

令和3年度
機械設計技術者試験
3級 試験問題Ⅱ

第2時限 14：20～16：20（120分）

2. 材料力学
3. 機械力学
5. 熱工学
6. 制御工学
7. 工業材料

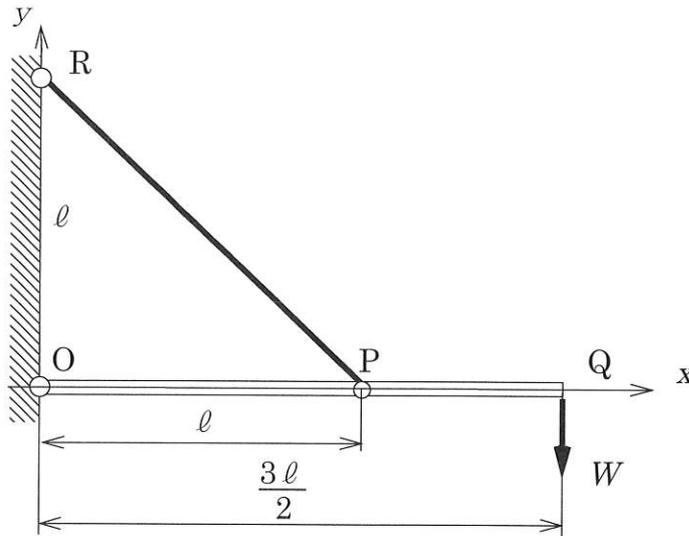
令和3年11月21日 実施

主催：一般社団法人 日本機械設計工業会

[2. 材料力学]

1

下図に示すように、1本の軟鋼製棒材PRが一端を剛体壁にRでピン結合され、他端をPで剛体棒OQにピン結合されている。OPおよびORの長さを $l = 1.4 \text{ m}$ とし、軟鋼製棒材PRの横断面積を $A = 1.2 \text{ cm}^2$ とする。また、壁OR(y軸)とOQ(x軸)とのなす角は 90° とする。点Qに荷重 $W = 15 \text{ kN}$ が作用したとき次の設問(1)～(4)に答えよ。



- (1) 軟鋼の縦弾性係数 E として最も近い値を下記の〔数値群〕から選び、その番号を解答用紙の解答欄【A】にマークせよ。

〔数値群〕 単位：GPa

- ① 80 ② 106 ③ 150 ④ 206 ⑤ 240

- (2) 軟鋼製棒材PRに作用する張力 T を求めるための式で正しいものを下記の〔数式群〕から選び、その番号を解答用紙の解答欄【B】にマークせよ。

〔数式群〕

- ① $\frac{W}{2}$ ② $\frac{W}{\sqrt{3}}$ ③ $\frac{W}{\sqrt{2}}$ ④ $\frac{\sqrt{3}W}{\sqrt{2}}$ ⑤ $\frac{3W}{\sqrt{2}}$

- (3) 軟鋼製棒材PRの伸び λ を求めるための式で正しいものを下記の〔数式群〕から選び、その番号を解答用紙の解答欄【C】にマークせよ。

〔数式群〕

- ① $\frac{Wl}{2AE}$ ② $\frac{Wl}{\sqrt{3}AE}$ ③ $\frac{\sqrt{2}Wl}{AE}$ ④ $\frac{3Wl}{AE}$ ⑤ $\frac{\sqrt{3}Wl}{AE}$

- (4) 点 Q の y 軸方向変位 δy を計算し、その答に最も近い値を下記の〔数値群〕から選び、その番号を解答用紙の解答欄【 D 】にマークせよ。

〔数値群〕 単位：mm

- ① 3.4 ② 5.4 ③ 6.5 ④ 8.3 ⑤ 9.4

- 2 図1に示すような、長さ $4\ell = 4.0\text{m}$ の両端単純支持はり A B が2つの集中荷重 $W = 2.2\text{kN}$ を受けている。横断面の形状は、図2のとおり、 $b = 30\text{mm}$ 、 $h = 40\text{mm}$ である。下記の設問 (1) ~ (5) に答えよ。

