に比例し、 P_0 に関する第 3 項は速度が低下すると急速に増加する。

式③の右辺を v の関数と考え、 v で微分して、その値を零とすると次式が得られる。

$$\frac{100}{\eta} \rho C_d A v - \frac{1}{v^2} P_0 = 0 \quad \dots\dots\dots \textcircled{4}$$

式④より e が最小となる速度 v_0 と、そのときの e の値 e_0 を求めることができる。

$$v_0 = \left(\frac{\eta}{100} \frac{P_0}{\rho C_d A} \right)^{\frac{1}{3}} \text{ [m/s]} \quad \dots\dots\dots \textcircled{5}$$

$$e_0 = \frac{100}{\eta} C_r M g + \frac{100}{\eta} \frac{1}{2} \rho C_d A v_0^2 + \frac{1}{v_0} P_0 = \frac{100}{\eta} C_r M g + \boxed{1} \text{ [kJ/km]} \quad \dots\dots\dots \textcircled{6}$$

< 1 の解答群 >

ア $\frac{1}{v_0} P_0$ イ $\frac{3}{2} \frac{1}{v_0} P_0$ ウ $2 \frac{1}{v_0} P_0$ エ $\frac{5}{2} \frac{1}{v_0} P_0$

2) 電気自動車の燃費（電費）では単位として [Wh/km] が使用されるが、 e の単位を [kJ/km] から [Wh/km] に変更するためには、式③や式⑥の結果を 3.6 で除する必要がある。

一例として、 $M = 2\,000$ [kg]、 $C_r = 0.006$ 、 $C_d = 0.3$ 、 $A = 2.0$ [m²]、 $\eta = 90$ [%] と比較的性能の良い自動車を考え、 $g = 9.8$ [m/s²]、 $\rho = 1.2$ [kg/m³] とすると、次の結果を得る。

$$v_0 = (1.25P_0)^{\frac{1}{3}} = 1.077(P_0)^{\frac{1}{3}} \text{ [m/s]}, \quad e_0 = \boxed{2} + 1.392(P_0)^{\frac{2}{3}} \text{ [kJ/km]} \quad \cdots \cdots \textcircled{7}$$

したがって、 P_0 を 1 000 W とすると、 $v_0 = 10.8$ m/s、 $e_0 = 269.9$ [kW/km] = 75.0 [Wh/km] となる。 P_0 を 125 W まで減らせれば、 $v_0 = \boxed{3}$ [m/s]、 $e_0 = 165.5$ [kW/km] = 46.0 [Wh/km] となる。このように、 $v = v_0$ として運転すると、電費は良い値となる。

< $\boxed{2}$ の解答群 >

ア 130.7 イ 135.2 ウ 140.8 エ 145.5 オ 150.3

< $\boxed{3}$ の解答群 >

ア 2.39 イ 3.38 ウ 4.38 エ 5.39 オ 6.39

3) 一方、式③より $P_0 = 1\,000$ W とし、 $v = v_0$ のときについて、全体の e の中での $\frac{1}{v}P_0$ の割合を求めると、次の結果が得られ、 P_0 が大きいときには、 e の中での $\frac{1}{v}P_0$ の比率が大きいことが分かる。

$$\frac{\frac{1}{v}P_0}{e} = \frac{\frac{1}{v_0}P_0}{\frac{100}{\eta}C_r M g + \frac{100}{\eta} \frac{1}{2} \rho C_d A v_0^2 + \frac{1}{v_0}P_0} = \boxed{4} \quad \cdots \cdots \textcircled{8}$$

< $\boxed{4}$ の解答群 >

ア 0.325 イ 0.335 ウ 0.344 エ 0.356 オ 0.37

4) エアコンなど駆動系以外の消費電力 P_0 は特に低速で電費を大きく増加させ、限られた蓄電池容量での走行距離を大幅に低下させる。したがって、電気自動車では、車体の軽量化や空力性能の改善に加え、駆動系以外の消費電力を低減するため、車体や窓ガラスの $\boxed{5}$ の改善、空調システム高効率化、照明システムの低電力化などが不可欠となる。

