

専門（生産システム工学専攻）
(機械工学科目群)

受験番号		氏名	
------	--	----	--

総得点	100 / 100
-----	-----------

問 1. 材料力学（1 / 2）

注意 解答は解答欄に記入すること。また、解答に至るまでの過程も示すこと。
解の有効数字桁数は、3 桁とする。

単位を[]の中に記入せよ。

問 1.1

(1)
はりの対称性より反力は 150[N]、
よって、 $2 \leq x \leq 3$ の範囲では
 $M = 150x - 150(x - 1) - 150(x - 2)$
 $= -150x + 450$

(3)
左の 150N のみ作用している場合を考える。
 $M = 100x \ (0 < x < 1)$
 $= 50(3 - x) \ (1 < x < 3)$
たわみ曲線の微分方程式は
 $\frac{dy^2}{d^2x} = -\frac{100}{EI}x \ (0 < x < 1)$
 $= -\frac{50}{EI}(3 - x) \ (1 < x < 3)$
 $\frac{dy}{dx} = -\frac{100}{EI}\left(\frac{x^2}{2} + C_1\right) \ (0 < x < 1)$
 $= -\frac{50}{EI}\left\{-\frac{(3 - x)^2}{2} + C_2\right\} \ (1 < x < 3)$
 $y = -\frac{100}{EI}\left(\frac{x^3}{6} + C_1x + C_3\right) \ (0 < x < 1)$
 $= -\frac{50}{EI}\left\{\frac{(3 - x)^3}{6} - C_2(3 - x) + C_4\right\} \ (1 < x < 3)$
境界条件 $x=0$ で $y=0$ より、 $C_3=0$
 $x=3$ で $y=0$ より、 $C_4=0$
 $x=1$ で θ が連続より、
 $-100\left(\frac{1}{2} + C_1\right) = -50(-2 + C_2)$
 $x=1$ で y が連続より、
 $-100\left(\frac{1}{6} + C_1\right) = -50\left(\frac{4}{3} - 2C_2\right)$

(2)
断面二次モーメントは
 $I = \frac{bh^3}{12} - \frac{(b - c)(h - 2c)^3}{12}$
 $= \frac{120^4}{12} - \frac{80 \times 40^3}{12}$
 $= 1.685 \times 10^7 [mm^4]$
 $= 1.69 \times 10^{-5} [m^4]$

曲げ応力は、はりの上下面で最大となる
 $\sigma = \frac{M}{I}y$
 $= \frac{150}{1.685 \times 10^{-5}} \times 0.06$
 $= 5.34 \times 10^5 [Pa]$

この連立方程式を解くと、
 $C_2 = \frac{4}{3}$
 $y = -\frac{50}{EI}\left\{\frac{(3 - x)^3}{6} - \frac{4}{3}(3 - x)\right\} \ (1 < x < 3)$
問題のはりは左右対称であるので、中央部のたわみは片方の荷重が作用した場合の中央部 $x=1.5$ のたわみの 2 倍となる。
 $y = -\frac{50}{EI}\left\{\frac{(3 - x)^3}{6} - \frac{4}{3}(3 - x)\right\} \times 2$
 $= -\frac{50}{209 \times 10^9 \times 1.685 \times 10^{-5}}\left(\frac{1.5^3}{6} - \frac{4}{3} \times 1.5\right) \times 2$
 $= 4.082 \times 10^{-5} [m]$

問題 番号	解答	得点
(1)	$M = -150x + 450$	12
(2)	5.34×10^5 [Pa]	12
(3)	4.08×10^{-5} [m]	16

専門（生産システム工学専攻）

（機械工学科目群）

受験番号		氏名	
------	--	----	--

問 1. 材料力学（2／2）

問 1.2

(1)

軸の断面二次極モーメントは

$$\begin{aligned}
 I_p &= \frac{\pi d^4}{32} \\
 &= \frac{\pi \times 0.04^4}{32} \\
 &= 2.51 \times 10^{-7} [\text{m}^4]
 \end{aligned}$$

(2)

軸の全ねじれ角は

$$\begin{aligned}
 \phi &= \frac{32 T l}{\pi d^4 G} \\
 &= \frac{32 \times 800 \times 0.75}{\pi \times 0.04^4 \times 74 \times 10^9} \\
 &= 3.226 \times 10^{-2} [\text{rad}]
 \end{aligned}$$

(3)

