

令和5年度
機械設計技術者試験
2級 試験問題 I

第1時限 9：30～11：40（130分）

1. 機械設計分野
3. 熱・流体分野
5. メカトロニクス分野

令和5年11月19日実施

主催：一般社団法人 日本機械設計工業会

〔1. 機械設計分野〕

1

下記の文章【A】～【J】はねじを有する機械要素の使用について記述したものである。正しいと思うものには解答欄の【A】～【J】に①を、間違っていると思うものには解答欄の【A】～【J】に②をマークせよ。

- 【A】 止めねじは、一般的に軸部に平坦部を設けて止めたり、位置決め後ボス部と軸を別々に穴開けして止めねじ先端を穴に入れるか、キーの上部を直接押しつけるようにすると軸に傷を付けず、分解時にボスが抜けなくなることがない。
- 【B】 ナットの場合の強度区分は、最大降伏応力を省略して、最小引張強度に相当する保証荷重応力のみで示される。これは、実際の破損はおもにボルトに生ずるからである。
例：強度区分 5T 保証荷重応力 = $5 \times 10 = 50$ MPa
- 【C】 六角ボルト・ナットの仕上げ程度は、上、中、並の3種類に分かれる。並を除いた仕上げ程度は、座面に規定があり Rz 50 以下である。
- 【D】 通しボルトは締結する2つの部品に通し穴を開け、ボルトを通してナットで部品を締結する場合に用いる。通し穴は一般にドリルで開けられる。部材間にせん断が作用するところでの使用はなるべくさける。
- 【E】 植込みボルトは、しばしば締結部の分解、組立を行う必要がある場合に用いられる。両端にねじ部を設け平先と丸先があるが、植込み側の端部は丸先である。
- 【F】 設計上、ねじの締付力による摩擦力で部品の相対位置を確保してはならない。分解・組立部品の位置決めは、凸部と凹部を設けて組み合わせるインロー方式もあるが、ピンを用いた位置決めは簡単でコストが低減できる。
- 【G】 軸の直径をねじの谷径にまで細くした伸びボルトがあるが、普通ボルトより強さは低下する。
- 【H】 押えボルトはナットを用いず機械部分にねじを立て、ねじ込んで2物体を固定するためのものである。ねじの呼び径に対して、ねじ込まれる部分の長さは、材料の種類により異なる。
- 【I】 M8 以下のねじを小ねじといい、JIS に規定がある。
- 【J】 アイボルトは、ねじの呼びに対して保証荷重があり、使用荷重の3倍となっている。

2 図1は、従動節が往復直線運動をする板カムについて示したものである。

(1) 次の文章の【A】～【N】にあてはまる語句、数式などを下記の〔解答群〕より選び、その番号を解答用紙の解答欄【A】～【N】にマークせよ。重複使用は不可である。

