

2025年度機械工学専攻
大学院修士課程入学試験問題

「機械工学」

試験日時：2024年8月27日（火） 13:00～15:30

注意事項

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開かないこと。
2. 問題は問題1から問題5までである。全問に解答すること。
3. 問題の落丁、乱丁、あるいは印刷不鮮明な箇所があれば申し出ること。
4. 答案用紙は5枚配付される。枚数を確認し、過不足があれば申し出ること。
5. 問題ごとに1枚の答案用紙を用いて解答すること。解答を表面で書ききれない時は、裏面にわたってもよい。なお、それでも解答するスペースが不足する場合は答案用紙を与えるので申し出ること。
6. 答案用紙の指定された箇所に、自分の受験番号、その答案用紙で解答する問題番号を記入すること。記入もれの場合は採点されないことがある。なお、科目名欄には「機械工学」と記入すること。答案用紙の右端にある「 / of 」については、答案用紙を追加しない場合は空欄のままよい。但し答案用紙を追加した場合は、問題ごとの枚数を記載する。
7. 解答に関係のない記号や符号を記入した答案は無効となることがある。
8. 答案用紙は、解答ができなかった分も含め、全てを提出すること。
9. 下書き用紙は5枚配付される。左上に自分の受験番号を記入すること。
10. 下書き用紙は、使用しなかった分も含め、5枚全部を提出すること。
11. 問題冊子は持ち帰ってよい。

(白紙)

問題 1

下記の I, II の両方について解答せよ.

I. 図 1-1 に示すような膨張弁以外では損失がない理想的な蒸気圧縮式冷凍サイクルについて考える. 図中のサイクル内の各位置 a , b , c , d の作動流体の熱力学的状態はそれぞれ一定であり, 凝縮器および蒸発器の出口は飽和状態である. また, 蒸発器の入口は湿り蒸気, 凝縮器の入口は過熱蒸気である. 簡単のため, 過熱蒸気は理想気体と近似し, ガス定数 R , 定圧比熱 c_p とする. 作動流体の比エントロピーは s , 比エンタルピーは h , 圧力は p , 温度は T とする.

- (1) このサイクルの $p-h$ 線図と $T-s$ 線図を, 作動流体の飽和液線, 飽和蒸気線とともに描き, 位置 a , b , c , d に対応する作動流体の状態を線図上に記せ.
- (2) 凝縮器内の過熱蒸気の温度 T を, 比エントロピー s を変数とする関数で示せ. なお, 導出過程を含めて示すこと. ただし, サイクル内の各位置 a , b , c , d の作動流体の温度 T と比エントロピー s は, a , b , c , d を添え字として, T_a や s_b のように記述すること.

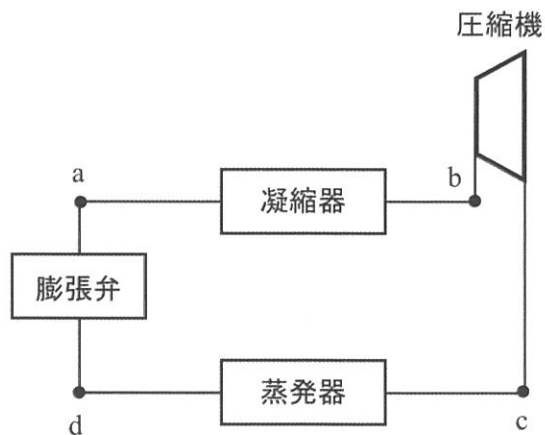


図 1-1

II. 十分大きい水槽内に置かれた十分長い一本の冷却円管を用いて、水槽内の水を冷却する。冷却円管の外径は $2r_1$ である。図 1-2 に示すように、この冷却円管の中心軸を z 軸とし、 r は半径方向の位置である。冷却円管の外表面($r = r_1$)における熱流束は、任意の位置 z 、時刻 t において半径方向内向きで、その大きさは一定値 q_w である。時刻 $t = 0$ における水槽内の水の温度は均一で、冷却円管外表面の温度と等しかった。水槽内の水の流れと輻射、相変化は無視できるとする。水の密度 ρ 、比熱 C 、熱伝導率 λ は一定である。

(1) 図 1-3 は、冷却円管を z 軸方向から見た図である。図 1-3 において微小厚さ dr 、軸方向単位長さの検査体積を考えたとき、検査体積に流入する熱量 $Q(r)$ を、熱伝導率 λ と水の温度 T を含む式で記述せよ。