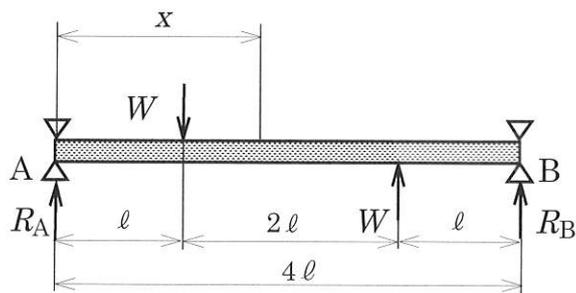


図1

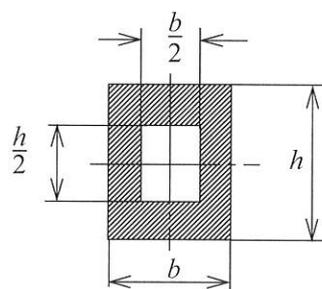


図2 はりの断面形状

- (1) はりの支点反力 R_A を求めるための正しい式を下記の〔数式群〕から選び、その番号を解答用紙の解答欄【A】にマークせよ。

〔数式群〕

- ① $\frac{W}{4}$ ② $\frac{3W}{4}$ ③ $\frac{W}{2}$ ④ $\frac{3W}{2}$ ⑤ W

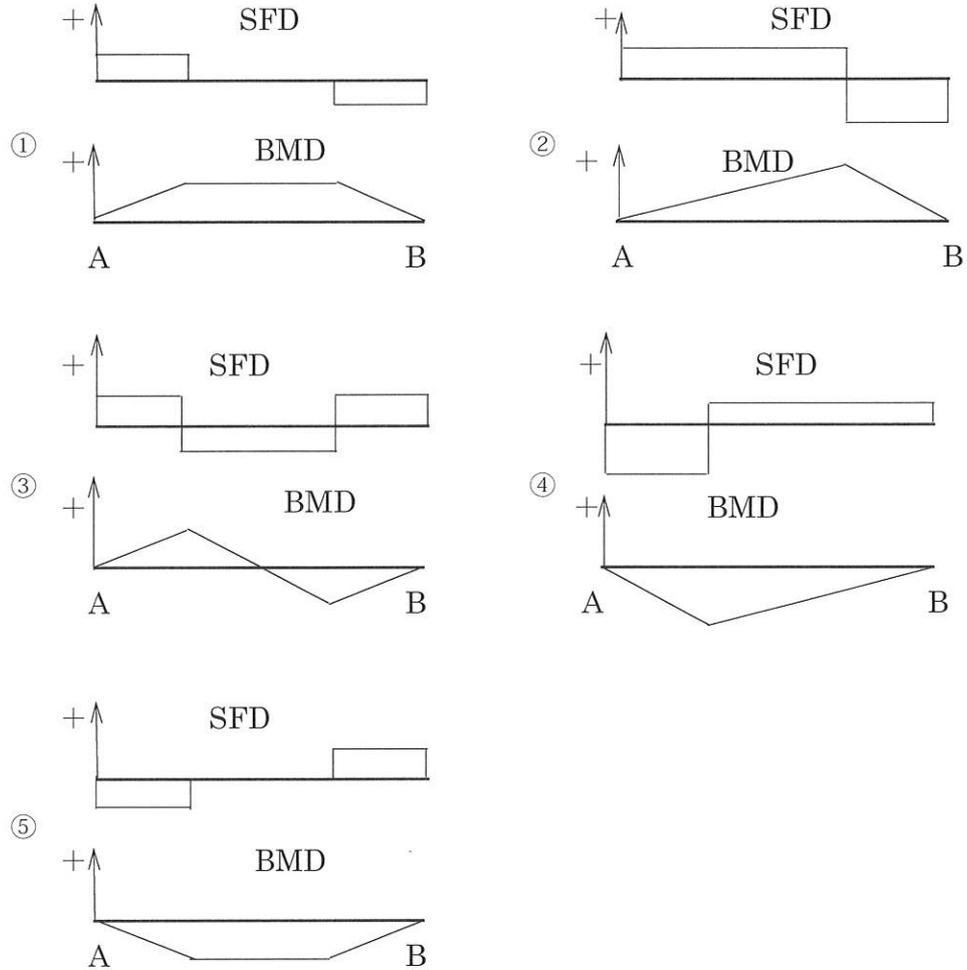
- (2) 支点 A から距離 x ($\ell < x < 3\ell$) の位置に作用する曲げモーメント M_x を表す式として正しいものを下記の〔数式群〕から選び、その番号を解答用紙の解答欄【B】にマークせよ。

〔数式群〕

- ① $W(\ell - x)$ ② $\frac{W}{2}(2\ell - x)$ ③ $\frac{3W}{4}(\ell - 2x)$
 ④ $W(2\ell - \frac{x}{2})$ ⑤ $2W(\frac{3\ell}{8} - x)$

(3) 図1に示すような荷重を受けるはりのせん断力図(SFD)と曲げモーメント図(BMD)の組み合わせとして正しいものを下記の〔図群〕の中から選び、その番号を解答用紙の解答欄【C】にマークせよ。

