

2026 年度（令和 8 年度）大学院工学研究科（博士前期課程）

専門試験問題

（電気・機械工学系 機械工学プログラム）

注 意 事 項

1. 試験開始の指示があるまで、この問題冊子を開いてはいけません。
2. 問題は、1 ページから 7 ページまであります。解答用紙は、6 枚あります。ページの脱落等に気付いたときは、手をあげて監督者に知らせてください。
3. 下記表の問題を全て解答してください。各問題につき問題文内で指定された解答用紙 1 枚を使用して解答してください。 解答用紙の追加配付はありません。

問題番号	出題科目
22	制御工学B
23	力学・材料力学
24	熱力学・流体力学

4. 監督者の指示に従って、志望プログラム及び受験番号を 6 枚の解答用紙の該当欄に必ず記入してください。
5. 計算用紙は、問題冊子の白紙ページを利用してください。
6. 解答用紙の裏にも解答を記入する場合には、表と上下を逆にして記入してください。
7. 机の上には、受験票、黒の鉛筆・シャープペンシル、消しゴム、鉛筆削り及び時計（計時機能だけのもの）以外の物を置くことはできません。
8. コンパス及び定規等は、使用できません。
9. 時計のアラーム（計時機能以外の機能を含む。）は、使用しないでください。
10. スマートフォン、携帯電話、ウェアラブル端末等の音の出る機器を全て机の上に出し、それらの機器のアラームを解除してから、電源を切り、かばん等に入れてください。
11. 試験終了まで退室できません。試験時間中に用がある場合は、手をあげてください。
12. 試験終了後、この問題冊子は持ち帰ってください。

問題 2 2 制御工学 B

設問すべてについて解答すること。解答用紙「2 2」に解答すること。

I 図 1 に示すばね-ダンパ（ダッシュポット）系において、ばね係数を K 、ダンパの粘性抵抗係数（粘性減衰係数）を B とする。運動は水平一直線上に拘束されているものとし、壁は固定されており、動かないものとする。入力変位 $x(t)$ から出力変位 $y(t)$ までの伝達関数 $G(s)$ は次式となった。