ねじりの最大せん断応力が許容せん断応力を超えないことから

$$\begin{aligned}
 \tau_a &\geq \tau_{\max} \\
 \frac{\tau_s}{S} &\geq \frac{16}{\pi d^3} T \\
 T &\leq \frac{\tau_s \pi d^3}{16 S} \\
 &\leq \frac{248 \times 10^6 \times \pi \times 0.04^3}{16 \times 4} \\
 &\leq 779.11 \\
 &\text{したがって, } 779 [\text{Nm}]
 \end{aligned}$$

(4)

伝動軸で $n[\text{rpm}]$ で伝達される動力 $H[\text{kW}]$ は

$$H = \frac{\pi T n}{30000}$$

許容せん断応力とトルクの関係から

$$\tau_a \geq \tau_{\max}$$

$$\frac{\tau_s}{S} \geq \frac{16}{\pi d^3} T$$

$$T \leq \frac{\pi d^3 \tau_s}{16 S}$$

したがって、動力 H は

$$\begin{aligned}
 H &\leq \frac{\pi n}{30000} \times \frac{\pi d^3 \tau_s}{16 S} \\
 &\leq \frac{\pi \times 1600}{30000} \times \frac{\pi \times 0.04^3 \times 248 \times 10^6}{16 \times 8} \\
 &\leq 65.270 [\text{kW}] \\
 &65.2 [\text{kW}] \text{ まで安全に伝達できる}
 \end{aligned}$$

(5)

中空軸のせん断応力は

$$\begin{aligned}
 \tau_{\max} &= \frac{16 d_1}{\pi (d_1^4 - d_2^4)} T \\
 &= \frac{16 \times 0.04 \times 800}{\pi \times (0.04^4 - 0.035^4)} \\
 &= 1.538 \times 10^8 [\text{Pa}]
 \end{aligned}$$

問題番号	解答	得点
(1)	2.51×10^{-7} [m^4]	12
(2)	3.23×10^{-2} [rad]	12
(3)	779 [Nm]	12
(4)	65.2 [kW]	12
(5)	1.54×10^8 [Pa]	12

専門（生産システム工学専攻）
(機械工学科目群)

受験番号		氏名	模範解答
------	--	----	------

総得点	/ 100
-----	-------

問 2. 熱流体力学（1／3）

注意 解答は解答欄に記入すること。また、解答に至るまでの過程も示すこと。
単位を[]の中に記入せよ。有効数字の桁数は3桁で答えよ。

問 2.1

(1) $Q = Av = 7.00 \times 10^{-4} \times 30.0 = 0.021 \text{ m}^3/\text{s}$

(2) 入口を1, 出口を2とし, それぞれの噴流を x 方向, y 方向に分けて,

$v_{1x} = v_1 = 30.0 \text{ m/s}$ $v_{2x} = v \cos \theta = 30 \cos 60^\circ = 15.0 \text{ m/s}$

$v_{1y} = 0 \text{ m/s}$ $v_{2y} = v \sin \theta = 30 \sin 60^\circ = 25.981 \text{ m/s}$

x 方向の運動量変化が x 方向の力なので

$F_x = \rho Q (v_{1x} - v_{2x}) = 1000 \times 0.021 \times (30.0 - 15.0) = 315 \text{ N}$

(3) 同様に y 方向は

$F_y = \rho Q (v_{1y} - v_{2y}) = 1000 \times 0.021 \times (0 - 25.98) = -545.58$
 $= -546 \text{ N}$

問題 番号	解答	得点
(1)	2.10×10^{-2} $[\text{m}^3/\text{s}]$	10
(2)	315 $[\text{N}]$	10
(3)	546 $[\text{N}]$	10

専門（生産システム工学専攻）
(機械工学科目群)

受験番号		氏名	模範解答
------	--	----	------

問 2. 熱流体力学（2／3）

注意 解答は解答欄に記入すること。また、解答に至るまでの過程も示すこと。
単位を[]の中に記入せよ。有効数字の桁数は3桁で答えよ。

問 2.2 (1) A点 B点でベルヌーイの定理を適用し.

$$\frac{v_A^2}{2g} + \frac{P_A}{\rho g} + z_A = \frac{v_B^2}{2g} + \frac{P_B}{\rho g} + z_B \dots \textcircled{1}$$

連続の式より $\frac{\pi d_1^2}{4} v_A = \frac{\pi d_2^2}{4} v_B$

$$v_A = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 v_B \dots \textcircled{2}$$

②を①へ代入し.

