

2025 年度（令和 7 年度）大学院工学研究科（博士前期課程）

私費外国人留学生

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 9 ページまであります。解答用紙は、3 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. 下記表の問題番号 9 から 13 の中から 3 題を解答してください。1 題につき解答用紙 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
9	力学・材料力学 Mechanics, strength of materials
10	流体力学 Fluid dynamics
11	熱力学 Thermodynamics
12	生産加工 Materials and processing
13	制御工学 Control engineering

4. 監督者の指示に従って、問題番号、志望プログラム及び受験番号を 3 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9 力学・材料力学

設問すべてについて解答すること。

I 長さ L 、質量 M の様な細長い剛体棒ABがなめらかな壁と床に接している。剛体棒は端点Bに x 軸と平行な力 P によって、図1のように床との角度 30° で平衡状態にある。次の(1)～(4)の問いについて答えよ。ただし、図1のように水平方向に x 軸、鉛直方向に y 軸となる座標をとり、重力加速度の大きさを g とする。また剛体棒ABの重心Gに関する慣性モーメントは $I_G = ML^2/12$ で与えられる。

(1) 点Aでの x 方向の支持反力を A_x 、点Bでの y 方向の支持反力を B_y とすると、力のつり合い条件および力のモーメントのつり合い条件を示せ。

(2) 支持反力 A_x 、 B_y 、および力 P を求めよ。

力 P を取り除くと、剛体棒は壁と床から離れることなく運動した。

(3) 点Aでの x 方向の支持反力を A'_x 、点Bでの y 方向の支持反力を B'_y とすると、力 P を取り除いた瞬間の並進の運動方程式と重心G周りの回転の運動方程式を示せ。ただし、重心Gの加速度の x 、 y 成分をそれぞれ a_x 、 a_y 、回転の角加速度を α とする。また、最終的な解答に I_G を用いてもよい。

(4) 力 P を取り除いた瞬間の重心G周りの角加速度 α 、加速度の各成分 a_x 、 a_y を求めよ。ただし、最終的な解答に A'_x 、 B'_y 、 I_G を用いないこと。

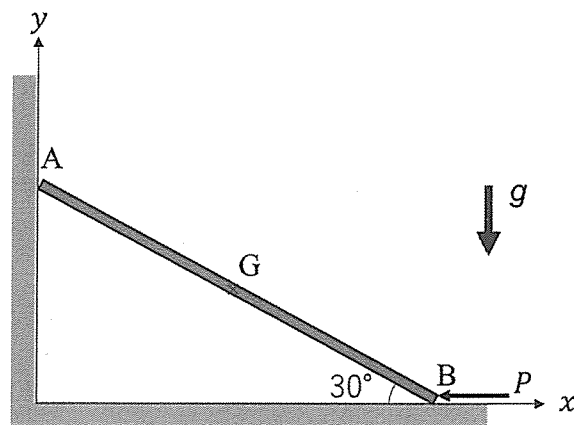


図1

II 図2に示すように、長さ $6a$ の片持ちはり上にL字型の腕が1つ取り付けられている。これにおいて、はりの左端Aを原点とし、はり中心軸上で右端B方向を正とする x 軸、 x 軸に直交し下向きを正とする y 軸、 x 軸および y 軸に直交し、紙面奥方向を正とする z 軸を有する直交座標系 x - y - z を定義する。ただし、 z 軸は横断面の図心を通るものとする。 $x=2a$ の点C上から延びるL字型の腕は、辺々共に長さが a であり、その先端Dには下向き荷重 P が作用している。はりのヤング率を E 、 z 軸に対する断面二次モーメントを I_z とする。せん断力 F および曲げモーメント M の正方向は図3に示す通りである。