$$G(s) = \frac{B^2 s^2 + a s + b}{f s^2 + g s + h}$$

式中の係数 (a, b, f, g, h) を、それぞれ K, B を適宜用いて表せ。

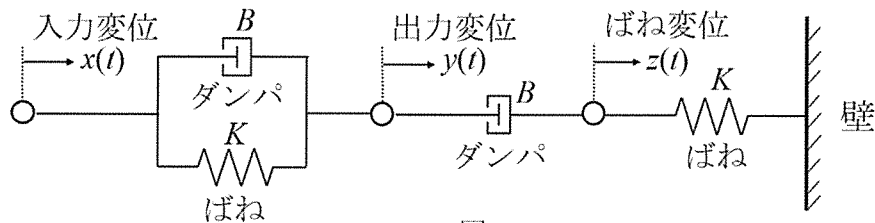


図 1

II 図 2 に示すフィードバック制御系について、次の (1) ~ (3) の問いに答えよ。制御対象と補償器の初期値はすべて 0 とする。

(1) $r(t)$ から $y(t)$ までの伝達関数を、 $C(s)$ を用いて表せ。

(2) $C(s) = \frac{K_1}{s^3 + 3s^2 + 2s + 4}$ とおく。フィードバック制御系が安定となる実数 K_1 の範囲を求めよ。

(3) $C(s) = K_2$ とおき、 $r(t)$ および $d(t)$ として、時刻 $t = 0$ に単位ステップ信号を加えた。このとき

$$e(t) = \alpha + \beta \times e^{-4t} \quad (t \geq 0)$$

であった。実数 K_2, α, β をそれぞれ求めよ。

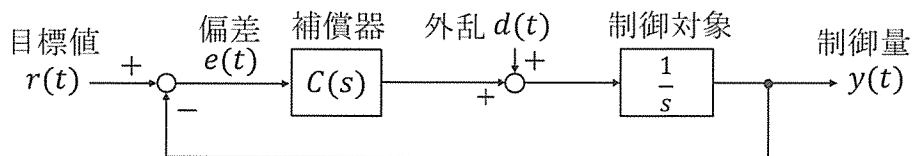


図 2

III 図 3 に示す制御系について、目標値 $r(t)$ から制御量 $y(t)$ までの伝達関数を、 $P(s)$ と $Q(s)$ を用いて表せ。

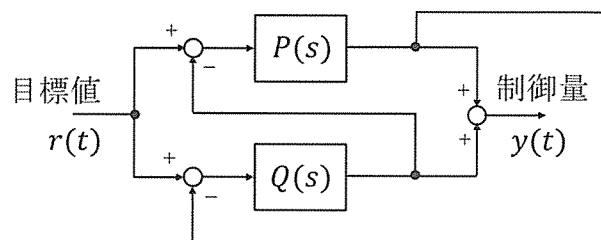


図 3

問題 2 3 力学・材料力学

設問すべてについて解答すること。解答用紙「2 3 - I」に解答すること。

I 図 1 に示すように、一辺の長さ L 、質量 M の正方形の剛体 ABCD が固定壁に設置されたピンにより原点 O でピン支持されている。剛体 ABCD は点 E でつながれた糸によって水平方向 (x 軸) に対して角度 60° で平衡状態にある。なお、天井は水平であり、糸とのなす角は 60° である。また、点 O と点 E はそれぞれ辺 AB, 辺 CD の中点である。図 1 に示すように水平方向に x 軸、鉛直方向に y 軸となる座標系をとり、回転の方向は反時計回りを正とする。剛体 ABCD の重心 G に対する慣性モーメントは $I_G = ML^2/6$ で与えられ、重力加速度の大きさを g とする。なお、固定壁と天井は剛体 ABCD の運動に干渉しない。

- (1) ピン支持点 O に関する剛体 ABCD の慣性モーメント I_O を求めよ。
- (2) 図 1 の実線に示すように剛体 ABCD が平衡状態にあるとき、点 O での x 方向の支持反力を R_x 、 y 方向の支持反力を R_y 、糸の張力を T とするとき、力のつり合い条件および点 O まわりの力のモーメントのつり合い条件を示せ。
- (3) 支持反力 R_x 、 R_y 、および糸の張力 T を求めよ。
- (4) 糸を静かに切り離れた後、剛体 ABCD は回転運動を始めた。剛体 ABCD が 60° 回転し図 1 の点線の位置に達したときの回転角速度 ω を求めよ。 I_O を用いてもよい。
- (5) 剛体 ABCD が 60° 回転した図 1 の点線の位置での剛体 ABCD の点 O まわりの回転の運動方程式を示せ。ただし、回転の角加速度を α とする。 I_O を用いてもよい。
- (6) 剛体 ABCD が 60° 回転した図 1 の点線の位置での重心 G の速度成分 (v_x, v_y) と加速度成分 (a_x, a_y) を求めよ。 I_O を用いてもよい。