〔図群〕



(4) はりの断面二次モーメント I を計算し、その答に最も近い値を下記の〔数値群〕から選び、その番号を解答用紙の解答欄【D】にマークせよ。

〔数値群〕 単位： $\times 10^{-8} \text{m}^4$

- ① 15 ② 30 ③ 45 ④ 60 ⑤ 81

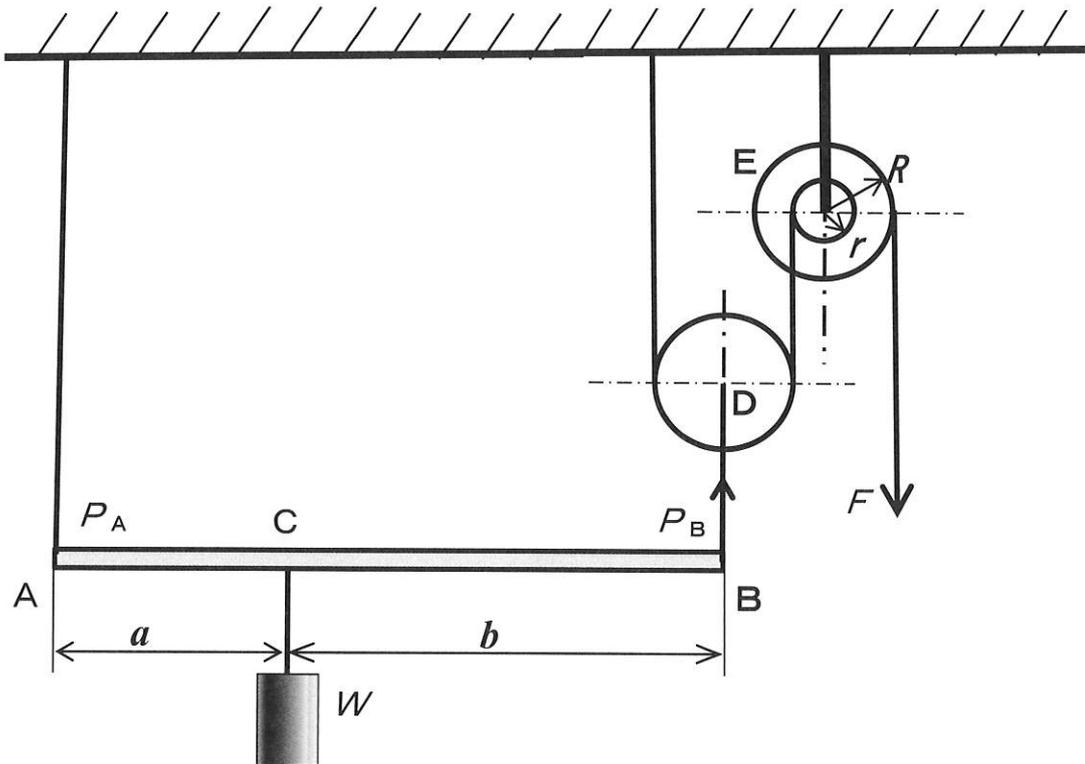
(5) 発生する最大曲げ応力 σ_{\max} を計算し、その答に最も近い値を下記の〔数値群〕から選び、その番号を解答用紙の解答欄【E】にマークせよ。

〔数値群〕 単位：MPa

- ① 73 ② 85 ③ 97 ④ 123 ⑤ 147

[3. 機械力学]

- 1 図に示すように棒A BのC点につるした W [N]のおもりとつり合うように力 F [N]を負荷させている。この際、力 F は動滑車Dと輪軸Eを介して作用している。以下の設問(1)～(3)に答えよ。ただし、棒とロープと滑車の重さ及び摩擦は無視する。



- (1) 棒A Bがつり合った状態で、B点の引き上げる力 P_B を a 、 b 、 W を使って表すとどのような式になるか、下記の〔数式群〕から一つ選び、その番号を解答用紙の解答欄【A】にマークせよ。

〔数式群〕

- ① $\frac{a+b}{W \cdot a}$ ② $\frac{W \cdot a}{a+b}$ ③ $\frac{W \cdot b}{a+b}$ ④ $\frac{a+b}{W \cdot b}$ ⑤ $\frac{a \cdot b}{W - a}$

- (2) 前問で求めた力 P_B を、動滑車Dと輪軸Eを経由した引張力 F で表すとどのような式になるか、下記の〔数式群〕から一つ選び、その番号を解答用紙の解答欄【B】にマークせよ。

〔数式群〕

- ① $\frac{r}{F \cdot R}$ ② $\frac{F \cdot R}{2 \cdot r}$ ③ $\frac{F \cdot R}{r}$ ④ $\frac{F \cdot r}{2 \cdot R}$ ⑤ $\frac{2 \cdot F \cdot R}{r}$