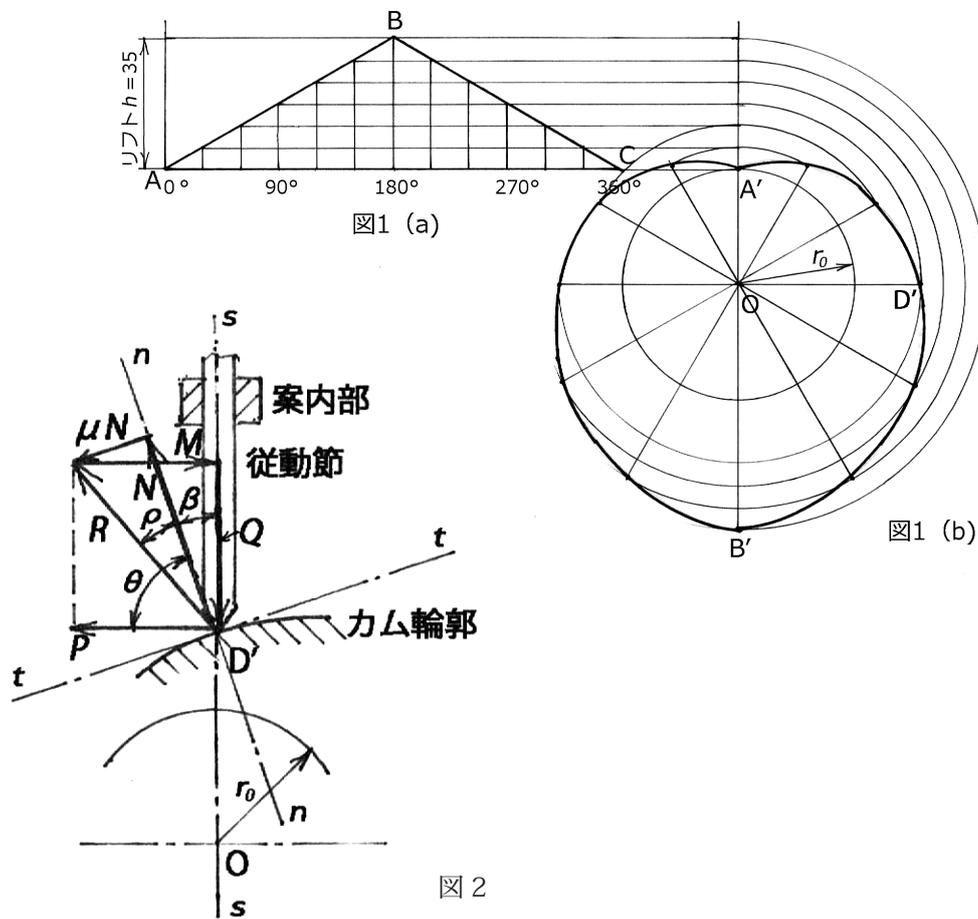


図1(a)は、横軸に回転角、縦軸に従動節の変位量を取って示したもので【A】とよばれ、描かれた曲線を【B】といい、最大変位量はリフトとよばれ、図では35mmとなっている。従動節はA点よりはじめの【C】は【D】で35mm上昇してB点に達し、その後残りの【C】は【D】でC点に達する。図1(b)は、カムの輪郭を示したもので、このカムの形状は【E】とよばれる。

カム輪郭上のD'点について、力のつりあい状態を図2に示す。

板カムが反時計方向に回転すれば、接触点D'の法線nnと従動節の軸線ssとのなす角βはカムの【F】とよばれる。

いま摩擦係数をμ、摩擦角をρとすれば、従動節に働く力は図のように法線力Nと摩擦抵抗μNと従動節の自重あるいはばね等により受ける力Qと案内内部より受ける従動節を曲げる力Mである。いま、これらの力がつりあいの状態にあれば、四つの力より形作られるベクトルの多角形は閉じなければならない。したがって従動節がカムから受ける法線力Nと摩擦抵抗μNのベクトルの和をRとし、これの動径OD'に直角方向の分力をPとすれば、P×OD'はカムに外部から与えられる回転力である。

D'点での接線 tt と動径 $\overline{OD'}$ のなす角を θ とすれば、図から、

$$P = \text{【 G 】}$$

$$Q = \text{【 H 】}$$

$$\mu = \text{【 I 】}$$

上式から、次式が得られる。

$$P = \text{【 J 】}$$

$$M = \text{【 K 】}$$

図 1 (a) の A 点、B 点、C 点では速度が急変して従動節が衝撃を受ける。そのためにこれらの点ではなめらかな曲線で繋げるようにしなければならない。これを【L】という。

このカム曲線は、従動節の先端がとがっている場合のものである。このような従動節の先端はしばらく使用すると摩耗してしまうから従動節の先端にころを取り付けて【M】にすることが多い。この場合のカム曲線はころに内接する【N】をカム曲線とすればよい。

【F】 β は従動節に曲げ作用をおこし、その案内内部に加わる側圧力 M を増加させて摩擦抵抗が大きくなる。 β が大となって直角に近づくと同じ Q に対しても P の大きさは著しく大となる。したがって、 β の大きさは制限を受けることになる。

〔解答群〕

- | | | | | |
|----------------------------|---|---------------------------|--------|-------|
| ① 円板カム | ② 転がり接触 | ③ 90° | ④ 包絡線 | ⑤ 等速度 |
| ⑥ ハートカム | ⑦ 等加速度 | ⑧ $\tan \rho$ | ⑨ カム線図 | ⑩ 点接触 |
| ⑪ 180° | ⑫ 包囲線 | ⑬ $Q \tan (\beta + \rho)$ | ⑭ 基礎曲線 | |
| ⑮ $R \cos (\beta + \rho)$ | ⑯ 圧力角 | ⑰ 緩和曲線 | | |
| ⑱ $R \cos (\theta - \rho)$ | ⑲ $Q \cdot (\cos \theta + \mu \sin \theta) / (\cos \beta - \mu \sin \beta)$ | | | |