< $\boxed{5}$ の解答群 >

ア 耐久性 イ 断熱性 ウ 導電性 エ 防水性

問題 12 は次の頁に続く

- 5) 電気自動車の蓄電池の利用できる容量が 100kWh のとき、800km を走行するためには、電費を平均して 6 [Wh/km] 以下とする必要がある。

〈 6 の解答群 〉

ア 80 イ 95 ウ 100 エ 125 オ 135

- (2) 定格点において、流量が Q_N [m^3/min]、全揚程が H_N [m]、ポンプ効率が η_N [%]、回転速度が n_N [min^{-1}] で表される送水ポンプの軸動力について考える。ここで、水の密度を ρ [kg/m^3]、重力加速度を g [m/s^2] とする。

- 1) この送水ポンプを定格運転したときの軸動力について

定格運転時に送水ポンプから1秒あたりに吐出される水の質量は、式 7 [kg/s] で表される。この質量を H_N [m] 持ち上げるのに必要な動力は、式 8 [W] で表される。これがポンプの所要動力となる。また、 H_N [m] の水柱の底面に加わる圧力は $\rho g H_N$ [kg/m^2] と表されるので、これに流量を乗じても所要動力を求められる。

このときの電動機の軸動力は、式 9 [W] で表される。

〈 7 の解答群 〉

ア $\frac{Q_N}{60}$ イ $\frac{g Q_N}{60}$ ウ $\frac{\rho Q_N}{60}$ エ $\frac{\rho g Q_N}{60}$

〈 8 の解答群 〉

ア $\frac{Q_N H_N}{60}$ イ $\frac{g Q_N H_N}{60}$ ウ $\frac{\rho Q_N H_N}{60}$ エ $\frac{\rho g Q_N H_N}{60}$

〈 9 の解答群 〉

ア $\frac{5\rho Q_N H_N}{3\eta_N}$ イ $\frac{5\rho g Q_N H_N}{3\eta_N}$ ウ $\frac{3\eta_N \rho Q_N H_N}{5}$ エ $\frac{3\eta_N \rho g Q_N H_N}{5}$

- 2) この送水ポンプを定格の 50% の流量で運転したときの軸動力について

この送水ポンプの全揚程、流量、ポンプ効率、回転速度を定格点での諸量で正規化したところ次式の関係が得られた。

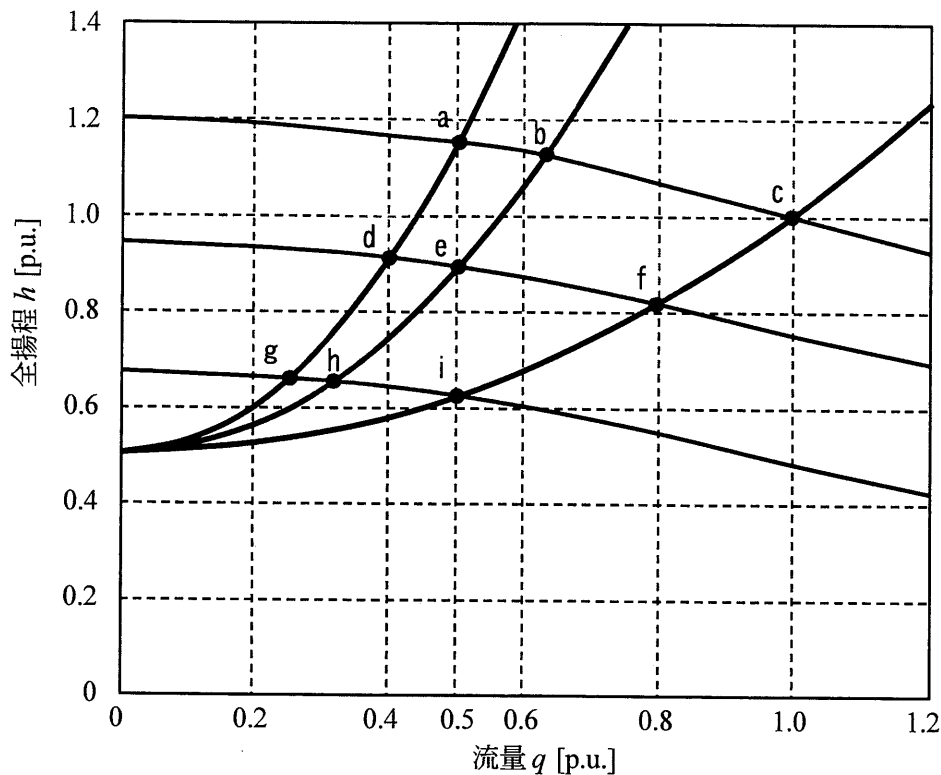
$$h = 1.2(n^*)^2 - 0.2q^2 \quad \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