(2) 図 1-3 の検査体積における熱収支は、 $Q(r)$ を用いて式(1.1)のように書ける。設問(1)で得られた $Q(r)$ の式を、式(1.1)に代入して、 $T(t, r)$ に関する非定常熱伝導方程式を導け。

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} \cdot 2\pi r \cdot dr = Q(r) - Q(r + dr) \quad (1.1)$$

(3) 各時刻において水の温度分布は定常状態と近似できるとする。ある時刻 $t = t_0$ で $r = r_2 (> r_1)$ における水の温度が T_2 であったとき、この時刻における $r_1 < r < r_2$ の水の温度分布 T を、 r の関数として示せ。

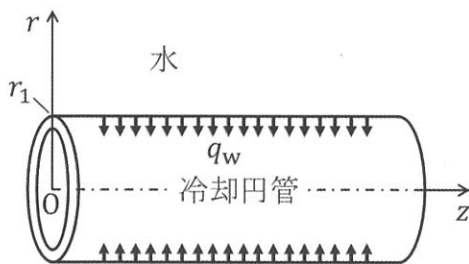


図 1-2

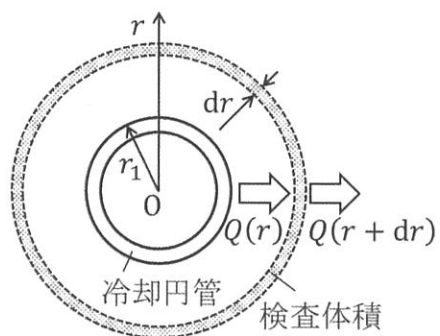


図 1-3

問題 2

図 2 のように，円管内部を流れる液体を考える．液体の物性値は一定であり，密度と粘度はそれぞれ ρ と μ である．円管の上下端は開口しており，液体は重力で円管の下端から流出する．液体高さ L は円管の内径 D よりも十分に長い ($L \gg D$)．円筒座標系の原点を円管上端の中心にとり，半径方向に r 軸，周方向に θ 軸，円管の中心軸方向下向きに z 軸を定義する．各方向に対応する速度成分を u_r, u_θ, u_z とする．重力は z 軸方向のみに作用し，重力加速度を g とする．流れは軸対称であり，旋回しない．壁面において，滑りなし境界条件を満たす．流れは層流で十分に発達している．液面における圧力は大気圧 p_0 に等しい．周囲気体が液体の流れに及ぼす影響は無視できる．また，下端出口付近と液面付近における二次流れ，および表面張力の影響は無視できる．以下の設問に答えよ．

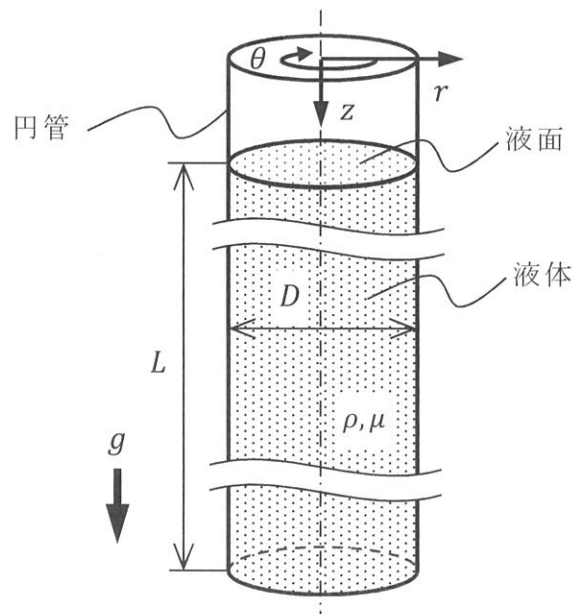


図 2

- (1) 一般に、定常状態における連続の式と z 方向の運動方程式は、円筒座標系では、以下のように与えられる。ここで、 p は圧力である。図2に示した系において、必要な項のみを用いて u_z を記述する微分方程式を示せ。

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (ru_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0,$$

$$\begin{aligned} \rho \left(u_r \frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial u_z}{\partial \theta} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) \\ = - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r\tau_{rz}) + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial \theta} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + \rho g \end{aligned}$$