(3) 棒 A B がつり合った状態になるための輪軸の引張力 F を表す式を、下記の〔数式群〕から一つ選び、その番号を解答用紙の解答欄【 C 】にマークせよ。

〔数式群〕

① $\frac{W \cdot r \cdot a}{2R \cdot (a+b)}$

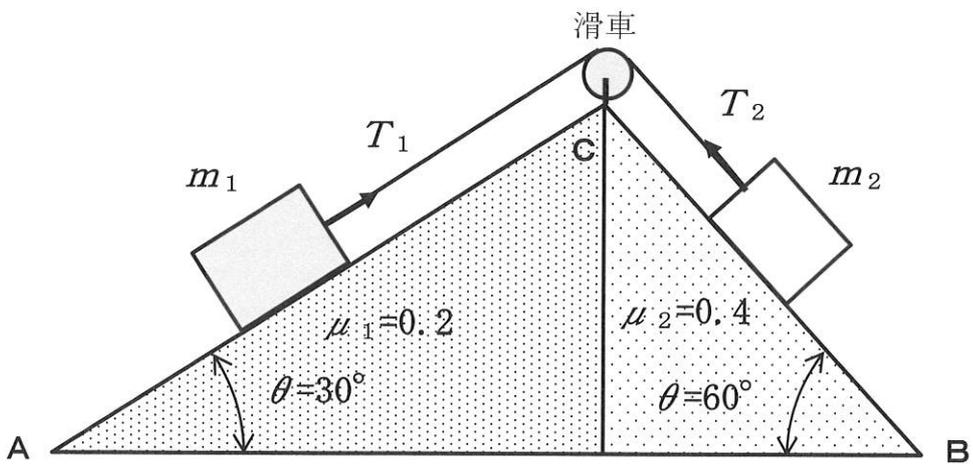
② $\frac{2 \cdot W \cdot r \cdot b}{R \cdot (a+b)}$

③ $\frac{2R \cdot (a+b)}{W \cdot r \cdot a}$

④ $\frac{W \cdot R \cdot a}{2r \cdot (a+b)}$

⑤ $\frac{W \cdot r \cdot (a+b)}{2R \cdot a}$

2 図に示す質量 m_1 、 m_2 の物体が、斜面ACと斜面BCで滑車を介してロープで連結されている。斜面角度は、斜面ACが $\theta = 30^\circ$ 、斜面BCが $\theta = 60^\circ$ である。斜面ACの摩擦係数 $\mu_1 = 0.2$ 、斜面BCの摩擦係数 $\mu_2 = 0.4$ である。滑車とロープとの摩擦およびロープの重量は、無視するとする。重力加速度を g として、以下の設問(1)～(3)に答えよ。



(1) 質量 m_1 を引き上げる力 T_1 を、下記の〔数式群〕から最も近いものを一つ選び、その番号を解答用紙の解答欄【A】にマークせよ。

- 〔数式群〕
- ① $0.23 m_1 g$ ② $0.34 m_1 g$ ③ $0.67 m_1 g$ ④ $0.92 m_1 g$ ⑤ $14.4 m_1 g$

(2) 同様にして質量 m_2 を引き上げる力 T_2 を、下記の〔数式群〕から最も近いものを一つ選び、その番号を解答用紙の解答欄【B】にマークせよ。

- 〔数式群〕
- ① $0.25 m_2 g$ ② $0.49 m_2 g$ ③ $0.97 m_2 g$ ④ $1.07 m_2 g$ ⑤ $18.4 m_2 g$

(3) 質量 m_1 と質量 m_2 の物体が斜面上でつりあっている場合、 m_1/m_2 の値を下記の〔数値群〕から最も近いものを一つ選び、その番号を解答用紙の解答欄【C】にマークせよ。

- 〔数値群〕
- ① 0.48 ② 0.69 ③ 0.73 ④ 1.60 ⑤ 2.12

3

図は軸受A、Bに支持されている軸の中央部に歯車Cが取り付けられている歯車減速機の一部である。軸は軸継手Dを介してモータMによって駆動される。

軸継手は、図 (b) に示すように4本の継手ボルトで締結されていて、ボルト中心円の直径は D_1 である。歯車Cの基準円直径は D_2 である。 D_1 、 D_2 とも単位は、[m]である。

モータMの仕様は、動力 L [W]、回転速度 n [min^{-1}]である。モータと歯車減速機に使われている軸の直径は、 d [m]である。以下の設問 (1) ~ (6) に答えよ。なお、各要素に作用する接線力を図 (a) ~ 図 (c) に示す。

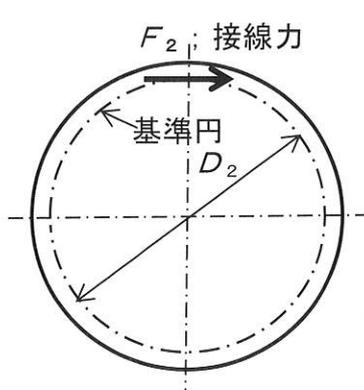
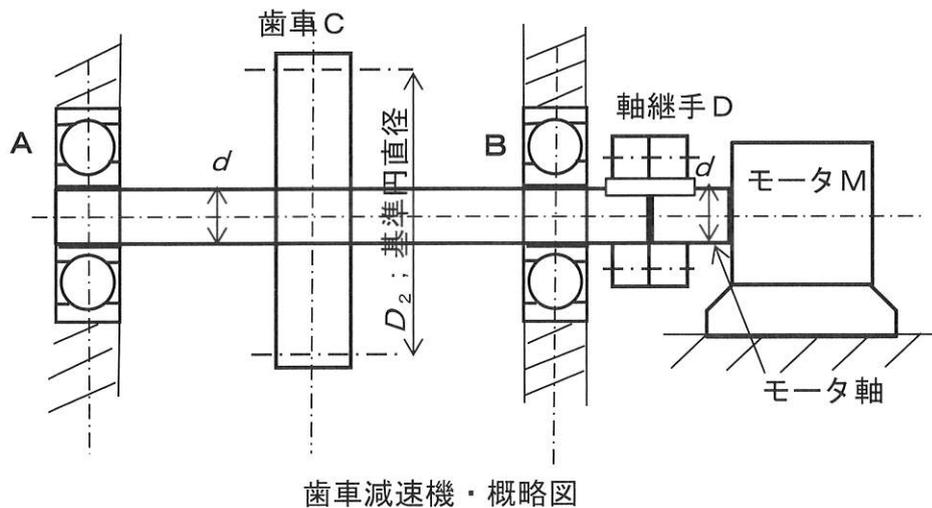