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

ただし、 h [p.u.]、 q [p.u.]、 η^* [p.u.]、 n^* [p.u.] はそれぞれ定格点で正規化した全揚程、流量、ポンプ効率、回転速度である。また、吐出し弁が全開のとき、実揚程を含む管路抵抗 r [p.u.] の特性として次式が得られた。

$$r = 0.5 + 0.5q^2 \quad \dots\dots\dots ③$$

ここで、流量を定格の 50% とする方法として、吐出し弁制御による場合と電動機の回転速度制御による場合について比較することとする。図は、このポンプの流量と全揚程を定格値でモデル化したものであり、二つの制御方式を用いたときについて示してある。



図

- i) 定格の 50% 流量とする場合の運転点は、吐出し弁の制御による場合は図の 10 点であり、電動機の回転速度制御による場合は図の 11 点である。

< 10 及び 11 の解答群 >

ア a	イ b	ウ c	エ d	オ e
カ f	キ g	ク h	ケ i	

問題 12 は次の頁に続く

ii) 吐出し弁の制御により定格の50%流量で運転する場合、式①及び式②より、電動機の正規化された軸動力は [p.u.] と計算できる。

iii) 電動機の回転速度制御により定格の50%流量で運転する場合、式①、式②及び式③より、電動機の正規化された軸動力は [p.u.] と計算できる。

〈 及び の解答群 〉

ア 0.125 イ 0.352 ウ 0.625 エ 0.750 オ 0.767 カ 0.889

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。(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) 物体は、その性質及び温度に応じて、表面から としてエネルギーを放出している。放出されたエネルギーを他の物体が受けると、その一部は表面で反射し、一部は吸収され、残りは物体を透過する。エネルギーの吸収によって、物体を構成する原子や分子の運動（振動）が増幅し、物体の温度が上昇する。このような熱の移動現象は 伝熱と呼ばれるもので、この原理を利用した加熱方式が である。

< の解答群 >

ア 磁束線 イ 電気力線 ウ 電子流 エ 電磁波

< の解答群 >

ア 対流 イ 伝導 ウ 放射 エ 誘起

< の解答群 >

ア 赤外加熱 イ 電子ビーム加熱 ウ 誘電加熱 エ 誘導加熱

2) プラズマとは、ほぼ等しい数の電子と正イオン及び励起された分子・原子、中性気体流などを含み、全体として電氣的に中性の状態を保つ した状態の気体である。工業用に利用されるプラズマは、熱プラズマと低温プラズマの 2 種類に大別される。大気圧の気流中のアーク放電によって得られるアークプラズマは、代表的な熱プラズマである。その応用例として、アルゴンなどを作動ガスとして、水冷されたノズル状の銅製の陽極とタングステン製の陰極の間でのアーク放電により、ノズルから高温高速のプラズマジェットを噴出させ、セラミックや合金の粉末を素材表面に吹き付ける がある。

< の解答群 >

ア 共電解 イ 重縮合 ウ 電離 エ 融合

< の解答群 >

ア アトマイズ イ エッチング ウ 焼結 エ 溶射

(2) 電気加熱装置に使用される材料について考える。

1) 間接抵抗加熱の熱源として用いられる発熱体は、使用温度や雰囲気などに応じて適宜選定される。一般に、発熱体の素材として望まれる主な性質としては、抵抗率が大きいこと、高温での変形が少ないこと、加工が容易であること、高温で [6] が高いこと、抵抗の温度係数が小さいこと、高温での脆化が少ないことなどが挙げられる。

金属発熱体では、ニッケル・クロム系合金の発熱体が 1200℃ 以下、[7] 系合金の発熱体が 1400℃ 以下の大気中で多く使用されている。高温用途には、高融点金属が使用されるが、モリブデンやタングステンは [6] が劣るので還元雰囲気もしくは真空中で使用される。