ここで、せん断応力 τ は次のように定義される。

$$\tau_{zz} = \mu \left[2 \frac{\partial u_z}{\partial z} \right], \quad \tau_{\theta z} = \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial u_z}{\partial \theta} + \frac{\partial u_\theta}{\partial z} \right], \quad \tau_{rz} = \mu \left[\frac{\partial u_r}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial r} \right]$$

- (2) 円管内部における速度分布を求めよ。ただし、境界条件と導出過程を示せ。
- (3) 時間 Δt の間に円管から流出する液体の体積 V を求めよ。
- (4) $\Delta t = 250 \text{ s}$, $V = 1.57 \times 10^{-6} \text{ m}^3$, $D = 4.0 \times 10^{-4} \text{ m}$, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ のとき、液体の動粘性係数の値をその単位とともに答えよ。計算では、 $\pi = 3.14$, $g = 10 \text{ m/s}^2$ を用いよ。
- (5) 円管を断面が正方形の管に取り替えた。この正方形管の内面の辺の長さは、円管の内径 D と同じである。正方形管では、円管の場合と比べて同じ体積の液体が流出するときの時間は何倍になるか求めよ。ただし、正方形管の摩擦係数は $C_f \equiv 2\tau_w/(\rho U^2) = 14.2/Re$ とする。ここで、 τ_w は壁面せん断応力、 U は断面平均流速、 Re はレイノルズ数である。

問題 3

図3に示すような原点Oにおいて剛体壁面に固定された直径 D 、長さ L ($\gg D$)の真直な丸棒を考える。丸棒の先端 ($x = L$) には集中荷重 P およびねじりモーメント T が作用している。丸棒表面上の点A ($x = L/2, y = 0, z = D/2$) には、3枚のひずみゲージa, b, cが貼られている。丸棒の縦弾性係数を E 、横弾性係数を G 、ポアソン比を ν とする。ただし、丸棒の断面二次モーメントは $I = \frac{\pi D^4}{64}$ 、断面二次極モーメントは $I_p = \frac{\pi D^4}{32}$ である。自重による変形は考慮しなくてよい。以下の設問に答えよ。

- (1) 点Aにおける垂直応力 σ_x およびせん断応力 τ_{xy} を P, T, L, D を用いて示せ。
- (2) 点B ($x = L/2, y = 0, z = 0$) における z 方向の変位を P, L, E, D を用いて示せ。
- (3) 集中荷重 $P = 31.4 \text{ N}$ 、ねじりモーメント $T = 15.7 \text{ N}\cdot\text{m}$ のとき、点A上のひずみゲージa, b, cによって測定される各ひずみ $\varepsilon_a, \varepsilon_b, \varepsilon_c$ の値を求めよ。有効数字は3桁とする。ただし、丸棒の直径 $D = 20.0 \text{ mm}$ 、長さ $L = 1040 \text{ mm}$ 、縦弾性係数 $E = 208 \text{ GPa}$ 、横弾性係数 $G = 80.0 \text{ GPa}$ 、ポアソン比 $\nu = 0.300$ とする。

次に設問(3)で用いた材料を変更することによって軽量化することを考える。変更後の材料の縦弾性係数は $E = 52.0 \text{ GPa}$ 、横弾性係数は $G = 20.0 \text{ GPa}$ 、ポアソン比は $\nu = 0.300$ 、質量密度は変更前の材料の $1/3$ である。点Bにおける z 方向の変位が、材料の変更前と同じになるように丸棒の直径を大きくする。このときの直径を D_1 とする。以下の設問に答えよ。

- (4) D_1 は変更前の直径に比べて何倍になるかを示せ。また材料と直径を変更した後の丸棒の重量は、変更前の重量に比べて何倍になるかを示せ。
- (5) 材料と直径を変更した後の点Aにおける σ_x は、変更前に比べて何倍になるかを示せ。また同様に、変更後の点Aにおける τ_{xy} は変更前に比べて何倍になるかを示せ。