図 (a)
歯車Cに作用する接線力

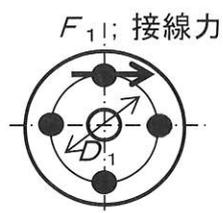


図 (b)
軸継手Dのボルト
に作用する接線力

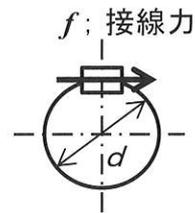


図 (c)
モータ軸のキーに
作用する接線力

- (1) モータ軸 d の周速度 v [m/sec] を、下記の〔数式群〕から一つ選び、その番号を解答用紙の解答欄【A】にマークせよ。

〔数式群〕

$$\textcircled{1} \frac{\pi dn}{30} \quad \textcircled{2} \frac{60\pi n}{d} \quad \textcircled{3} \frac{30\pi n}{d} \quad \textcircled{4} \frac{\pi dn}{60} \quad \textcircled{5} \frac{60}{\pi dn}$$

- (2) モータ軸と軸継手を結ぶキー溝に作用する接線力 f [N] をモータ軸の伝達トルク T [N・m] から求める式を、下記の〔数式群〕から一つ選び、その番号を解答用紙の解答欄【B】にマークせよ。

〔数式群〕

$$\textcircled{1} \frac{d}{2T} \quad \textcircled{2} \frac{T}{2d} \quad \textcircled{3} \frac{2d}{T} \quad \textcircled{4} \frac{T}{d} \quad \textcircled{5} \frac{2T}{d}$$

- (3) モータ軸の伝達トルク T [N・m] を、モータの動力 L [W]、モータの回転速度 n [min^{-1}] から求める式を、下記の〔数式群〕から一つ選び、その番号を解答用紙の解答欄【C】にマークせよ。

〔数式群〕

$$\textcircled{1} \frac{L}{20\pi n} \quad \textcircled{2} \frac{30L}{\pi n} \quad \textcircled{3} \frac{60L}{\pi n} \quad \textcircled{4} \frac{30\pi n}{L} \quad \textcircled{5} \frac{25L}{\pi n}$$

- (4) 軸継手Dのボルト軸中心円周上 D_1 に生ずる接線力 F_1 [N] を、下記の〔数式群〕から一つ選び、その番号を解答用紙の解答欄【D】にマークせよ。

〔数式群〕

$$\textcircled{1} \frac{L}{\pi n D_1} \quad \textcircled{2} \frac{30\pi n}{D_1 L} \quad \textcircled{3} \frac{L}{60\pi n D_1} \quad \textcircled{4} \frac{60\pi n}{D_1 L} \quad \textcircled{5} \frac{60L}{\pi n D_1}$$

- (5) 軸継手Dのボルト1本あたりに生ずるせん断力 [N] を、下記の〔数式群〕から一つ選び、その番号を解答用紙の解答欄【 E 】にマークせよ。

〔数式群〕

① $\frac{30L}{\pi nD_1}$ ② $\frac{\pi nD_1}{15L}$ ③ $\frac{60L}{\pi nD_1}$ ④ $\frac{15L}{\pi nD_1}$ ⑤ $\frac{\pi nD_1}{30L}$

- (6) 歯車の基準円周上に生ずる接線力 F_2 [N] を、下記の〔数式群〕から一つ選び、その番号を解答用紙の解答欄【 F 】にマークせよ。

〔数式群〕

① $\frac{30L}{\pi nD_2}$ ② $\frac{60L}{\pi nD_2}$ ③ $\frac{\pi nD_2}{60L}$ ④ $\frac{\pi n}{60LD_2}$ ⑤ $\frac{\pi nD_2}{30L}$

〔5. 熱工学〕

1

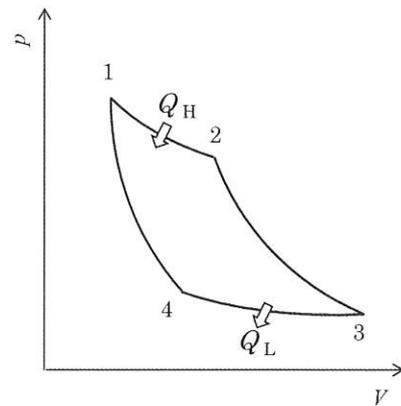
次の文章は、エンジン、空調等の設計に関して必要とする原理を記述したものである。空欄【A】～【G】に当てはまる適切な言葉、最も近い数値、数式を〔解答群〕から選び、その番号を解答用紙の解答欄【A】～【G】にマークせよ。ただし、解答の重複は不可とする。