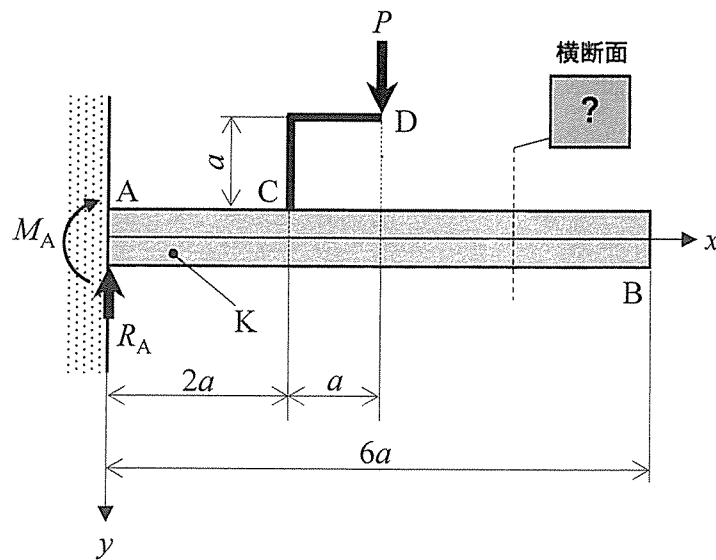


図2

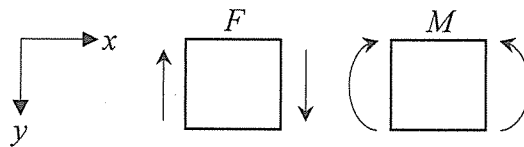


図3

- (1) 点Aを通る横断面での垂直反力の大きさ R_A とモーメント M_A を求めよ。
- (2) AB間の曲げモーメント線図 (BMD) を作図せよ。
- (3) 点Cでのたわみ角 θ_C とたわみ δ_C を求めよ。
- (4) 点Bでのたわみ δ_B を求めよ。

P 以外にも、種々の力をはりに加えた状態で、はり内部の点 K を調べたところ、平面応力状態で $\sigma_x = 60$ MPa, $\sigma_y = 20$ MPa, $\tau_{xy} = 20$ MPa となっていた。

(5) 点 K における第一主応力 σ_1 を求めよ。解答に根号が入る場合、あえて外す必要はない。

(6) 点 K における第一主応力方向を x 軸からの角度 θ_1 として、その大きさを示せ。

(7) はりの断面として、図 4 の(a)~(c)の 3 つを考えると、 z 軸に対する曲げにくさの順序を不等号により表せ。ここでは、曲げにくさを「同じ曲げモーメントが与えられた時のたわみ曲線の曲率半径の値」として定量化し、曲率半径が大きいほど曲げにくいものとして考える。最も曲率半径が大きいものを(a), 以下、曲率半径が小さくなる順に(b), (c)であるとすれば、 $(a) > (b) > (c)$ のように解答せよ。曲げにくさが同じ場合は等号を使ってよい。例えば、(a)と(b)の曲げにくさが同じで、(c)がそれらより曲げやすいとすれば、 $(a) = (b) > (c)$ と解答せよ。解答に際しては、順序の理由も示すこと。図中、断面が実在する部分を灰色で示してある。

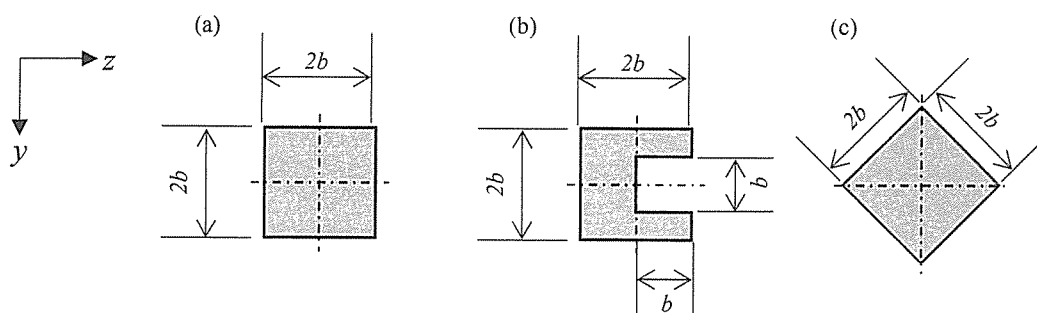


図 4

問題 10 流体力学 設問すべてについて解答すること。

解答上の注意：各設問の解答について、(1) $x = y + z$ のように、最終的な解答に番号を付して下線で明記すること。

図 1 に示すように回流式風洞で断面積 A の試験区間(断面 1 - 断面 2)を密度 ρ の空気が風速 V で流れている。送風機によって増圧された圧力差 Δp と送風機を除く風洞全区間での全損失ヘッド H および所要動力 L を推算せよ。案内板付きコーナーベンド、ディフューザ、縮流ノズル、整流スクリーンの損失係数は 1 つにつきそれぞれ、 $\zeta_c = \frac{1}{5}$, $\zeta_D = \frac{3}{5}$, $\zeta_N = \frac{1}{10}$, $\zeta_s = 6$ である。試験区間と短直線流路の損失は無視できるものとする。重力加速度は g とする。断面 3 から断面 6 までの断面積は αA , 断面 7 から断面 9 までの断面積は βA ($\beta > \alpha > 1$) として、次の設問に答えよ。