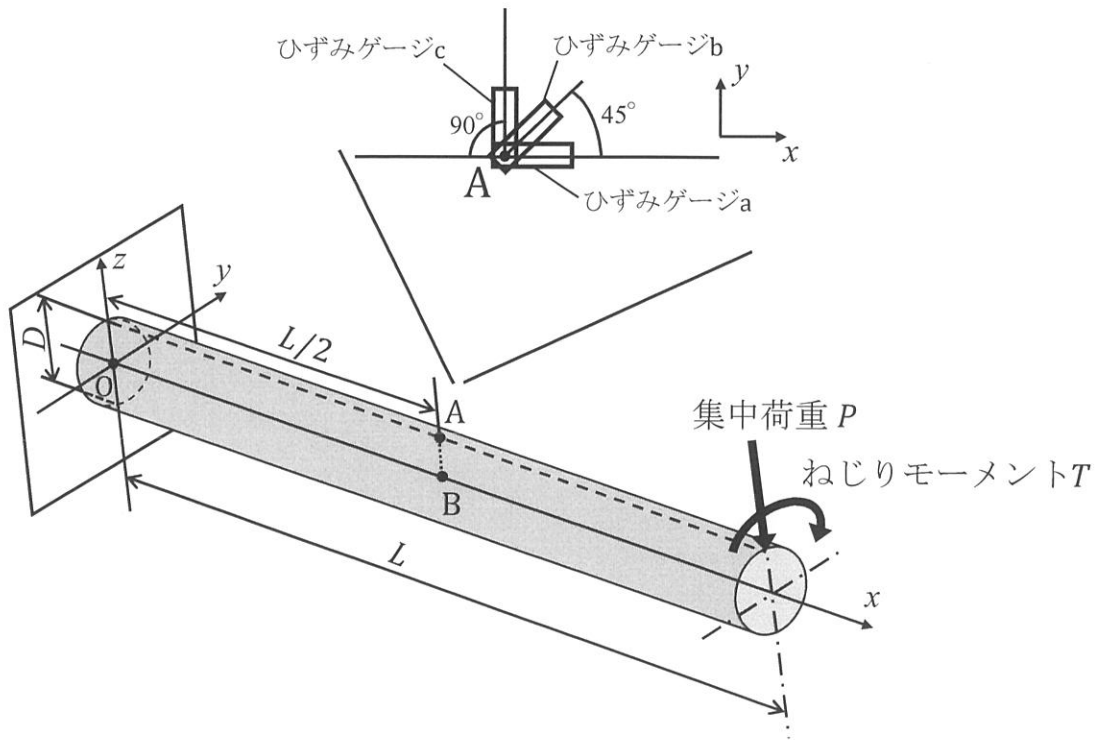


図 3

問題 4

図4に示すように、ばね定数 k のばねと、減衰係数 c の粘性減衰器で結合された台車1と台車2から構成される系がある。それぞれの台車の質量を m_1 と m_2 、時刻 t における初期位置からの変位を $x_1(t)$ と $x_2(t)$ とする。台車1には外力 $f(t)$ が作用しており、台車2は力 $u(t)$ で制御されている。初期状態は静止しているものとする。台車の車輪の質量、空気抵抗および床からの摩擦抵抗は無視できるものとする。それぞれの台車の水平方向の運動のみを考えるものとする。以下の設問に答えよ。

- (1) 相対変位を $x(t) = x_1(t) - x_2(t)$ とする。 $x(t)$ を変数として、この系の運動方程式を求めよ。

以降の設問では粘性減衰器を取り外す。また、 $f(t)$ を単位インパルス入力を与える。入力 $x_T(t)$ は相対変位の目標値であり、 $x(t)$ を出力とするフィードバック制御系を考える。 $f(t)$ 、 $u(t)$ 、 $x(t)$ 、 $x_T(t)$ をラプラス変換したものをそれぞれ $F(s)$ 、 $U(s)$ 、 $X(s)$ 、 $X_T(s)$ とする。 τ 、 k_d 、 k_p をそれぞれ正の定数とし、 $U(s)$ を以下の式で与える。

$$U(s) = -\frac{k_d s[X_T(s) - X(s)] + k_p[X_T(s) - X(s)]}{1 + \tau s}$$

- (2) フィードバック制御系が安定となるための条件を導け。
- (3) $x_T(t)$ を単位ステップ入力で与える。 $\lim_{t \rightarrow \infty} x(t)$ を求めよ。なお、このフィードバック制御系は安定とする。