非金属発熱体としては、[8] 、ニケイ化モリブデン、ランタンクロマイトなどの発熱体がある。1600℃ 以下の大気中で使用できる代表的な非金属発熱体が [8] であり、棒状、U 形、W 型、スパイラル形など種々の形状のものがある。

〈 [6] の解答群 〉

ア 線膨張率 イ 耐酸化性 ウ 熱拡散率 エ 熱浸透率

〈 [7] の解答群 〉

ア クロム・アルミ イ チタン・アルミ ウ 鉄・クロム・アルミ エ 銅・ニッケル

〈 [8] の解答群 〉

ア チタン酸バリウム イ 黒鉛 ウ 炭化アルミニウム エ 炭化ケイ素

2) 加熱設備の熱効率を高めるため、使用目的によって耐火材、断熱材、保温材が適宜組み合わせて利用される。これらの材料に望まれる主な性質としては、熱伝導率が低いこと、高温下でも強度があること、[9] が小さいこと、軽量であることなどが挙げられる。また、抵抗加熱などの場合は、高温下でも十分な電気絶縁性を有していることが必要となる。

断熱性能向上のために断熱材の厚さを増すと、それに伴い蓄熱量が増加するため、炉壁の昇温に要するエネルギーが増加する。断熱材に [10] を利用することは、このような損失を低減する上で大きな効果がある。

〈 [9] の解答群 〉

ア 温度勾配 イ 熱抵抗 ウ 熱伝達率 エ 比熱

〈 [10] の解答群 〉

ア セラミックファイバ イ 黒鉛質耐火物
ウ 耐火断熱レンガ エ 不定形耐火物

問題 13 は次の頁に続く

(3) 3 000 kg の鋳鉄を溶解する誘導炉設備がある。この炉に 25℃ の溶解材料を投入して溶解したのち、1500℃ で保温している。このときの入力端における電力を測定した結果を図に示す。設備の定格電力は 1800 kW であるが、他の設備の運転状況に応じて電力を制限した運転を行ったもので、溶解を開始してから温度が 1500℃ に到達するのに要した時間は 55 分であった。

ただし、炉は熱的に定常状態にあるものとして、単位時間当たりの炉体熱損失は一定とし、誘導炉設備の全電気効率_全は運転電力によらず常に一定とする。なお、全電気効率_全は次式で表されるものである。

$$\text{全電気効率} = \frac{\left(\frac{\text{正味熱量}}{\text{溶解時間}} + \text{熱損失} \right)}{\text{設備入力}}$$

ここで、鋳鉄の比熱は固相、液相に関わらず 0.792 kJ/(kg・K) で温度によらず一定とし、溶解潜熱は 214 kJ/kg とする。

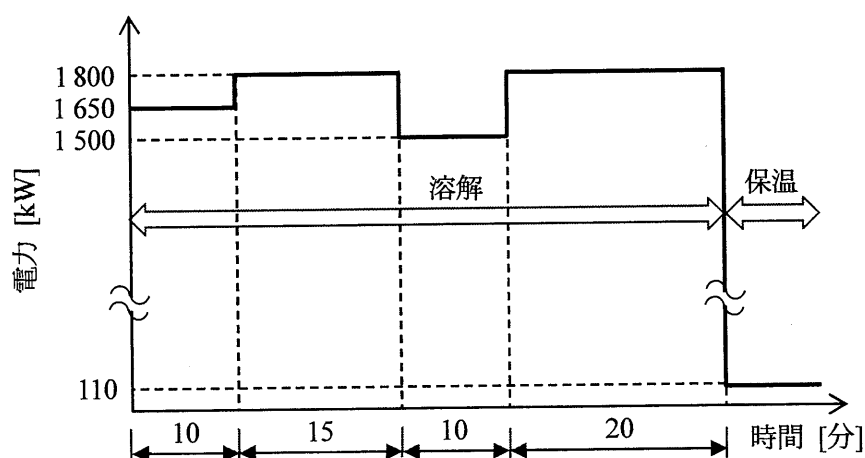


図 溶解過程の入力端における電力

- 1) この炉において、3 000 kg の材料の溶解を開始してから温度が 1500℃ に到達するのに要したエネルギー原単位は [kW・h/kg] である。

< の解答群 >

ア 0.504 イ 0.525 ウ 0.536 エ 0.550 オ 0.573

- 2) 25℃ の材料を溶解し 1500℃ に昇温するために必要な単位質量当たりの正味熱量は、12 [kWh/kg] である。

＜ 12 の解答群 ＞

ア 0.325 イ 0.331 ウ 0.358 エ 0.370 オ 0.384

- 3) 溶解が完了した後に 1500℃ で保温するためには、炉体熱損失に相当する電力を供給する必要がある。この電力を測定したところ、入力端における電力は 110kW であった。このときの熱損失が溶解過程における熱損失に等しいとすれば、この溶解炉設備の全電気効率は 13 [%] と求めることができる。