(2) カムが角速度 2 rad/s で回転しているとき、従動節の上昇速度を求め、最も近い値を〔数値群〕より選び、その番号を【0】にマークせよ。

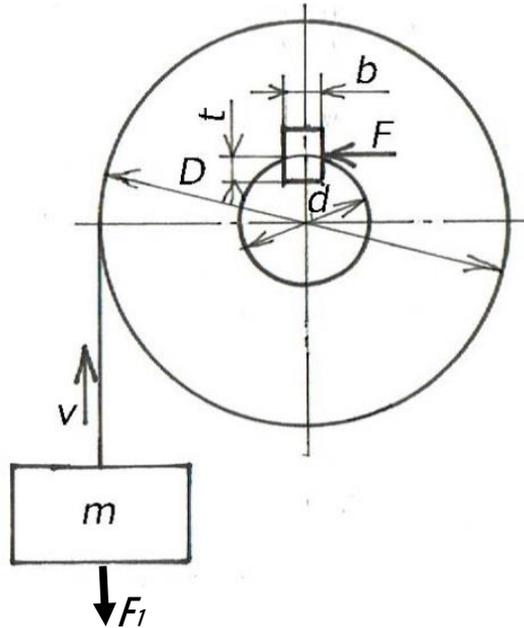
〔数値群〕 単位：mm/s

- | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| ① 15.6 | ② 18.4 | ③ 22.3 | ④ 26.5 | ⑤ 30.4 |
|--------|--------|--------|--------|--------|

3

直径 $D = 250$ mm のドラムにより質量 $m = 500$ kg のおもりを速度 $v = 180$ m/min で巻き上げたい。

次の設問 (1) ~ (8) に答えよ。解答は〔数値群〕から適切な数値を選び、その番号を解答用紙の解答欄【A】~【H】にマークせよ。



- (1) おもりを巻き上げるのに必要な動力はいくらか。最も近い値を下記の〔数値群〕より選び、その番号を解答用紙の解答欄【A】にマークせよ。重力の加速度 $g = 9.81$ m/s² とする。

〔数値群〕 単位：kW

- ① 10.2 ② 12.8 ③ 14.7 ④ 16.4 ⑤ 18.3

- (2) 軸の角速度 ω はいくらか。最も近い値を下記の〔数値群〕より選び、その番号を解答用紙の解答欄【B】にマークせよ。

〔数値群〕 単位：rad/s

- ① 20 ② 22 ③ 24 ④ 26 ⑤ 28

- (3) ドラムの回転速度はいくらか。最も近い値を下記の〔数値群〕より選び、その番号を解答用紙の解答欄【C】にマークせよ。

〔数値群〕 単位：min⁻¹

- ① 200 ② 210 ③ 220 ④ 230 ⑤ 240

- (4) 軸のねじりモーメント M はいくらか。最も近い値を下記の〔数値群〕より選び、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：N・m

- ① 501 ② 528 ③ 550 ④ 580 ⑤ 613

- (5) ドラムと軸はキーで結合するものとして、必要な軸の直径 d を求めよ。軸はせん断力に耐えるものとし、軸の許容せん断応力をキー溝がない軸の75%として、22.5 MPaとする。適切な値を表1より選び、その番号を解答用紙の解答欄【E】にマークせよ。

表1 軸の直径 (JIS B 0901)

		(単位 mm)	
番号	軸径	番号	軸径
①	30	⑧	42
②	31.5	⑨	45
③	32	⑩	50
④	35	⑪	55
⑤	35.5	⑫	56
⑥	38	⑬	60
⑦	40	⑭	65

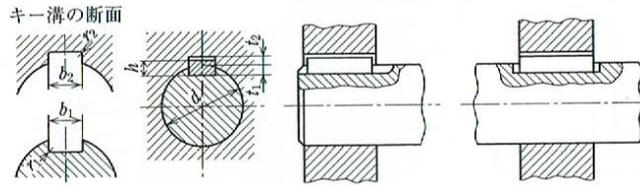
- (6) ドラムを取り付けているキーに加わるせん断力 F を求めよ。最も近い値を下記の〔数値群〕より選び、その番号を解答用紙の解答欄【F】にマークせよ。

〔数値群〕 単位：k N

- ① 22.3 ② 25.5 ③ 28.3 ④ 30.0 ⑤ 32.5

- (7) (5)の結果より、軸径に合わせてキー溝の寸法を決めたい。JISに規定するキーおよびキー溝の寸法表より適切なキーの呼び寸法を選び、その番号を解答用紙の解答欄【G】にマークせよ。

表2



(単位 mm)