自動車のエンジンは、作動流体に熱サイクルを行わせて連続的に動力を取り出し、空調装置は、連続的に動力を取り出したり、逆に動力を与えることで暖房にしたり、冷房にしたりしている。

一般にサイクルを表す p - V 線図 (p : 圧力、 V : 体積) において、サイクルは時計回りに行われる場合と反時計回りに行われる場合がある。時計回りにサイクルが行われる場合では、1 サイクル毎に仕事が発生して外部に与えられる。これは【A】のサイクルと言われる。

1 サイクルの間に作動流体が外部の高温熱源から受け取る熱量を Q_H 、外部の低熱源に捨てる熱量を Q_L とし、外部に仕事 L をしたとすれば、この熱効率 η_{th} は式 $\eta_{th} =$ 【B】によって定義される。そして、仕事 L は熱力学第1法則の関係によって $L =$ 【C】で与えられる。

このサイクルを理想化したカルノーサイクルの過程は、右図のように、高温熱源温度を T_H とすると、状態1から状態2に等温膨張して熱量 Q_H を受け取り、状態2から状態3に【D】膨張、状態3から状態4には低熱源温度を T_L とすると、等温圧縮して熱量 Q_L を放出し、さらに状態4から【D】圧縮して元の状態1にもどる可逆サイクルである。この場合、熱量と熱力学的温度を関係づけることができ【E】の関係が成り立つ。この関係を利用すると、カルノーサイクルでは熱効率 η_{th} を温度だけで表すことができ式 $\eta_{th} =$ 【F】で求められる。もし、高温熱源温度が 1700°C とし、低温熱源温度を 20°C とすると、このカルノーサイクルの熱効率 η_{th} は【G】%となる。



p - V 線図

〔解答群〕

- | | | | |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| ① 冷凍機 | ② 熱機関 | ③ 等温 | ④ 断熱 |
| ⑤ $Q_H - Q_L$ | ⑥ L/Q_H | ⑦ Q_H/L | ⑧ $(T_H - T_L)/T_H$ |
| ⑨ $T_H/(T_H - T_L)$ | ⑩ $Q_H/Q_L = T_H/T_L$ | ⑪ $Q_H/Q_L = T_L/T_H$ | ⑫ 85 |
| ⑬ 65 | | | |

2

15°Cの理想気体（気体定数 $R = 0.2872 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 、比熱比 $\kappa = 1.40$ ）で体積 $V_1 = 2.0\text{m}^3$ 、圧力 $p_1 = 0.2 \text{ MPa}$ から、一定圧力で膨張させたら体積 V_2 が 3.0 倍になった。この時の温度 T_2 、外部にした仕事 W_{12} および外部から受けた熱量 Q_{12} を求めたい。

次の手順の文章の空欄【A】～【H】に当てはまる式および最も近い数値を〔解答群〕から選び、その番号を解答用紙の解答欄【A】～【H】にマークせよ。

手順

まず、理想気体の定圧比熱 c_p を求めると、比熱比 κ と気体定数 R を用いて式 $c_p = \text{【A】}$ で求められ、 $c_p = \text{【B】} \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ となる。

この理想気体の質量が与えられていないが、質量 $m[\text{kg}]$ は理想気体の状態式【C】から求められ、題意に与えられた値を代入すると $m = \text{【D】} \text{ kg}$ が得られる。

変化後の温度 T_2 は定圧変化の温度と容積の関係式【E】から求められ、温度 $T_2 = \text{【F】} \text{ K}$ となる。そして、定圧変化の外部にした仕事 W_{12} は【G】kJであり、外部からの受けた熱量 Q_{12} は【H】MJである。