＜ 13 の解答群 ＞

ア 76.6 イ 77.2 ウ 78.1 エ 78.7 オ 79.5

- 4) 電力の制限を受けることなく、設備定格の 1800kW で連続運転した場合には、3000kg の材料を溶解し 1500℃ に昇温するための時間は、14 [分] に短縮される。

＜ 14 の解答群 ＞

ア 50.4 イ 51.1 ウ 51.6 エ 52.3 オ 52.9

(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。(配点計 50 点)

(1) 電気化学システム及びその応用について考える。

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、脱電子反応が起こる と、受電子反応すなわち 反応が起こる対となる電極とがある。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 伝導体である である。これらの要素は、それぞれの電荷担体の伝導性の良いことが必要である。

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。これらを利用することにより、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。

〈 の解答群 〉

ア アノード イ カソード ウ 対極 エ 負極

〈 の解答群 〉

ア 還元 イ 酸化 ウ 重合 エ 中和

〈 の解答群 〉

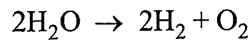
ア イオン イ ホール ウ 電子 エ 熱

〈 の解答群 〉

ア セパレータ イ 絶縁膜 ウ 電解質 エ 伝導膜

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 3

エ 4

問題 14 は次の頁に続く

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。

- i) 電気化学システムを用いて、純度の低い金属を高純度化するプロセスは 6 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。

〈 6 の解答群 〉

ア 蒸留 イ 電解合成 ウ 電解精製 エ 電解めっき

- ii) 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 7 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、8 を含む水溶液が用いられる。この構成の電気分解により、適切な電解条件であれば、一段で純度 99.99% 以上の高純度の銅が生成する。

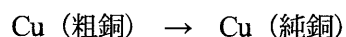
〈 7 の解答群 〉

ア アノード イ カソード ウ 陰極 エ 作用極

〈 8 の解答群 〉

ア 塩酸 イ 水酸化カリウム ウ 硫化ナトリウム エ 硫酸

- iii) この電気分解では、不純物と銅の持つ 9 の差を利用する。電圧を巧みに制御することにより、9 が銅 10 不純物は溶出して電解液中に残り、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 11 [個] である。

〈 9 の解答群 〉

ア イオン化傾向 イ 活性化エネルギー ウ 静電力 エ 電気陰性度

〈 10 の解答群 〉

ア と同程度の イ より多い ウ より大きな エ より小さな

〈 11 の解答群 〉

ア 1 イ 2 ウ 3 エ 4

(2) 電解システムの効率について考える。ここで、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 5.00 mol の水素を作るのに必要な理論電気量は [A·h] である。ある温度での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 1.79 V であった。このときの電圧効率は [%] 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 10.00 kg 得るのに必要な理論電気量は [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 9.36 kg であった。このときの電流効率は [%] である。

< の解答群 >

ア 34 イ 67 ウ 134 エ 268 オ 536

< の解答群 >

ア 34 イ 65 ウ 68 エ 70 オ 72

< の解答群 >

ア 8.94 イ 4 220 ウ 8 440 エ 84 400 オ 134 000

< の解答群 >

ア 9.4 イ 90 ウ 92 エ 94 オ 98

(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。(配点計 50 点)

(1) 照明用の白色 LED (発光ダイオード) は、最近では発光効率 [lm/W] が著しく向上している。

ここでは、省エネルギー性を中心に、これまで汎用的に用いられてきた蛍光灯との違いについて考える。

1) ある部屋の照明を直管蛍光灯器具から直管 LED 器具へ交換することにより省エネルギーを図ることにした。交換前の直管蛍光灯器具の固有エネルギー消費効率が 100 lm/W、交換する直管 LED 器具の固有エネルギー消費効率が 160 lm/W であるとする、部屋全体で 8 万 lm の光束値を得ている場合、節減可能な電力は [W] である。