キーの呼び寸法 番号 $b \times h$	キーの寸法					キー溝の寸法					適応する軸径 (d 参考) を越え以下
	b	h	h_1	c	l	b_1, b_2	r_1, r_2	t_1	t_2		
									平行キー	こう配キー	
① 5×5	5	5	8		10 ~ 56	5		3.0	2.3	1.7	12 ~ 17
② 6×6	6	6	10	0.25	14 ~ 70	6		3.5	2.8	2.2	17 ~ 22
(7×7) ⁽¹⁾	7	7	10	~ 0.40	16 ~ 80	7	0.16	4.0	3.0	3.0	20 ~ 25
③ 8×7	8	7	11		18 ~ 90	8		4.0	3.3	2.4	22 ~ 30
④ 10×8	10	8	12		22 ~ 110	10		5.0	3.3	2.4	30 ~ 38
⑤ 12×8	12	8	12		28 ~ 140	12		5.0	3.3	2.4	38 ~ 44
⑥ 14×9	14	9	14	0.40	36 ~ 160	14	0.25	5.5	3.8	2.9	44 ~ 50
(15×10)	15	10	15	~ 0.60	40 ~ 180	15	~ 0.40	5.0	5.0	5.0	50 ~ 55
⑦ 16×10	16	10	16		45 ~ 180	16		6.0	4.3	3.4	50 ~ 58
⑧ 18×11	18	11	18		50 ~ 200	18		7.0	4.4	3.4	58 ~ 65
⑨ 20×12	20	12	20		56 ~ 220	20		7.5	4.9	3.9	65 ~ 75
⑩ 22×14	22	14	22	0.60	63 ~ 250	22	0.40	9.0	5.4	4.4	75 ~ 85
(24×16)	24	16	24	~ 0.80	70 ~ 280	24	~ 0.60	8.0	8.0	8.0	80 ~ 90
⑪ 25×14	25	14	22		70 ~ 280	25		9.0	5.4	4.4	85 ~ 95

- (8) キーの長さはいくらにしたらよいか。キーの許容せん断応力を 30 MPa とする。最も近い値を下記の〔数値群〕より選び、その番号を解答用紙の解答欄【H】にマークせよ。

〔数値群〕 単位：mm

- ① 40 ② 45 ③ 50 ④ 55 ⑤ 60

〔3. 熱・流体力学〕

1

以下の説明は冷凍機的设计に関する計算手順を示した文章である。空欄に適した式、変数または数値を下記の〔解答群〕の中から選び、その番号を解答用紙の解答欄【A】～【H】にマークせよ。

冷凍機の外気の温度を $30.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ とし、水の温度を $5.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ に保つために、冷凍能力すなわち 1 時間あたりの吸熱量として 5000 kJ/h を供給しなければならないとするとき、冷凍機の所要動力を冷凍機の成績係数から求める。

冷凍機の成績係数 (COP) を $\varepsilon_r = 3.0$ とし、その所要動力を L [kW]、外気に放出する熱量を Q_h [kW]、タンクの水から吸収する熱量すなわち冷凍能力を Q_c [kW] とすると、

$$\varepsilon_r = \text{【A】}$$

で定義される。

この式から冷凍能力は所要動力の【B】倍あることがわかる。この式から

$$L = \text{【C】}$$

となり、所要動力 L は【D】kW になる。

一方、同じ条件で、逆カルノーサイクルと仮定したときの成績係数と所要動力を求め、さらに、この場合に外気にはどれだけの熱を放出しているかを求めてみる。

逆カルノーサイクルでは、外気の温度を T_h 、タンクの水の温度を T_c とすると ε_r は温度だけの式で表すことができ

$$\varepsilon_r = \text{【E】}$$

で求めることができる。この式に与えられた T_h および T_c を代入すると

$$\varepsilon_r = \text{【F】}$$

が得られる。

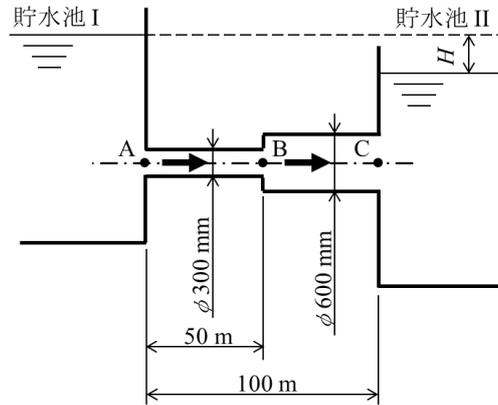
したがって、 ε_r の定義式より、所要動力 L を求めることができ、 $L = \text{【G】}$ kW が得られ、さらに、熱力学第 1 法則から外気に放出する熱量 Q_h も容易に得られ、 $Q_h = \text{【H】}$ kW となる。

〔解答群〕

- | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| ① Q_c/L | ② L/Q_c | ③ ε_r | ④ ε_r/Q_c | ⑤ Q_c/ε_r | ⑥ $\varepsilon_r Q_c$ |
| ⑦ $T_h/(T_h-T_c)$ | ⑧ $T_c/(T_h-T_c)$ | ⑨ 0.1 | ⑩ 0.3 | ⑪ 0.5 | ⑫ 1 |
| ⑬ 1.5 | ⑭ 7 | ⑮ 11 | | | |