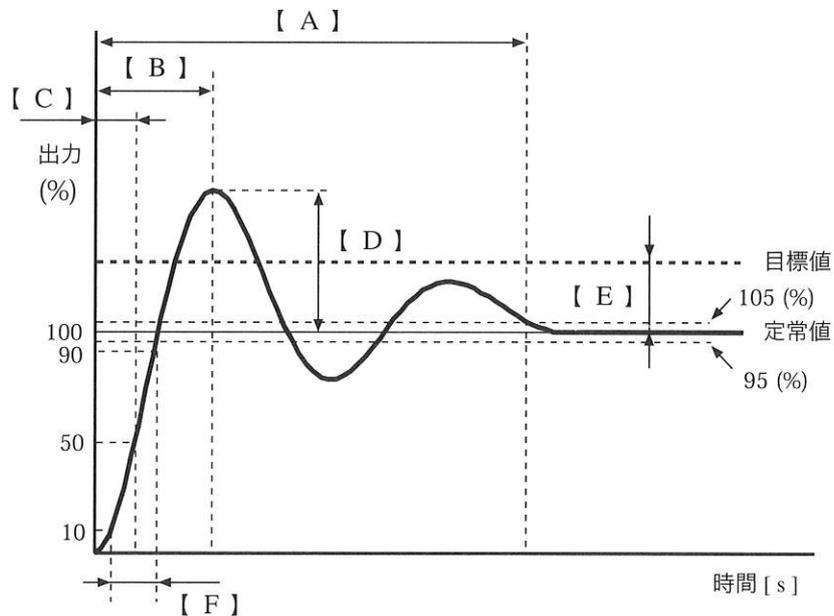
〔解答群〕

- | | | | |
|---------------------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|
| ① $\frac{\kappa}{\kappa - 1} R$ | ② $\frac{1}{\kappa - 1} R$ | ③ $p_1 V_1 = mRT_1$ | ④ $p_2 V_2 = mRT_2$ |
| ⑤ $V_1/T_1 = V_2/T_2$ | ⑥ $T_1 V_1 = T_2 V_2$ | ⑦ 1.0 | ⑧ 3.0 |
| ⑨ 5.0 | ⑩ 800 | ⑪ 860 | |

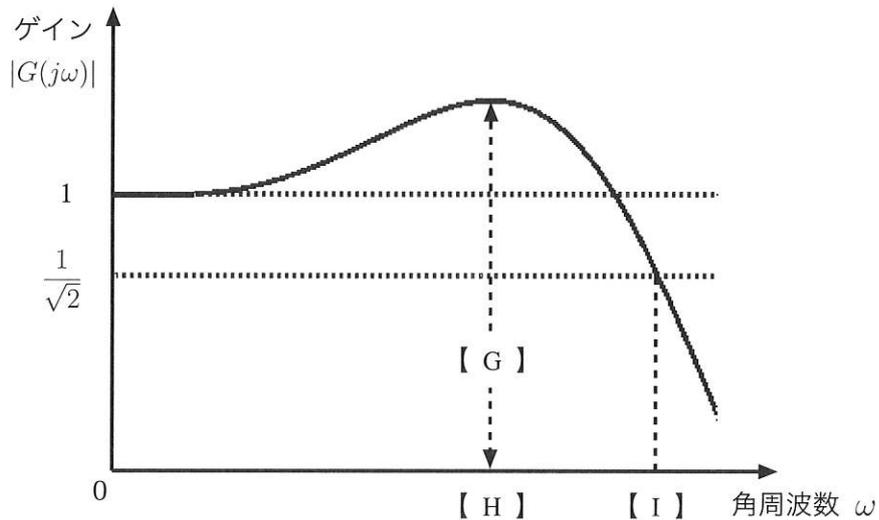
[6. 制御工学]

1

制御で最も要求される特性は「安定性」であるが、目標値にいかにかつ正確に近づけるかも重要である。そのとき、システムの性能を制御特性といい、2つの応答評価が使われる。以下の図は、代表的なステップ応答と周波数応答の曲線である。図中の空欄【A】～【I】に最も適切な語句を〔語句群〕から選び、その番号を解答用紙の解答欄【A】～【I】にマークせよ。ただし、重複使用は不可である。



ステップ応答



周波数応答

〔語句群〕

- ① 行き過ぎ時間 ② 行き過ぎ量 ③ 遅れ時間 ④ 共振値 ⑤ 共振周波数
⑥ 整定時間 ⑦ 帯域幅 ⑧ 立ち上がり時間 ⑨ 偏差

2

あるシステムに単位ステップ入力をしたところ、定常値 $K = 1.5$ とする 2 次遅れ系の時間応答の曲線が得られ、その曲線から行き過ぎ時間 $t_p = 0.3\text{s}$ 、最大出力 $y_m = 1.8$ の値が計測された。

次の設問 (1) ~ (3) に答えよ。なお、解答の際は、以下の [参考] を使ってもよい。

[参考] 2 次遅れ系に関するステップ応答特性

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}}$$

$$y(t) = K \left\{ 1 - \frac{e^{-\zeta \omega_n t}}{\sqrt{1 - \zeta^2}} \sin \left(\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} t + \phi \right) \right\}, \quad \phi = \tan^{-1} \frac{\sqrt{1 - \zeta^2}}{\zeta}$$

$$\sin \phi = \sqrt{1 - \zeta^2}$$

- (1) この系の固有角周波数 ω_n [rad/s] を計算し、最も近い値を下記の [数値群] の中から選び、その番号を解答用紙の解答欄【A】にマークせよ。

[数値群] 単位 : rad/s

- ① 10.5 ② 11.8 ③ 12.6 ④ 13.8 ⑤ 15.1

- (2) この系の減衰係数 ζ を計算し、最も近い値を下記の [数値群] の中から選び、その番号を解答用紙の解答欄【B】にマークせよ。

[数値群]

- ① 0.223 ② 0.311 ③ 0.367 ④ 0.455 ⑤ 0.512

- (3) この系の伝達関数 $G(s)$ を計算し、最も近い数式を下記の [数式群] の中から選び、その番号を解答用紙の解答欄【C】にマークせよ。

[数式群]