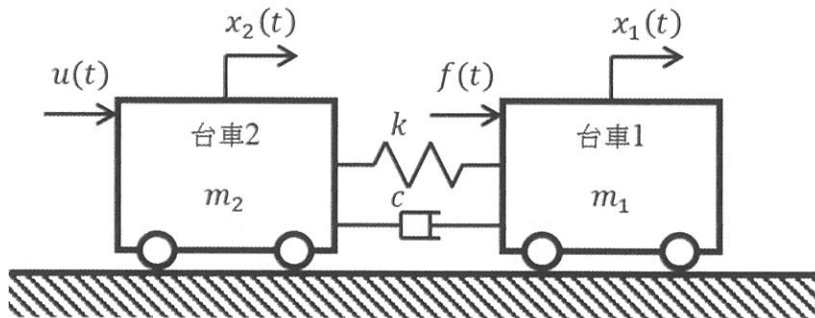


図4

問題 5

歯車に関する以下の設問(1)～(4)に答えよ。

(1) 下記の説明文の空欄に入る適切な語句または数式を答えよ。

動力伝達要素の一つである歯車は、入力される速度やトルクを所望の出力に変換するために使用される。2個の歯車がかみ合うためには、歯車の①が一致する必要がある。①は、歯車のピッチ円直径 d および歯数 z を用いて $m =$ ② で表される。また実際の歯車箱は、様々な誤差因子を有するため、歯車を幾何学的に正確に設計しても滑らかに回転するとは限らない。歯車の滑らかな回転を確保するためには、かみ合う歯と歯の間に適切なすきまである③を設ける必要がある。

炭素鋼の歯車の製造では、まず切削や転造を用いて歯形の粗加工を行う。次に、表面を硬くするため適切な温度で加熱して金属組織をオーステナイト相とし、その後急冷することで④相へと変態させる。焼入れ後の歯車は硬いため、⑤加工により歯形状を仕上げる。

(2) 歯車の歯形にはインボリュート曲線が広く用いられる。インボリュート曲線を採用する技術的な利点を二つ、それぞれ 30 字程度で述べよ。

図 5 に示す歯車箱を考える。歯車箱は 4 個の歯車と、入力軸、中間軸、出力軸の 3 本の軸を有している。全ての軸は同じタイプの転がり軸受により支持されている。また入力トルクを T_i 、出力トルクを T_o 、歯車 1、歯車 2、歯車 3、歯車 4 の外径およびピッチ円直径をそれぞれ D_1, D_2, D_3, D_4 および d_1, d_2, d_3, d_4 、図 5 に示す歯車軸間の距離をそれぞれ p_1 および p_2 とする。

(3) 出力軸における振動や騒音を低減するため、全ての歯車をはすば歯車とする。はすば歯車が固定された軸を支持する図 5 中の軸受として、最も適切なものを下記から選択せよ。さらに、その理由を 50 字程度で述べよ。