2

図のように、二つの貯水池を連結する長さ 100 m の管路 AC の中央、点 B において、管径が $d_1 = 300 \text{ mm}$ から $d_2 = 600 \text{ mm}$ に急拡大している。管路 AB、管路 BC の管摩擦係数をそれぞれ $\lambda_{AB} = 0.03$ 、 $\lambda_{BC} = 0.02$ 、管路入口、急拡大管および管路出口の損失係数をそれぞれ、 $\zeta_A = 0.500$ 、 $\zeta_B = 0.563$ 、 $\zeta_C = 1.000$ 、流量 $Q = 0.300 \text{ m}^3/\text{s}$ 、水の密度 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ 、重力加速度 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ であるとき、以下の問いに答えよ。必要に応じて下記の式を参考にせよ。



$$Q = Av = \text{一定}, \quad \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z = \text{一定}, \quad \Delta h_D = \lambda \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g}, \quad \Delta h = \zeta \frac{v^2}{2g}$$

※急拡大管の損失では大きい方の流速をとる。

A : 断面積、 v : 速度、 p : 圧力、 ρ : 水の密度、 z : 位置ヘッド、
 Δh_D : 管摩擦損失 [m]、 L : 管路長さ、 d : 管路の直径、 Δh : 局所損失、 ζ : 摩擦係数

- (1) A-B 間の円管内の流速として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 : m/s

- ① 2.74 ② 3.24 ③ 3.74 ④ 4.24 ⑤ 4.74

- (2) 水面差 H として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〕 単位 : m

- ① 5.21 ② 5.71 ③ 6.21 ④ 6.71 ⑤ 7.21

- (3) 管路における各種損失の中で最も大きい損失を下記の〔語句群〕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。

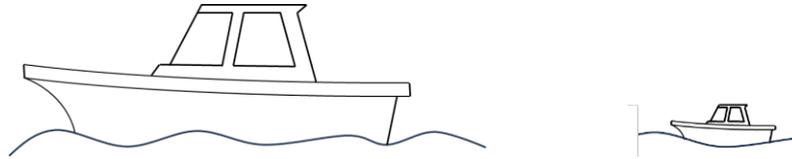
〔語句群〕

- ① AB 間の管摩擦損失 ② BC 間の管摩擦損失 ③ 入口損失
 ④ 急拡大管の損失 ⑤ 出口損失

3

ボートの 50 分の 1 の模型が 90 cm/s の速度で進行する場合、265 mN の造波抵抗を受ける
とすれば実物の造波抵抗および模型と実物の所要動力がいくらになるか求めたい。

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



手順

造波抵抗とは、船が進むとき波をおこすことによって受ける抵抗である。船が走ると周囲の
水の圧力が変化し、圧力が高いところは水面が持ち上がり、圧力が低いところはへこみ、波
となる。この抵抗は高速船や小型ボートなどに大きく見られる。ボートは、自由表面である
水面に浮かびながら波を立てて進むので、この流れでは重力と慣性力が支配的であるので、
フルード数 Fr が基準になる。したがって、模型のボートと実物のボートが力学的相似であ
るためには、フルード数が等しいということが必要である。そこで、フルード数 Fr は、

$$Fr = \frac{v_m}{\sqrt{l_m g_m}} = \frac{v_p}{\sqrt{l_p g_p}}$$

とかける。ここで、 l はボートの代表長さ、 v はボートの速度、下付き記号の m 、 p は模型お
よび実物を表している。

もともと地球の重力場で作動するので、 $\frac{g_m}{g_p} = \text{【A】}$ となる。

模型と実物の速度および長さの比をそれぞれ、 v_r 、 l_r とすると、 v_r^2 は l_r を用いて表すと

$$v_r^2 = \frac{v_m^2}{v_p^2} = \text{【B】}$$

となる。一方、力 F は、作動流体の密度を ρ とすると、

$$F = \rho v^2 l^2$$

で求められるので、力の比 F_r は、模型と実物で使用する作動流体を同じにすると $\rho_m = \rho_p$
なので、 l_r を用いて表すと

$$F_r = \frac{F_m}{F_p} = \frac{\rho_m v_m^2 l_m^2}{\rho_p v_p^2 l_p^2} = \text{【C】}$$

となる。したがって、実物の造波抵抗 F_p は

$$F_p = \frac{F_m}{\text{【C】}} = \text{【D】} \text{ [kN]}$$

となる。模型の所要動力 P_m は、

$$P_m = F_m \times v_m = \text{【E】} \text{ [W]}$$

となり、実物の所要動力 P_p は、

$$P_p = F_p \times v_p = \text{【F】 [kW]}$$

となる。

[解答群]