- (1) 流路断面を通過する体積流量 Q を求めよ。
- (2) 全損失ヘッド H を、数値を代入せず記号のみで表せ。
- (3) $\alpha = \sqrt{5}$, $\beta = 8$ とし、損失係数に数値を代入した場合の全損失ヘッドを示せ。
- (4) 圧力差 Δp を求めよ。
- (5) 送風機の所要動力 L を求めよ。
- (6) 整流スクリーンに一边 s の正六角形セルのハニカムを用いた。セルの等価直径 d_h を求めよ。

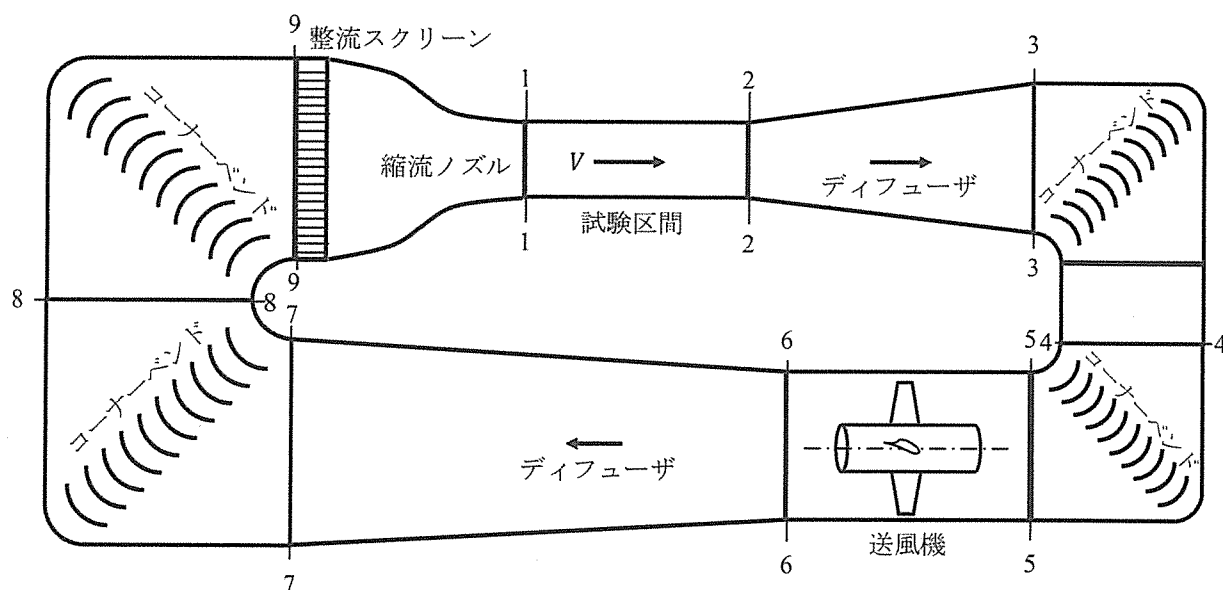


図 1

問題 1 1 熱力学 設問すべてについて解答すること。

図 1 の圧力－体積 ($p-V$) 線図に示すように、閉じた系における比熱一定の理想気体の状態変化 (準静的過程) からなるサイクルを考える。この理想気体の質量を m [kg], 気体定数を R [J/(kg·K)], 比熱比を κ とする。また, 圧力, 体積, 温度, エントロピーを, それぞれ p [Pa], V [m³], T [K], S [J/K] で表し, 添え字で状態を表す。熱 Q [J] の符号は, 熱が系に入る場合を正, 出る場合を負とする。仕事 W [J] の符号は, 系が周囲に対して仕事をする場合を正, 仕事をされる場合を負とする。

サイクル ($1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$)

- ・過程 $1 \rightarrow 2$: 可逆断熱圧縮である。ただし, 圧縮比 $\varepsilon (= V_1/V_2) > 1$ とする。
- ・過程 $2 \rightarrow 3$: 等温膨張 ($T_2 = T_3$) である。
- ・過程 $3 \rightarrow 1$: 等圧変化 ($p_3 = p_1$) である。