- A) 円筒ころ軸受 B) 自動調心玉軸受 C) アンギュラ玉軸受

(4) 出力トルク T_0 を求めよ。ただし、回転に伴うエネルギー損失は無視できるとする。

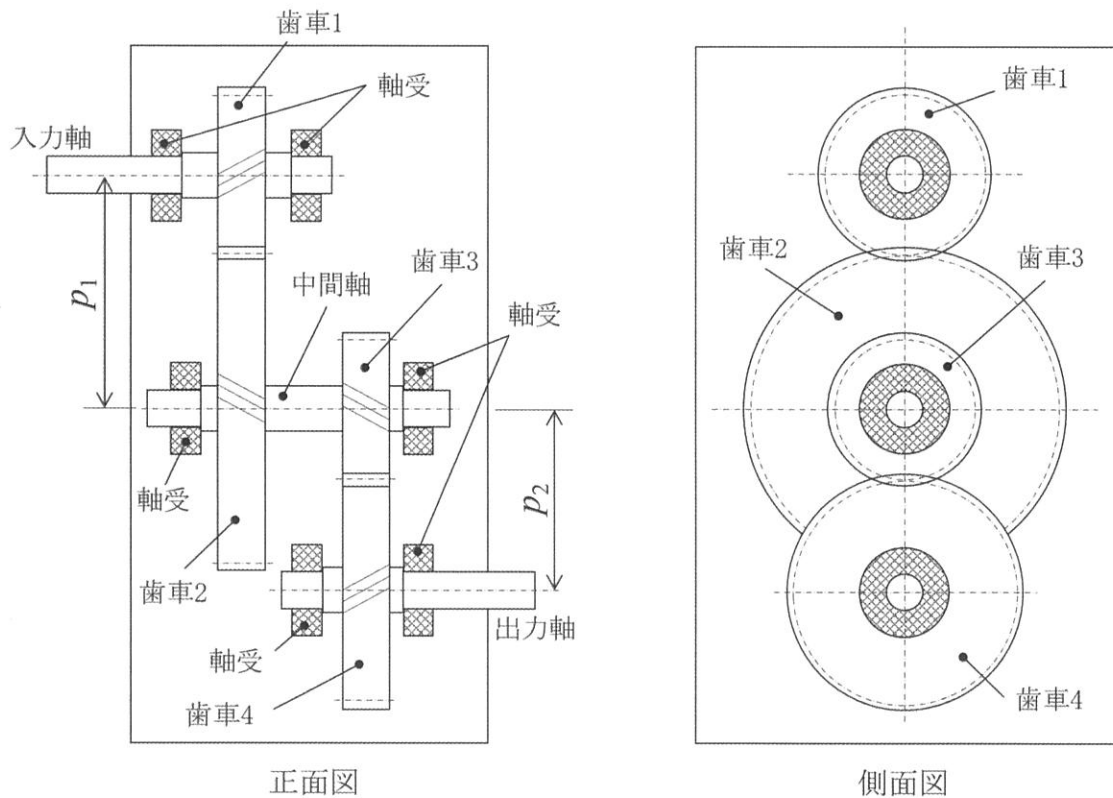


図 5

(白紙)

FY2025 Department of Mechanical Engineering

Master Course Program Entrance Examination

“Mechanical Engineering”

2024/8/27 (Tuesday) 13:00~15:30

Instructions

1. Do not open the exam booklet until you are instructed to begin.
2. Answer all Questions in Problems 1, 2, 3, 4 and 5.
3. If you find some incomplete printing or collating, report them to the proctor.
4. Make sure that you have all five answer sheets. Let the proctor know otherwise.
5. Use one answer sheets for each Problem. If the space on the front side of the answer sheet is not enough, you may also use the backside. If the space is still not enough, ask the proctor for an additional answer sheet.
6. On each answer sheet, write your examinee number (candidate number) and the Problem number in the designated boxes. If you fail to do so, the answer sheet may not be graded. Write “Mechanical Engineering” in “Subject”. Leave “(/of)” blank unless you use an additional answer sheet for the Problem.
7. Answer sheets with symbols or signs that are not related to the answers may be judged invalid.
8. Hand in all the answer sheets even if you have not used them.
9. You are provided with five worksheets. Write your examinee number (candidate number) on the upper left corner of each worksheet.
10. Hand in all the worksheets even if you have not used them.
11. You may take home the exam booklet.

(Blank)

Problem 1

Answer the two following Questions I and II.

I. Consider an ideal vapor-compression refrigeration cycle without loss except at the expansion valve, as shown in Figure 1-1. Each thermodynamic state at the positions a, b, c and d in Figure 1-1 is constant. The working fluid is saturated at the outlets of the condenser and the evaporator. The working fluid is wet vapor at the inlet of the evaporator and is superheated vapor at the inlet of the condenser. For simplicity, superheated vapor is assumed to be an ideal gas with the gas constant R and the isobaric specific heat c_p . The specific entropy, specific enthalpy, pressure and temperature of the working fluid are s , h , p and T , respectively.

- (1) Draw the $p - h$ diagram and the $T - s$ diagram of this cycle together with saturated liquid and vapor lines of the working fluid, and indicate the points in both diagrams that correspond to each thermodynamic state at a, b, c and d.
- (2) Express the temperature T of the superheated vapor in the condenser as a function of specific entropy s . Show the derivation process too. Here, use a, b, c or d as a subscript to describe specific entropy s and temperature T at each position of a, b, c or d, such as T_a and s_b .