〈 の解答群 〉

ア 200 イ 300 ウ 400 エ 500 オ 600

2) 被照射物の見え方の良し悪しによって照明光の質を論ずる場合は を尺度に用いるが、現在の照明用 LED のその値は蛍光灯と同等のレベルであり、一般的に室内で求められる という値を満足する製品が容易に入手できる。

〈 の解答群 〉

ア グレア イ 相関色温度 ウ 標準比視感度 エ 平均演色評価数

〈 の解答群 〉

ア 45 イ 80 ウ 100 エ 120

3) 蛍光灯は発光効率が LED を下回り、省エネルギー性が高いとは言えなくなったこと、また環境的側面からは、水俣条約を受けて制定された法律の規制対象となっており、2028年1月1日以降は全ての一般照明用蛍光灯製品の国内生産及び輸出入が禁止される。この法律の規制対象となっているランプは蛍光灯以外にも がある。

＜ の解答群 ＞

ア ハロゲンランプ

イ メタルハライドランプ

ウ 高圧水銀ランプ

エ 高圧ナトリウムランプ

4) 白色 LED と蛍光灯では発光原理が異なるものの、共に蛍光体を用いて広義の白色（黒体軌跡から離れていない光色という意味）を得ている点では共通している。ただし、蛍光灯では前述した蛍光体からの発光が波長 254nm の を励起源としているのに対し、白色 LED では、波長のピークが 450nm 前後にある青色 LED 光を励起源としている。このように短い波長の光で励起して、長い波長の光を発生させることを という。どちらの場合も、エネルギーの高い光からエネルギーの低い光への変換の際に、ストークスシフトに相当する を伴う。

＜ の解答群 ＞

ア 紫外放射

イ 赤外放射

ウ 電子線

エ 熱放射

＜ の解答群 ＞

ア エレクトロルミネセンス

イ フォトルミネセンス

ウ 電子線ルミネセンス

エ 放射線ルミネセンス

＜ の解答群 ＞

ア 2次発光

イ 再結合

ウ 多重反射

エ 熱損失

問題 15 は次の頁に続く

(2) 次の照明計算を行う。ただし、円周率 π は 3.14 とする。

1) 幅 2.0 m、長さ 4.0 m の布に光束 800 lm が入射している。

i) このときの布上の照度は [lx] となる。

＜ の解答群 ＞

ア 0.01 イ 12.5 ウ 100 エ 800 オ 6 400

ii) 布上の光束発散度が 30 lm/m^2 であったとき、布の反射率は [%] となる。

＜ の解答群 ＞

ア 0.47 イ 3.75 ウ 7.5 エ 15 オ 30

2) 半径が 0.2 m で透過率が 75 % の乳白色のガラス球があり、その中心に、全ての方向に光度 $\frac{750}{\pi} \text{ cd}$ を持つ光源が置かれている。このガラス球を、その中心が作業面上からの高さが 2.5 m になるように設置する。ただし、乳白色のガラス球は均等拡散面とし、ガラス球内での反射は無視するものとする。

i) この光源のガラス球内面の照度は [lx] となる。

＜ の解答群 ＞

ア 151 イ 1 492 ウ 2 786 エ 5 971 オ 23 890

ii) 乳白色ガラスの厚みを無視したとき、ガラス球外面の光束発散度は [lm/m^2] となる。

＜ の解答群 ＞

ア 113 イ 1 119 ウ 2 240 エ 4 479 オ 17 910

iii) この乳白色ガラス球はガラス球の中心を光中心とした均等配光の光源と考えることができる。

このとき、ガラス球直下の作業面上の点における水平面照度は 12 [lx]となる。

＜ 12 の解答群 ＞

ア 14

イ 29

ウ 60

エ 318

オ 896

(空調調和 - 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。(配点計 50 点)

(1) 吸収冷凍機及び冷却塔について考える。

1) 吸収冷凍機は、主に蒸発器、吸収器、再生器及び凝縮器から成り、これらの機器で構成される冷凍サイクルにおいて、サイクル内を循環する冷媒と、冷媒を吸収させるための吸収液を使用する。冷媒を吸収した液は、再生器で加熱沸騰させることで冷媒を する。一般の空調用では、冷媒には を、吸収液には を使用するものが多い。