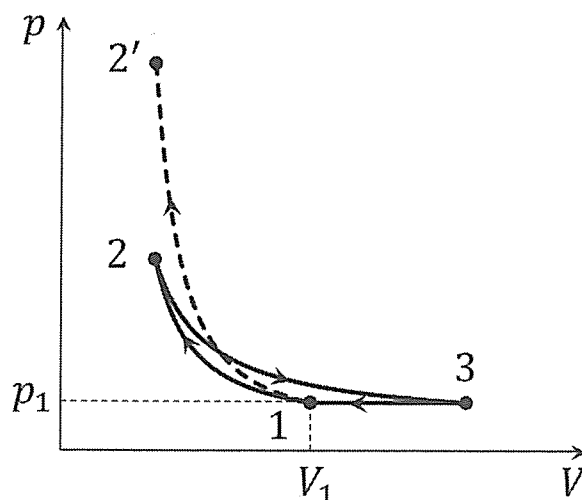


図 1 理想気体の $p-V$ 線図

次の (1) ~ (10) の問いについて答えよ。

- (1) 質量 m を求めよ。ただし, p_1, V_1, R, T_1 を用いて表せ。
- (2) 状態 2 の圧力 p_2 と温度 T_2 を求めよ。ただし, $p_1, T_1, \varepsilon, \kappa$ のうち必要なものを用いて表せ。
- (3) 過程 $1 \rightarrow 2$ における仕事 W_{12} を求めよ。ただし, $m, R, T_1, \varepsilon, \kappa$ を用いて表せ。
- (4) 過程 $2 \rightarrow 3$ における, 熱 Q_{23} とエントロピー変化 $\Delta S_{23} (= S_3 - S_2)$ を求めよ。ただし, $m, R, T_1, \varepsilon, \kappa$ のうち必要なものを用いて表せ。
- (5) 過程 $3 \rightarrow 1$ における, 仕事 W_{31} とエントロピー変化 $\Delta S_{31} (= S_1 - S_3)$ を求めよ。ただし, $m, R, T_1, \varepsilon, \kappa$ のうち必要なものを用いて表せ。
- (6) サイクルの熱効率 η を求めよ。ただし, ε と κ を用いて表せ。

サイクルの最高温度をより高くするために、過程 $1 \rightarrow 2$ をポリトロープ圧縮に置き換え、圧縮後の状態を状態 $2'$ とする。ポリトロープ指数 n は、 $n > \kappa$ を満たし一定とする。また、 $V_{2'} = V_2$ の条件を満たす。

- (7) 状態 $2'$ と状態 2 の温度の比 $T_{2'}/T_2$ を求めよ。ただし、 ε, κ, n を用いて表せ。
- (8) 過程 $1 \rightarrow 2'$ における、仕事 $W_{12'}$ 、熱 $Q_{12'}$ およびエントロピー変化 $\Delta S_{12'} (= S_{2'} - S_1)$ を求めよ。ただし、 $m, R, T_1, \varepsilon, \kappa, n$ のうち必要なものを用いて表せ。
- (9) 状態 3 と状態 $2'$ におけるエントロピーが等しくなる ($S_3 = S_{2'}$) とき、 κ と n の間に成立する関係式を求めよ。
- (10) サイクル ($1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$) と過程 $1 \rightarrow 2'$ の温度-エントロピー ($T-S$) 線図を図示せよ。ただし、 $S_3 = S_{2'}$ の関係を満たすものとする。また、各状態 ($1, 2, 3, 2'$)、それらに対応する温度 ($T_1, T_2, T_3, T_{2'}$) およびエントロピー ($S_1, S_2, S_3, S_{2'}$) も図中に示せ。

問題 12 生産加工

設問すべてについて解答すること。

I 次の(1)～(3)の問いについて答えよ。

- (1) 亜共析鋼を 920℃から炉冷した結果、フェライトとパーライトの比率が 1:1 になった。この鋼の炭素含有量は何%か。ただし、鉄-炭素系状態図のフェライト中の炭素の固溶限は 0.02%，共析組成は 0.77%である。
- (2) 金属材料の主な 4 つの強化手法それぞれの名称とその内容を説明せよ。
- (3) 延性-脆性遷移温度とは何か説明せよ。

II 降伏状態にある完全塑性体ブロックの応力状態が

$$\begin{pmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3\sigma & 0 & \tau \\ 0 & \sigma & 0 \\ \tau & 0 & -\sigma \end{pmatrix}$$

で表されるとき、下記の問いに答えよ。

- (1) 塑性ひずみ増分 $d\varepsilon_y$ はいくらか。
- (2) 最大主応力差は 5σ である。 τ は σ の何倍か。
- (3) 相当応力 $\bar{\sigma}$ を σ を用いて表せ。
- (4) このブロックの降伏は Mises の降伏条件に従う。このブロックの単軸引張の降伏応力 Y の値を σ を用いて表せ。