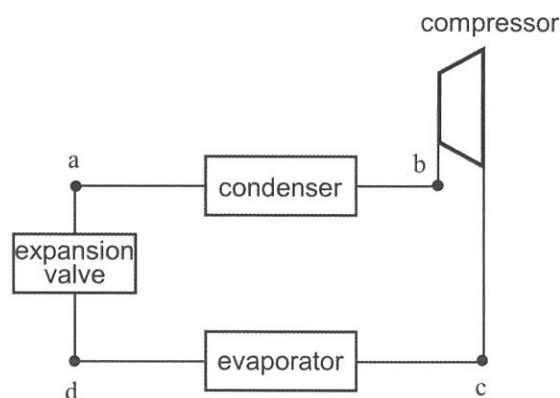


Figure 1-1

II. Consider the cooling of water stored in a very large tank using a very long single cooling pipe in the tank. The cooling pipe possesses a circular cross-section with the outer diameter $2r_1$. As shown in Figure 1-2, the cooling pipe has its center axis along the z -axis and the radial position is denoted by r . At any given position z and time t , the heat flux on the outer surface of the cooling pipe ($r = r_1$) has the inward radial direction and a constant magnitude of value q_w . At the time $t = 0$, the temperature of the water inside the tank was uniform and equal to that of the outer surface of the cooling pipe. Assume that water flow, radiative heat transfer and phase change in the tank are negligible. The density ρ , the specific heat C and the thermal conductivity λ of water are constant.

- (1) Figure 1-3 is a view of the cooling pipe from the z -axis direction. Consider the control volume having the infinitesimal thickness dr and the unit length along the center axis as shown in Figure 1-3. Express the heat transferring into the control volume $Q(r)$, including the thermal conductivity λ and the temperature T of the water.
- (2) The heat balance of the control volume can be expressed as Equation (1.1) using $Q(r)$. Obtain the unsteady heat conduction equation for $T(t, r)$, by substituting $Q(r)$ in Equation (1.1) with the expression obtained in Question (1).

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} \cdot 2\pi r \cdot dr = Q(r) - Q(r + dr) \quad (1.1)$$

- (3) At each moment, the temperature distribution in the water can be assumed to be in a steady state. At a certain time $t = t_0$, the temperature of the water at $r = r_2 (> r_1)$ was T_2 . At this moment t_0 , obtain the temperature distribution of the water T as a function of r in the range $r_1 < r < r_2$.

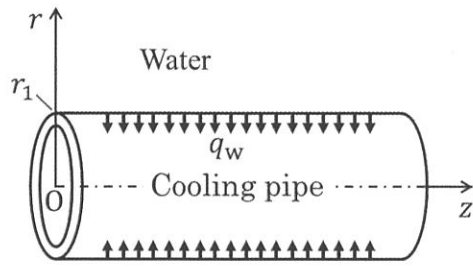


Figure 1-2

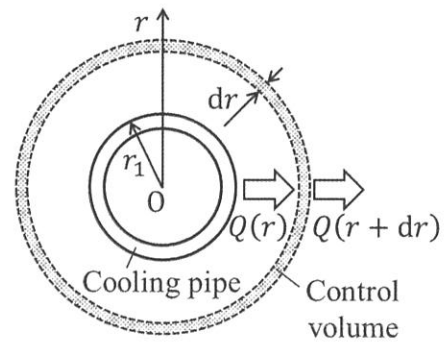


Figure 1-3

Problem 2

Consider a liquid flowing inside a circular pipe, as shown in Figure 2. The physical properties of the liquid are constant, whose density and viscosity are ρ and μ , respectively. The top and bottom of the pipe are open, and the liquid flows out from the bottom of the pipe under the action of gravity. The liquid height L is much larger than the pipe inner diameter D ($L \gg D$). The cylindrical coordinate system (r, θ, z) used in the following is defined as shown in Figure 2. The origin of the coordinate system is set at the top center of the pipe and the z -axis points downward and corresponds to the central axis of the circular pipe. The corresponding velocity components are denoted by u_r , u_θ and u_z . The gravity acts only in the z direction, and the magnitude of the gravitational acceleration is g . The flow is axisymmetric and free of swirl. The no-slip boundary condition applies at the pipe wall. The flow is laminar and fully developed. The pressure at the liquid surface is the same as the atmospheric pressure p_0 . The effect of the surrounding gas on the liquid flow is negligible. The effects of secondary flows at the bottom and liquid surface and the surface tension are negligible. Answer the following questions.