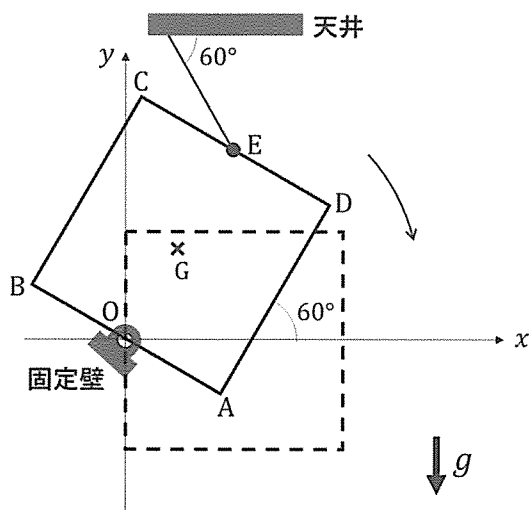


図 1

Ⅱ 次の(1)～(7)の問いについて答えよ。

解答用紙「23-Ⅱ」に解答すること。

図1のように、長さ L 、外径 D_0 、内径 D_1 の鉛直方向に長い薄肉円筒管が、A にて天井に固定されている。固定端 A の図心を原点とし、円筒管の長軸方向に沿って x 軸、図の左向きに y 軸、右手直交座標系に z 軸をとる。このとき、円筒管の自重による x 方向の伸びを考える。変形は微小であるとして以下の設問に答えよ。なお、円筒管の縦弾性係数を E 、密度を ρ とし、重力加速度を g とする。ただし、以下の設問に $\{ \}$ がある場合、 $\{ \}$ に記載される変数のみを用いて最終解を表すこと。なお、円周率 π はいずれの解答に用いてもよい。

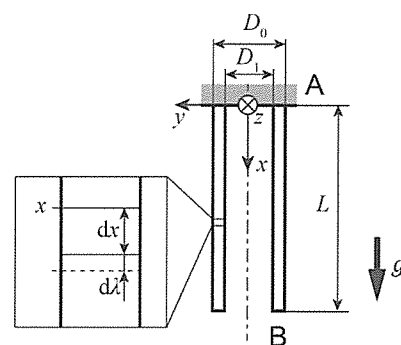


図 1

- (1) 位置 x で x 軸に対して垂直に仮想断面を切ったとき、その断面から鉛直方向に下部の質量 $m(x)$ を求めよ。また、その質量 $m(x)$ により位置 x に生じる x 方向の垂直応力 $\sigma(x)$ を求めよ。
- (2) x 方向の垂直応力の最大値が生じる位置 x とその最大値 σ_g を求めよ。
- (3) 図1の位置 x の拡大図のように、位置 x のごく近傍における微小長さ dx 部分について、自重による x 方向の伸び $d\lambda$ を求めよ。 $\{dx, x, \rho, L, D_0, D_1, E, g\}$
- (4) 円筒管の x 方向の全体の伸び λ を求めよ。 $\{\rho, L, D_0, D_1, E, g\}$

次に、図2のように B に質量 M で厚みの無視できる剛体を接着して円筒管底部にフタをした上、円筒管内に空気による内圧 P を、そして B には y 方向に荷重 W を負荷した。このときの x 方向の垂直応力を考える。以下の設問に答えよ。

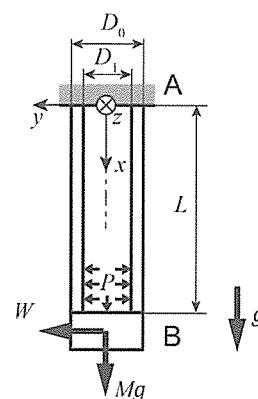


図 2

- (5) 円筒管の x 方向に生じた垂直応力のうち、内圧 P により生じた分の x 方向の垂直応力 σ_P を求めよ。ただし、円筒管からの空気漏れはないものとする。 $\{\rho, L, D_0, D_1, E, P\}$
- (6) 円筒管の x 方向に生じた垂直応力のうち、荷重 W により生じた分の x 方向の垂直応力の最大値 σ_W を求めよ。なお、円筒管の z 軸に関する断面2次モーメントは I として用いてよい。 $\{\rho, L, D_0, D_1, W, E, I\}$
- (7) 安全率 S とし、基準強さ σ_s の材料を用い、 x 方向の垂直応力のみを考慮して円筒管を設計する。 x 方向の垂直応力を許容応力以下とするための質量 M の条件を求めよ。 $\{\sigma_s, \sigma_g, \sigma_P, \sigma_W, L, D_0, D_1, g, S\}$