$$\frac{\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4 v_B^2}{2g} + \frac{P_A}{\rho g} + z_A = \frac{v_B^2}{2g} + \frac{P_B}{\rho g} + z_B$$

$$v_B = \sqrt{\frac{2g}{1 - \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4} \left\{ \frac{1}{\rho g} (P_A - P_B) + (z_A - z_B) \right\}} \dots \textcircled{3}$$

マノメタ右側の液面での圧力のつりあいを考え.

$$P_A + \rho g h = P_B + \rho g H + \rho' g h$$

$$P_A - P_B = \rho g (H - h) + \rho' g h \dots \textcircled{4}$$

④を③に代入し.

$$v_B = \sqrt{\frac{2g}{1 - \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4} \left\{ \frac{1}{\rho g} [\rho g (H - h) + \rho' g h] + (z_A - z_B) \right\}}$$

$$= \sqrt{\frac{2g}{1 - \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4} \left\{ (H - h) + \frac{\rho'}{\rho} h + (z_A - z_B) \right\}} = \sqrt{\frac{2 \times 9.81}{1 - \left(\frac{0.1}{0.28}\right)^4} \left\{ (0.8 - 0.3) + \frac{13.6 \times 10^3}{1000} \times 0.3 + (-0.8) \right\}}$$

$$= 8.6827 = 8.68 \text{ m/s}$$

※ 中間点
・ ベルヌーイの定理の適用 10点
・ マノメタでの圧力のつりあい式 (P_A-P_B) 10点

	解答	得点
v_B	8.68 [m/s]	30

専門（生産システム工学専攻）
(機械工学科目群)

受験番号		氏名	模範解答
------	--	----	------

問 2. 熱流体力学（3／3）

注意 解答は解答欄に記入すること。また、解答に至るまでの過程も示すこと。
単位を[]の中に記入せよ。有効数字の桁数は3桁で答えよ。

問 2.3

P	0.5 MPa	(3)
V	$1.50 \times 10^{-4} \text{ m}^3$	$V_2 = 3V_1 = 4.5 \times 10^{-4} \text{ m}^3$
T	(1)	(4)
m	$4.96 \times 10^{-4} \text{ kg}$	C_v 661 J/kgK
R	189 J/kgK	K (2)

(1) $p_1 V_1 = m R T_1$ より

$$T_1 = \frac{p_1 V_1}{m R} = \frac{0.5 \times 10^6 \times 1.5 \times 10^{-4}}{4.96 \times 10^{-4} \times 189} = 800.05 \text{ K}$$

(=526.90℃)

(2) $k = \frac{C_p}{C_v}$, $R = C_p - C_v$ より

$$k = \frac{C_p}{C_v} = \frac{R + C_v}{C_v} = \frac{189 + 661}{661} = 1.2859$$

(3) $p_1 V_1^k = p_2 V_2^k$ より

$$p_2 = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k p_1 = \left(\frac{1}{3}\right)^{1.286} \times 0.5 \times 10^6 = 121.72 \times 10^3 \text{ Pa}$$

(4) $T_1 V_1^{k-1} = T_2 V_2^{k-1}$ より

$$T_2 = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} T_1 = \left(\frac{1}{3}\right)^{1.286-1} \times 800.1$$

=584.36 K

もしくは

$p_2 V_2 = m R T_2$ より

$$T_2 = \frac{p_2 V_2}{m R} = \frac{121.7 \times 10^3 \times 4.5 \times 10^{-4}}{4.96 \times 10^{-4} \times 189}$$

=584.19 K

※計算途中の丸め誤差は採点時に考慮する

問題 番号	解答	得点
(1)	800 [K]	10
(2)	1.29 [-]	10
(3)	122 [kPa]	10
(4)	584 [K]	10

専門（生産システム工学専攻）

（機械工学科目群）

受験番号

氏名

模範解答

総得点

100 / 100

問3. 制御工学（1／3）

注意 解答は解答欄に記入すること。また、解答に至るまでの過程も示すこと。

問3.1

$$(1) F(s) = \int_0^{\infty} t e^{-st} dt$$

部分積分法を適用する $\int u \cdot v' = u \cdot v - \int u' \cdot v$

$$u = t, \quad v' = e^{-st} \Rightarrow u' = 1, \quad v = -\frac{1}{s} e^{-st}$$

$$\text{よって、} F(s) = \left[t \cdot -\frac{1}{s} e^{-st} \right]_0^{\infty} - \int_0^{\infty} -\frac{1}{s} e^{-st} dt = 0 + \frac{1}{s} \int_0^{\infty} e^{-st} dt = 0 + \frac{1}{s} \frac{1}{s} = \frac{1}{s^2}$$

$$(2) F(s) = \int_0^{\infty} e^{2t} e^{-st} dt$$

$$F(s) = \int_0^{\infty} e^{-(s-2)t} dt = \left[-\frac{1}{s-2} e^{-(s-2)t} \right]_0^{\infty}$$

$$= 0 - \left(-\frac{1}{s-2} \right) = \frac{1}{s-2}$$

問題 番号	解答	得点
(1)	$\frac{1}{s^2}$	15
(2)	$\frac{1}{s-2}$	15

問 3. 制御工学 (2 / 3)