① $\frac{121}{s^2 + 4.47s + 89}$

② $\frac{133}{s^2 + 6.56s + 101}$

③ $\frac{179}{s^2 + 8.32s + 123}$

④ $\frac{209}{s^2 + 10.7s + 139}$

⑤ $\frac{247}{s^2 + 12.4s + 165}$

〔7. 工業材料〕

1

(1)～(4)の文章は、右図の鉄—炭素系平衡状態図について記述したものである。文章中の空欄【A】に最適と思われる数値を〔数値群〕から、【B】～【J】に最適と思われる語句を〔語句群〕から選び、その番号を解答用紙の解答欄【A】～【J】にマークせよ。

(1) 実線 PYZ は A_1 変態点であり、その温度は炭素量に関係なく【A】 $^{\circ}\text{C}$ 一定である。

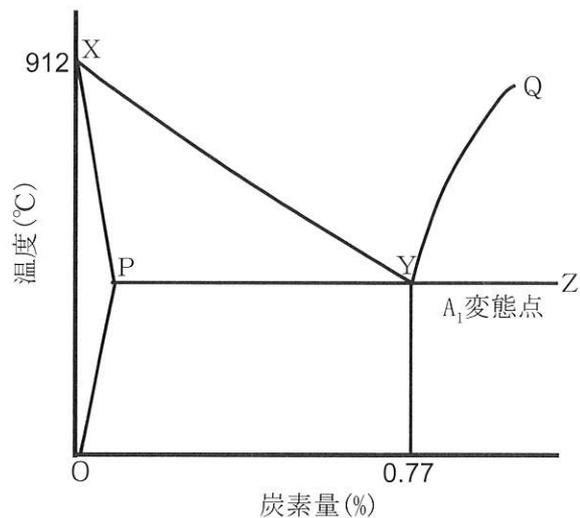


図 鉄—炭素系平衡状態図

〔数値群〕

- ① 427 ② 527 ③ 627 ④ 727 ⑤ 827

(2) 実線 XY は【B】、実線 YQ は【C】であり、その温度は炭素量によって異なる。

〔語句群〕

- ① A_0 変態点 ② A_2 変態点 ③ A_3 変態点 ④ A_4 変態点 ⑤ A_{cm} 変態点

(3) 焼ならしとは、【D】より 30～50 $^{\circ}\text{C}$ 高い温度に加熱して、組織を均一な【E】にしたのち【F】する操作である。また、完全焼なましとは、【G】以上に加熱して、【H】する操作である。

【D】、【G】の〔語句群〕

- ① 実線 XYQ ② 実線 XPYZ ③ 実線 XPYQ ④ 実線 XYZ ⑤ 実線 OPYZ

【E】の〔語句群〕

- ① マルテンサイト ② パーライト ③ セメントイト (Fe_3C)
④ フェライト ⑤ オーステナイト

【F】、【H】の〔語句群〕

- ① 水冷 ② 油冷 ③ 空冷 ④ 徐冷 ⑤ 急冷

(4) 実線 XYQ よりも高い温度に加熱された炭素鋼において、炭素量が 0.77% よりも少ない炭素鋼の場合、冷却過程で実線 XY を通過するときに、【 I 】 が析出する。また、炭素量が 0.77% よりも多い炭素鋼の場合は、冷却過程で実線 YQ を通過するときに、【 J 】 が析出する。

[語句群]

- ① フェライト ② マルテンサイト ③ セメンタイト (Fe₃C)
④ パーライト ⑤ オーステナイト

2

次に示す文章は、引張試験について記述したものである。文章中の空欄【 A 】～【 J 】に最適と思われる語句を下記の〔語句群〕から選び、その番号を解答用紙の解答欄【 A 】～【 J 】にマークせよ。ただし、重複使用は不可である。

引張試験において、【 A 】が小さいときは【 B 】であるから、荷重を除去すれば元の状態に戻る。【 B 】の領域では荷重と変形量が比例関係にあり、その比例定数は【 C 】または【 D 】という。また、この【 B 】の限界に相当する応力を【 E 】といい、これより大きな荷重を加えて、荷重を除去した後も永久ひずみが残るような変形を【 F 】という。

軟鋼など炭素量の少ない鋼の引張試験では、【 E 】を超えると荷重が増加しなくても、ひずみは増大する【 G 】が現れるが、一般の工業材料にはこの現象は現れないことが多い。【 G 】が現れない材料の場合には、【 H 】に相当する強度として、若干のひずみ（通常 0.2%）が生じる応力、すなわち【 I 】で評価する。

なお、機械設計にあたっては、想定される負荷応力が【 E 】内になるようにし、さらに【 J 】を考慮しなければならない。

[語句群]

- ① 弾性変形 ② 安全率 ③ 伸び ④ 塑性変形 ⑤ 断面積
⑥ ヤング率 ⑦ 衝撃値 ⑧ 引張荷重 ⑨ 絞り ⑩ 縦弾性係数
⑪ 降伏現象 ⑫ 弾性限度 ⑬ 降伏応力 ⑭ 耐力