〈 の解答群 〉

ア 攪拌 かはん イ 混合 ウ 濃縮 エ 分離

〈 及び の解答群 〉

ア アンモニア イ 臭化リチウム水溶液 ウ 代替フロン エ 水

2) 吸収冷凍機には、ボイラからの蒸気や温水を加熱源として用いるものや、燃料を機内で燃焼させてその熱を加熱源として用いる直焚き式などがある。このうち、直焚き式は温水供給も可能なことから、直焚き式吸収冷温水機と呼ばれる。また、補機の稼働用として電力も使用している。吸収冷凍機の成績係数については、JIS の規定では電力、加熱源ともに 基準にて算定する考え方になっている。

〈 の解答群 〉

ア 一次エネルギー イ 二次エネルギー ウ 高発熱量 エ 低発熱量

3) 吸収冷凍機は、機器の構成により一重効用式や二重効用式などの種類があり、成績係数が異なる。二重効用式は、一重効用式より成績係数は大きい。高温の熱源が必要となり、高圧蒸気、高温水を利用したものや直焚き式のものが用いられる。二重効用式は、二つの 5 器を用いることで成績係数の向上を図っている。

〈 5 の解答群 〉

ア 吸収 イ 凝縮 ウ 再生 エ 蒸発

4) 冷却塔は、冷却水が冷凍機から持ち去った熱を大気に放熱する装置である。

i) 吸収冷凍機から除去する熱は、冷凍サイクルを構成する機器のうちの 6 で発生するものであり、開放式の冷却塔では、循環する冷却水が空気の流れと直接接触して、主にその一部が蒸発する際の潜熱で冷却水を冷却し温度を下げる。

〈 6 の解答群 〉

ア 吸収器と凝縮器 イ 吸収器と再生器
ウ 蒸発器と凝縮器 エ 蒸発器と再生器

ii) 外気の相対湿度が100%未満の場合、冷却塔において得られる冷却水の下限温度と外気温度との関係で、原理的に正しい記述は、次の①～④のうちの 7 である。

- ① 冷却水の下限温度は外気温度より高くなる。
- ② 冷却水の下限温度は外気温度より低くなる。
- ③ 冷却水の下限温度は外気温度と等しくなる。
- ④ 冷却水の下限温度と外気温度は無関係である。

〈 7 の解答群 〉

ア ① イ ② ウ ③ エ ④

問題 16 は次の頁に続く

(2) ZEB (Net Zero Energy Building) を目指した空調の省エネルギーの在り方について考える。

1) 我が国は、2020 年 10 月に「2050 年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわちカーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」ことを宣言した。2025 年に閣議決定された地球温暖化対策計画では、建築物については「 年度以降に新築される建築物は ZEB 基準の水準の省エネルギー性能の確保等を目指し、省エネルギー性能の向上及び の導入拡大を図る」ことが掲げられている。

2) 経済産業省が 2015 年に公表した ZEB の定義は「先進的な建築設計によるエネルギー負荷の抑制やパッシブ技術の採用による自然エネルギーの積極的な活用、高効率な設備システムの導入等により、室内環境の質を維持しつつ大幅な省エネルギー化を実現した上で、 を導入することにより、エネルギー自立度を極力高め、年間の の収支をゼロとすることを目指した建築物」となっている。

＜ の解答群 ＞

ア 2030 イ 2035 ウ 2040 エ 2045

＜ の解答群 ＞

ア 高性能断熱材 イ 再生可能エネルギー
ウ 水素エネルギー エ 天然ガス

＜ の解答群 ＞

ア CO₂ 排出量 イ エネルギーコスト
ウ 一次エネルギー消費量 エ 消費電力量

3) ZEB の定義の中で掲げられている「自然エネルギーの積極的な活用」や「高効率な設備システムの導入」については、空調システムにおいても省エネ対策として取り組むべき大きな課題である。

i) 自然エネルギーについては、ZEB で掲げる範囲をさらに拡大して、アクティブ技術でより積極的に活用することができる。例えば外気は、夏期においては大きな冷房負荷となるが、条件によっては冷房負荷低減に有効活用することもできる。次の①及び②は外気の積極的な活用による省エネルギー手法の例である。