Ⅲ 次の（１）～（３）の問いについて答えよ。

解答用紙「２３－Ⅲ」に解答すること。

- （１） 18-8 ステンレス（結晶構造：fcc，積層欠陥エネルギー：10 mJ/m²）と，純鉄（結晶構造：bcc，積層欠陥エネルギー：950 mJ/m²）を比べると，どちらが加工硬化しやすいか？

80 文字程度でその理由も述べよ。

- （２） ピアノ線は，どの組成の鉄鋼を使って，どのように加工され，どのような組織をもっているか？

80 文字程度で説明せよ。

- （３） 金属材料の組織の細かさと降伏点の関係を 40 文字程度で説明せよ。

問題 2 4 熱力学・流体力学

設問すべてについて解答すること。ただし、問題番号 I (1) から (8) については解答用紙 (2 4 - I) に、問題番号 II については解答用紙 (2 4 - II) にそれぞれ解答すること。

I タービンに関する以下の (1), (2), (3) の問題, ボイラー及び蒸気タービンに関する以下の (4), (5) の問題, ヒートポンプに関する以下の (6), (7), (8) の問題に答えよ。

タービンが入口で比体積 v_1 [m³/kg], 圧力 p_1 [Pa] の理想気体を単位時間に 1 kg だけ吸い込み, 出口で圧力が p_2 [Pa] になるまで準静的に膨張させている。理想気体の比熱比は κ とする。

- (1) 気体がタービン内で等エントロピー変化するものとして, このタービンに発生する単位時間当たりの工業仕事 L_1 [J] を v_1, p_1, p_2 および κ を用いて答えよ。
- (2) (1) の条件と異なり, タービン内の気体の膨張過程において単位時間あたり q [J] の熱が環境に逃げた結果, タービン出口での気体の比体積は v_2 [m³/kg] となった。気体はタービン出口で環境に放出される。このとき, タービンに発生する単位時間あたりの工業仕事 L_2 [J] を v_1, p_1, p_2, κ, q および v_2 を用いて答えよ。
- (3) (2) のとき, 単位時間あたりのエクセルギー損失 E [J] を v_1, p_1, p_2, κ, q および v_2 を用いて答えよ。ただし, タービン内で気体が等エントロピー変化する場合には, タービン入口での気体のエクセルギーはすべてタービンに発生する工業仕事になるものとしてよい。

状態 1 (5 MPa, 264 °C) で飽和液の状態にある水 1 kg を, ボイラーにより圧力一定で状態 2 (500 °C) まで加熱し過熱蒸気とした。その後, 過熱蒸気を蒸気タービンにより等エントロピー膨張させ湿り蒸気とし, これを状態 3 とする。状態 1 での飽和液の比エンタルピー h_1 と状態 2 での過熱蒸気の比エンタルピー h_2 は, それぞれ $h_1 = 1150$ kJ/kg, $h_2 = 3430$ kJ/kg とする。状態 3 での湿り蒸気の比エンタルピー h_3 は, $h_3 = 2400$ kJ/kg であった。このとき, 以下の問いに答えよ。

- (4) 状態 1 の水 1 kg を状態 2 にするのに必要な熱量 Q [kJ] を有効数字 3 桁で求めよ。
- (5) 蒸気タービンに発生した工業仕事 L_3 [kJ] を有効数字 3 桁で求めよ。

ヒートポンプにより加熱された部屋の温度が 27 °C に保たれている。この部屋を囲む外気の温度は 7 °C で, 部屋から外気には単位時間あたり 100 kJ が熱損失により移動する。ヒートポンプは, 単位時間あたり 1 サイクルが完了する逆カルノーサイクルにより外気から部屋に熱を移動させている。このとき, 以下の問いに答えよ。