- ① 0.239 ② 1 ③ 33.1 ④ 211 ⑤ l_r ⑥ l_r^2 ⑦ l_r^3 ⑧ l_r^4

〔5. メカトロニクス分野〕

1

サーボ制御に関して述べた以下の文章の空欄【A】～【K】に最も適切な語句を下記の〔語句群〕から選び、その番号を解答用紙の解答欄【A】～【K】にマークせよ。ただし、語句の重複使用は不可である。

サーボ (Servo) という言葉の語源はラテン語の servus (サーバス) であり、【A】制御の中で物体の位置・角度を扱う制御系をサーボ系と呼ぶ。各機器の動作や手続きの【B】を記述するシーケンス制御と違い、サーボ制御では制御対象の動作を【C】によって読み取り、制御演算を行うコントローラに【D】することで実現される。そのため、サーボ制御の性能はコントローラの演算性能だけでなく、【C】から【D】される信号の正確さや反応にも左右される。サーボ制御は、サーボアンプ (制御部)、サーボモータ (駆動部)、センサ (検出部) からなり、サーボアンプはサーボモータを駆動制御するためのサーボドライバでもある。サーボドライバでは「電流制御」「速度制御」「位置制御」の3つの機能を持つことが多い。

電流制御では、サーボモータの電流を制御することによって【E】制御を行っており、【E】を一定に保ちたい機器に活用されている。また、モータではある程度の回転速度に達してしまうと、駆動電力に比例して【F】も増加するので、モータ内部を流れる電流値をセンサによって監視しながら電流の大きさを制御する。

サーボ制御の中の速度制御には PID 制御が使われる。

P 制御では、【G】を小さくし、【H】を大きくさせる効果があるが、十分な時間が経過した後も【I】が 0 (ゼロ) にはならない。

I 制御では、【G】を小さくし、【H】を大きくさせて【I】を 0 (ゼロ) にする効果があるが、P 制御、I 制御を強くかけすぎると【J】が生じてしまう。

D 制御は【J】を抑えることができるので、システムの【K】を高めることができる。

〔語句群〕

- | | | | | |
|-----------|------------|--------|--------|-------|
| ① 安定性 | ② オーバーシュート | ③ 逆起電力 | ④ 順序 | ⑤ 振動 |
| ⑥ センサ | ⑦ 立ち上がり時間 | ⑧ 追従 | ⑨ 定常偏差 | ⑩ トルク |
| ⑪ フィードバック | | | | |

2

次の制御に関する文章の空欄【A】～【O】を埋めるの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】～【O】にマークせよ。

ただし、語句の重複使用は不可である。

鉄道などの改札システムは、我々の生活の中に、ごく普通に溶け込んでいる。改札システムの仕組みは、まず、IC 乗車券をリーダーライターにかざすと、その乗車券による通過判断を行い、ドアによる旅客の流動制御を行う。このような動作が所定の順番で実行されるように設計された機械に用いられている制御方式はシーケンス制御であり、日本産業規格（JIS）では、

「あらかじめ定められた【A】又は手続きに従って制御の各【B】を逐次進めていく制御」

と、その意味を規定している。この制御の多くは、次に行われる【C】があらかじめ定められており、次の4つの制御の組み合わせである。

- 【D】への動作指令が、時刻や時間で決まる「【E】制御」
- 前の動作が【F】すると、次の動作に移行する「【A】制御」
- 機械動作回数などを【G】し、その値によって【D】への動作を決める「【G】制御」
- 動作順序に関係なく、【H】に応じて、次に行う動作を論理判断して、次の動作に移行する「【I】制御」

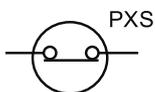
シーケンス制御の制御方式は、主に3つに分類することができ、制御図に【J】を用い、機械式の接点がある機器を用いて制御する【K】、制御図に【L】を用い、トランジスタ、ダイオードおよびこれらの集積回路（IC）といった半導体を用いて制御する【M】、制御図に【N】を用い、専用のマイクロコンピュータを利用して制御する【O】がある。

〔語句群〕

- | | | | |
|----------|----------|--------|------|
| ① PLC | ② 論理回路図 | ③ 完了 | ④ 計数 |
| ⑤ 時限 | ⑥ シーケンス図 | ⑦ 順序 | ⑧ 条件 |
| ⑨ 制御結果 | ⑩ 制御対象 | ⑪ 制御動作 | ⑫ 段階 |
| ⑬ 無接点リレー | ⑭ 有接点リレー | ⑮ ラダー図 | |

3 以下のシーケンス回路図に関する設問（1）～（3）に答えよ。

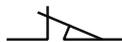
（1）次の図記号はどの制御用機器を表しているか。最も適切なものを〔選択群〕から選び、その番号を解答用紙の解答欄【A】～【E】にマークせよ。