- ① : 年間冷房主体のビルにおいて、中間期、冬期の空調時間帯に外気温度が室温より低くなる場合に運用する。ただし、湿度管理に留意する必要がある。
- ② : 外気が一定の条件を満たす場合、冷凍機を動作させることなく冷却塔による冷却のみで可能な限りの冷熱需要を賄い冷凍機動力を削減する。

＜ 及び の解答群 ＞

ア ナイトパージ イ フリークーリング ウ 外気冷房 エ 全熱交換器

ii) 高効率な空調設備システムの導入においては、まずシステムを構成しているそれぞれの機器の高効率化があり、その上でシステムの総合効率が最大となるよう運用することが求められる。それぞれの機器の運用上の省エネルギーの留意点として次の①及び②などが挙げられる。

- ① 冷凍機は基本的に成績係数の優れた機器を採用するが、大型冷凍機の場合、年間における省エネルギー性能の検証には、JIS で定める期間成績係数、略して を用いるのが実態に即した評価となる。
- ② 搬送用機器においては、部分負荷運転時の高効率化が求められる。冷水及び温水系統では、二次側のポンプを回転速度により流量制御する 制御方式を導入すれば、特に部分負荷稼働が多い場合には大きな省エネルギー効果が得られる。

＜ の解答群 ＞

ア COP イ IPF ウ IPLV エ SHF

＜ の解答群 ＞

ア CAV イ CWV ウ VAV エ VWV

(空 白)

(空 白)

(表紙からの続き)

(※1) 不正行為とみなされる行為

1. 使用禁止電卓、電子機器、通信機器等使用不可のものを使用する。(注1、注2参照)
2. 使用不可のものを定められた場所以外に置く。(注3参照)
3. 本、ノート、メモ等を見る。
4. 他の受験者と接触する。(他の受験者の答案を見る、会話をする、物品の貸し借りを行う)
5. 試験開始の合図の前に試験問題を見る。
6. 試験終了の合図にもかかわらず解答を続ける。

注1) 試験中に使用可のもの

試験中に使用してもよいものは以下のものとし、それらのみ机の上に置いておくことができる。

- ・受験票(必ず置いておくこと)
- ・筆記用具(鉛筆、鉛筆削り、シャープペンシル、替え芯、プラスチック製消しゴム)
- ・時計機能のみの時計
- ・電卓1台(使用禁止ではないもの)
- ・眼鏡、拡大鏡

注2) 試験中に使用不可のもの

- ・携帯電話、スマートフォン、PC、タブレット端末、スマートウォッチ、電子ルーペ等の電子機器
- ・その他、通信機能を有するすべての機器(スマートグラス、補聴器、小型通信機等)
- ・使用禁止電卓(関数電卓、携帯電話などの電卓機能、数式等が記憶できる電卓、プログラム機能を有する電卓等)
- ・使用禁止のものが使用できないことによる事態には一切配慮しない。

注3) 定められた場所について

- ・使用不可の物は、試験中は鞆等にしまい、その口を閉め、簡単に取り出せないようにしておくこと。
- ・机の上だけでなく、机の棚板に置くこと、身につけておくこと(ポケットに入れる、手に持つ等)、その他利用可能な状態になっている場合は不正行為とみなす。

(※2) その他の問題解答上の注意事項

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(順不同の問題を除く)である。概略数値を当てはめる設問で、「約」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. 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、記入上の注意に従い正しく塗りつぶすこと。
5. 数値計算の結果をもとに解答群から正答を選択する問題においては次の点に留意すること。
 - ① 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値として扱う。例えば、2.1kgの2.1は、2.100…と考える。特に、「 $\sqrt{3}=1.73$ とする。」などと特記がある問題については、真の値は1.7320…であるが、本試験においては、特記されている数値は与条件として扱い1.7300…として扱う。(重力の加速度、円周率なども同様)
 - ② ①を踏まえ、数値計算においては、全ての設問において計算過程を含めて十分に大きい有効桁数を確保して正しく計算した値を「計算結果の値」とする。
 - ③ 解答群の選択肢の数値のうち「計算結果の値」に最も近い値を数値計算における唯一の正答とする。