- (6) 縦軸を作動流体の温度 T [K], 横軸を作動流体のエントロピー S [kJ/K] とする T - S 線図上に, ヒートポンプのサイクルを描け。ただし, サイクルの向きを表す矢印を記すとともに, 単位時間当たりの部屋の熱損失 100 kJ に相当する面積を T - S 線図上に斜線で図示すること。なお, サイクルの等温膨張の過程において作動流体のエントロピーは S_1 [kJ/K] から S_2 [kJ/K] まで変化するものとする。

- (7) ヒートポンプを動かすのに必要な単位時間あたりの仕事 L_4 [kJ] を有効数字 3 桁で求めよ。
- (8) ヒートポンプの成績係数 ε を有効数字 3 桁で求めよ。

II 設問すべてについて解答すること。解答用紙「24-II」に解答すること。また、小間について、たとえば、(1) $x=y+z$ のように、最終的な解答に小間の番号を付して下線で明示すること。

マイクロ流体デバイスにおいては、薬品やバイオ試料の精密な操作が必要とされる。これらのデバイスでは、例えば、2枚の平行平板の間に流体を流し、平板を移動させてせん断流（クエット流）を発生させたり、上下流に圧力差をかけて流れ（ポアズユ流）を発生させたりすることで、目的の流れとなるように制御することが求められる。

図1に示すように、2次元のデカルト座標系 (x, y) において、2枚の平行平板（滑り無しの不浸透壁、奥行きは無限に広い）が上壁面は $y=H$ [m]、下壁面は $y=0$ [m] の位置にあり、それらの間 $(0 \leq y \leq H)$ に粘性・非圧縮性流体（粘度 μ [Pa·s]、密度 ρ [kg/m³]) が満たされている。下壁は静止し、上壁は一定の速度 U [m/s] で右向き ($U>0$) に動いている。2枚の平行平板の間の流体に x 方向に一定の圧力勾配をかけたとき、流れは完全に発達した2次元の定常な層流になるとして、次の(1)～(5)の問いについて答えよ。その際、問題文中で使用されている文字以外を使用しないこと。

- (1) 2次元 (x, y) の定常な粘性・非圧縮性流体のナビエ・ストークスの式 (NS 式) と連続の式を示せ。ここで、 x 方向および y 方向の速度成分はそれぞれ u [m/s] および v [m/s]、圧力は p [Pa] である。
- (2) 流れは流れ方向 (x 方向) のみの一次元流れ ($v=0$ 、圧力 p は x のみの関数) であると仮定して、 x 方向の速度成分の y 方向分布 $u(y)$ を導出せよ。
- (3) 平行平板間を流れる体積流量 Q (単位幅あたりの流量) を求めよ。
- (4) 正味の流量が正となるような圧力勾配 (dp/dx) の条件を求めよ。
- (5) 図1に示すように、流体の最大速度が上壁の移動速度 U よりも大きい場合について、流体が最大速度となる y 方向位置 $y_{\max}$ を求めよ。

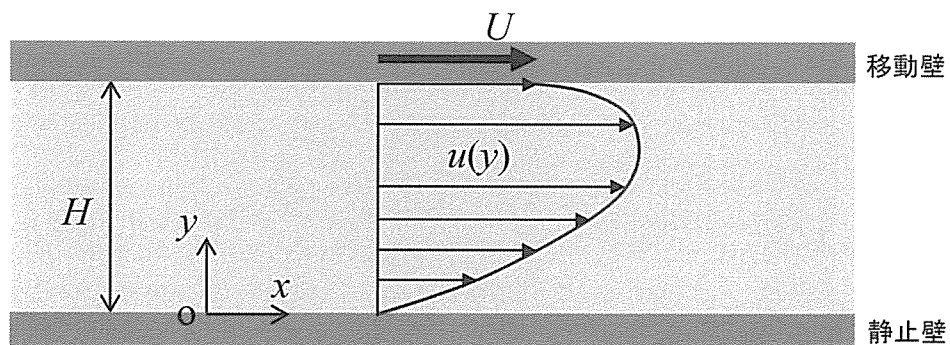


図1