【A】



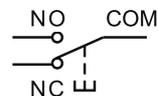
【B】



【C】



【D】

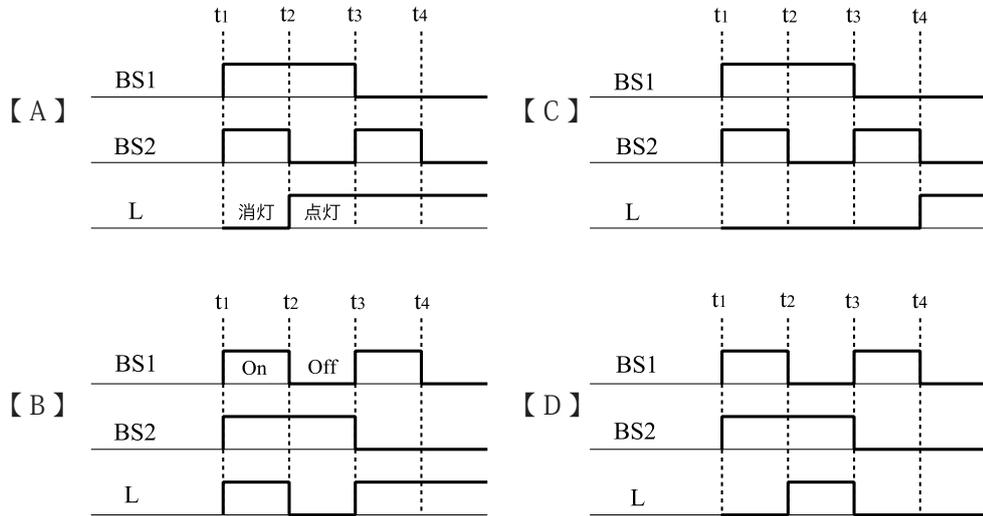


【E】

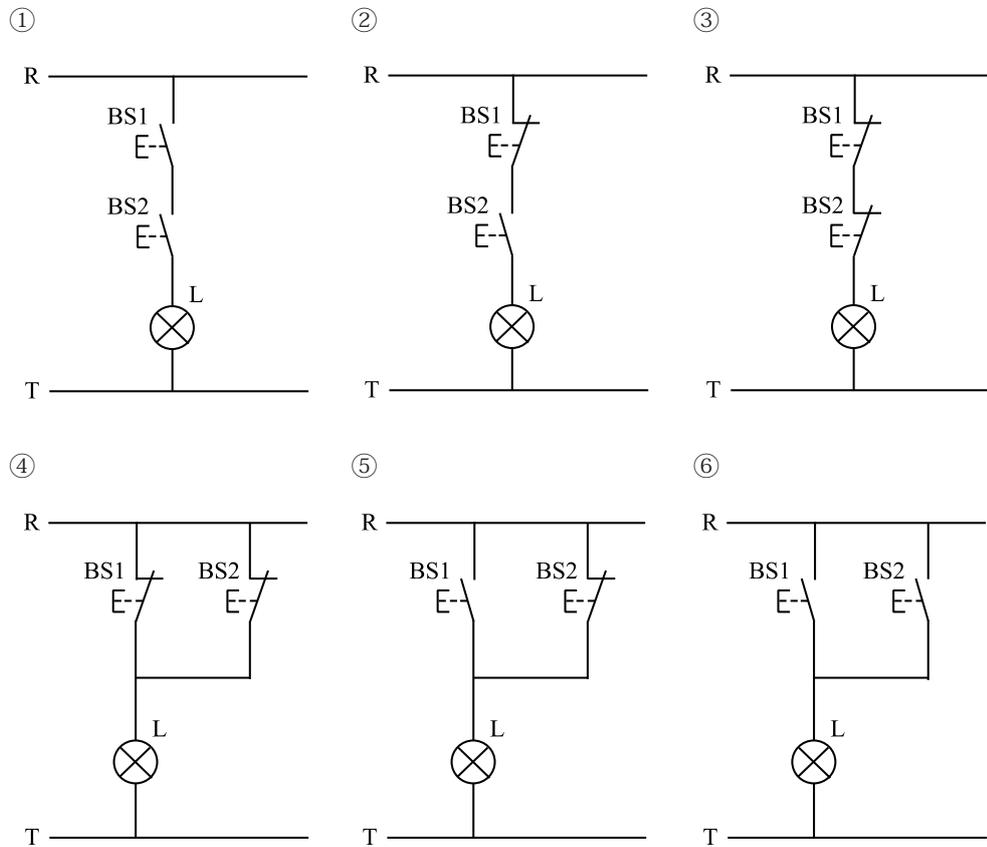
〔選択群〕

- | | | |
|-------------|--------------|--------------|
| ① 押しボタンスイッチ | ② オフディレイタイマー | ③ オンディレイタイマー |
| ④ 近接スイッチ | ⑤ 光電スイッチ | ⑥ 残留接点付きスイッチ |
| ⑦ 電磁接触器 | ⑧ 電磁リレー | ⑨ ばね復帰スイッチ |
| ⑩ リミットスイッチ | | |