問題 1 3 制御工学

設問すべてについて解答すること。ただし、 t は時刻とする。

I 図 1 (a) の電気回路において、 $v_i(t)$ を入力電圧、 $v_o(t)$ を出力電圧としたとき、図 1 (b) のゲイン線図（折れ線近似）が得られた。 R_0 は $50\ \Omega$ の抵抗であり、要素 X は抵抗 $R\ [\Omega]$ 、コイル $L\ [H]$ 、コンデンサ $C\ [F]$ の何れかである。 X に当てはまる要素を答えよ。また、その値を求めよ。

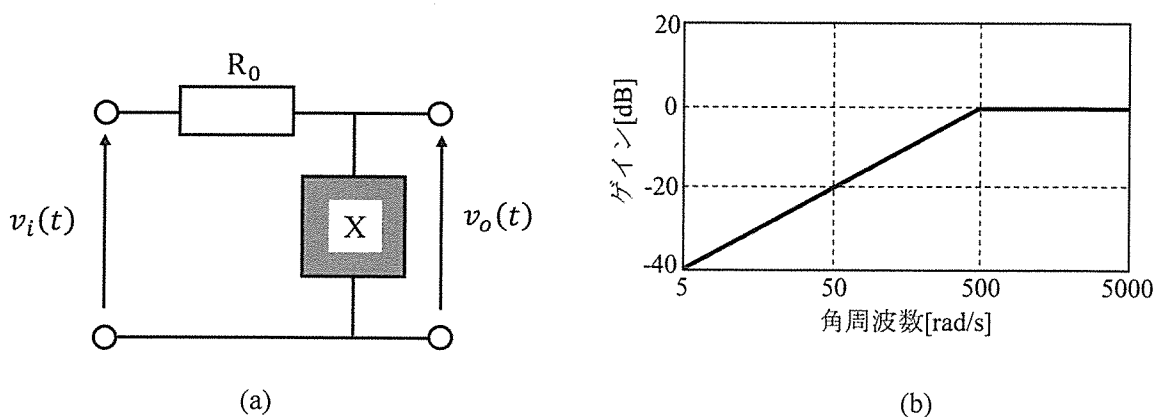


図 1

II 図 2 のフィードバック制御系について以下の問いに答えよ。ただし、 T と K は実数とし、コントローラと制御対象の初期値はすべて 0 とする。

- (1) $r(t)$ から $y(t)$ までの伝達関数 $G_{yr}(s)$ が安定であるための K の範囲を求めよ。ただし、必要ならば T を用いてよい。
- (2) $T=0$, $K=4$, $d(t)=0$ のとき、 $r(t)$ として時刻 $t=0$ に単位インパルス信号を加えたときの応答 $y(t)$, $t \geq 0$ を求めよ。ただし、 $y(t) = e^{at}(b \sin \omega t + c \cos \omega t)$ として a , b , c , ω を答えよ。
- (3) $T=0$, $K=4$, $r(t)=0$ のとき、 $d(t)$ として単位ランプ信号を加えたときの定常偏差を求めよ。

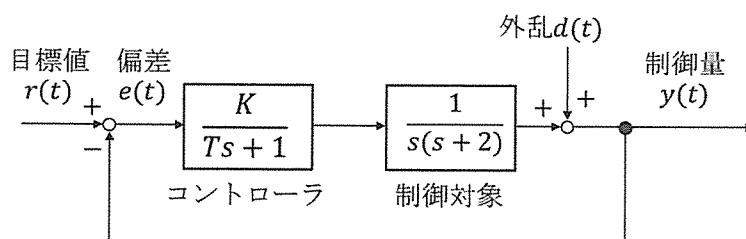


図 2

Ⅲ 次の伝達関数 $G(s)$ において、 α は正の実数とする。

$$G(s) = \frac{s^2 + \alpha}{s^2 + 3s + 2}$$

$G(s)$ に入力 $u(t) = 2 \sin 3t$ を加えたとき、出力 $y(t)$ が $\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = 0$ を満たす α の値を求めよ。

Ⅳ 次の伝達関数 $H(s)$ において、 β は正の実数とする。

$$H(s) = \frac{\beta}{s^2 + s + 4}$$

この周波数応答の位相が -90° となる角周波数において、ゲインが 20 dB となる β の値を求めよ。