注意 解答は解答欄に記入すること。また、解答に至るまでの過程も示すこと。

問 3.2

ばね定数 K_1 のばねによって作用する力: $K_1\{x_i(t) - x_o(t)\}$

ダンパによって作用する力: $D \frac{d}{dt}\{x_i(t) - x_o(t)\}$

ばね定数 K_2 のばねによって作用する復元力: $-K_2x_o(t)$

以上より、この系の力のつり合い式は、

$$K_1\{x_i(t) - x_o(t)\} + D \frac{d}{dt}\{x_i(t) - x_o(t)\} - K_2x_o(t) = 0$$

$x_i(t)$ 、 $x_o(t)$ ごとに項を整理して、

$$D \frac{dx_o(t)}{dt} + (K_1 + K_2)x_o(t) = D \frac{dx_i(t)}{dt} + K_1x_i(t)$$

両辺をラプラス変換して、 $(Ds + K_1 + K_2)X_o(s) = (Ds + K_1)X_i(s)$

よって求める伝達関数は、

$$G(s) = \frac{X_o(s)}{X_i(s)} = \frac{Ds + K_1}{Ds + K_1 + K_2}$$

	解答	得点
釣り合い式	$K_1\{x_i(t) - x_o(t)\} + D \frac{d}{dt}\{x_i(t) - x_o(t)\} - K_2x_o(t) = 0$	20
伝達関数 $G(s)$	$\frac{Ds + K_1}{Ds + K_1 + K_2}$	20

問 3. 制御工学 (3 / 3)

注意 解答は解答欄に記入すること。また、解答に至るまでの過程も示すこと。

単位を[]の中に記入せよ。

問 3.3

(1) 比例要素の他には分子がむだ時間要素、分母が一時遅れ要素である。

(2) 周波数伝達関数 $G(j\omega) = \frac{5e^{-2j\omega}}{1+3j\omega} = \frac{5}{1+3j\omega} e^{-2j\omega} = G_1(j\omega)G_2(j\omega)$

基本要素ごとに大きさと位相を計算する。

$$|G_1(j\omega)| = \sqrt{\left\{\frac{5}{1+(3\omega)^2}\right\}^2 + \left\{\frac{-5 \cdot 3\omega}{1+(3\omega)^2}\right\}^2} = \frac{\sqrt{5^2\{1+(3\omega)^2\}}}{1+(3\omega)^2} = \frac{5}{\sqrt{1+(3\omega)^2}}, \quad \angle G_1(j\omega) = \tan^{-1} \frac{\frac{-5 \cdot 3\omega}{1+(3\omega)^2}}{\frac{5}{1+(3\omega)^2}} = -\tan^{-1}(3\omega) [\text{deg}]$$

$$|G_2(j\omega)| = \sqrt{\cos^2(2\omega) + \sin^2(2\omega)} = 1,$$

$$\angle G_2(j\omega) = \tan^{-1} \frac{-\sin^2(2\omega)}{\cos^2(2\omega)} = \tan^{-1}\{-\tan(2\omega)\} = -2\omega [\text{rad}] = -2\omega \cdot \frac{180}{\pi} [\text{deg}]$$

よって、大きさ $|G(j\omega)| = |G_1(j\omega)| \cdot |G_2(j\omega)| = \frac{5}{\sqrt{1+(3\omega)^2}} \cdot 1 = \frac{5}{\sqrt{1+(3\omega)^2}}$

位相

$$\angle G(j\omega) = \angle G_1(j\omega) + \angle G_2(j\omega)$$

$$= -\tan^{-1}(3\omega) - \frac{360\omega}{\pi} [\text{deg}]$$

問題 番号	解答		得点
(1)	むだ時間要素		10
	一次遅れ要素		
(2)	$ G(j\omega) $	$\frac{5}{\sqrt{1+(3\omega)^2}}$	20
	$\angle G(j\omega)$	$-\tan^{-1}(3\omega) - \frac{360\omega}{\pi} \quad [\text{deg}]$	