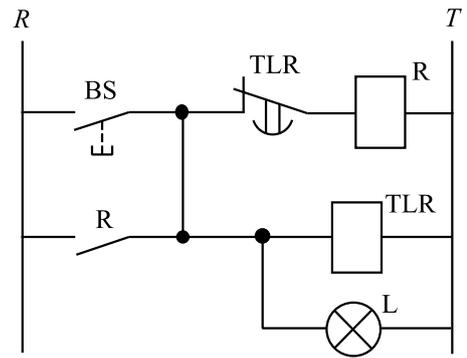
(2) 以下の図【A】～【D】は、スイッチBS1とBS2およびランプLを用いた動作回路の「タイムチャート」である。【A】～【D】の動作内容を表すシーケンス図として、最も適切なものを〔図群〕から選び、その番号を解答用紙の解答欄【A】～【D】にマークせよ。なお、「タイムチャート」とは、横軸に時間、縦軸に接点や制御機器がどのように動作していくかを図式化したものである。



〔図群〕

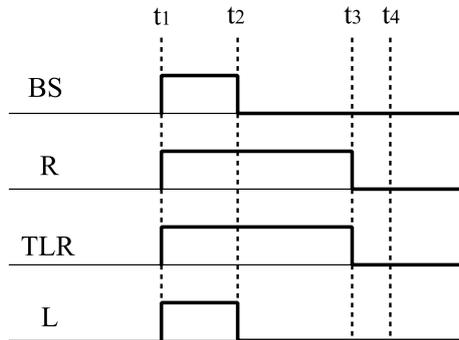


(3) 右のシーケンス図の回路の動作内容を表す「タイムチャート」として、最も適切な図を〔図群〕から選び、その番号を解答用紙の解答欄【A】にマークせよ。ただし、タイマの設定時間を $t_3 - t_1$ とする。

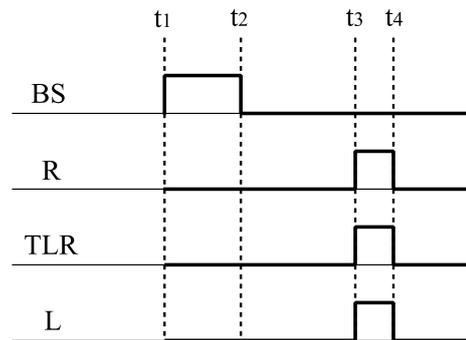


〔図群〕

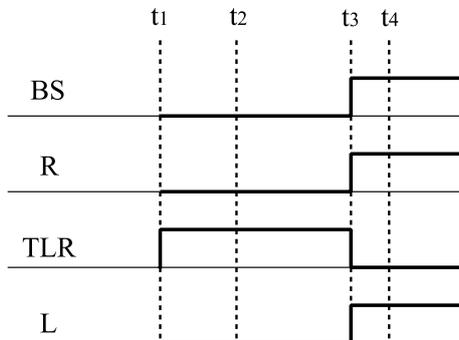
①



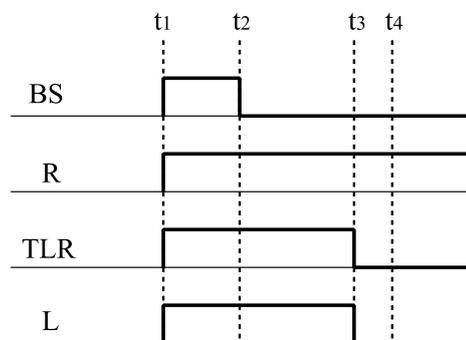
②



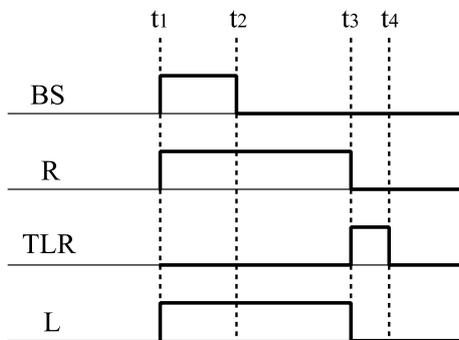
③



④



⑤



⑥