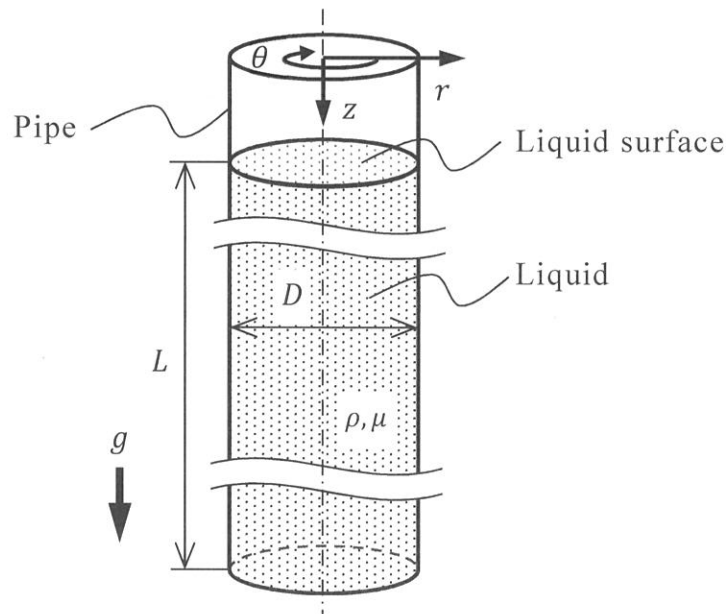


Figure 2

- (1) In general, in a cylindrical coordinate system, the continuity equation and the momentum conservation equation in the z -direction at steady state are given by the following equations:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (ru_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0,$$

$$\begin{aligned} \rho \left(u_r \frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial u_z}{\partial \theta} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) \\ = - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r\tau_{rz}) + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial \theta} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + \rho g, \end{aligned}$$

where p is pressure, and τ is the shear stress given by

$$\tau_{zz} = \mu \left[2 \frac{\partial u_z}{\partial z} \right], \quad \tau_{\theta z} = \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial u_z}{\partial \theta} + \frac{\partial u_\theta}{\partial z} \right], \quad \tau_{rz} = \mu \left[\frac{\partial u_r}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial r} \right].$$

In the system shown in Figure 2, express the differential equation for u_z using only necessary terms.

- (2) Express the velocity distribution inside the pipe. In your answers, write the boundary conditions and show the derivation that leads to your answer.
- (3) Express the volume of the liquid V which flows out from the pipe during the time interval Δt .
- (4) When $\Delta t = 250$ s, $V = 1.57 \times 10^{-6}$ m³, $D = 4.0 \times 10^{-4}$ m and $\rho = 1000$ kg/m³, give the value of the kinematic viscosity of the liquid with its unit. In the calculations, use $\pi = 3.14$ and $g = 10$ m/s².
- (5) The circular pipe is now modified to a square duct having each inner side length of D which is the same as the inner diameter of the circular pipe. Under the condition that the same volume of liquid flows out for both the circular pipe and square duct, obtain the ratio of the time interval required for the square duct to the time interval required for the circular pipe. The friction coefficient of the square duct is given as $C_f \equiv 2\tau_w/(\rho U^2) = 14.2/Re$, where τ_w is the wall shear stress, U

is the cross-sectional average velocity, and Re is the Reynolds number.

Problem 3

A straight circular bar of a diameter D and a length L ($\gg D$) is fixed to a rigid wall at the origin O , as shown in Figure 3. A concentrated load P and a torsion moment T are applied at the end of the bar ($x = L$). Three strain gauges a , b and c are mounted at the point A ($x = L/2$, $y = 0$, $z = D/2$) on the surface of the bar. The Young's modulus, the shear modulus and the Poisson's ratio are E , G and ν , respectively. Here, the moment of inertia of area is $I = \frac{\pi D^4}{64}$ and the polar moment of inertia of area is $I_p = \frac{\pi D^4}{32}$. Assume that the deformation due to gravitational force can be neglected. Answer the following questions.

- (1) Express the normal stress σ_x and the shear stress τ_{xy} at the point A in terms of P , T , L and D .
- (2) Express the displacement of z -direction at the point B ($x = L/2$, $y = 0$, $z = 0$) in terms of P , L , E and D .
- (3) In the case of $P = 31.4$ N and $T = 15.7$ N·m, obtain the strain values ε_a , ε_b and ε_c with three significant digit measured by the strain gauges a , b and c mounted at the point A , respectively. Here, use the diameter of $D = 20.0$ mm, the length of $L = 1040$ mm, the Young's modulus of $E = 208$ GPa, the shear modulus of $G = 80.0$ GPa and the Poisson's ratio of $\nu = 0.300$ of the bar.

Next, consider weight reduction of the bar by changing the material used in Question (3). The material properties after the change are the Young's modulus of $E = 52.0$ GPa, the shear modulus of $G = 20.0$ GPa and the Poisson's ratio of $\nu = 0.300$. The mass density after the change of the material is $1/3$ of that before the change. In addition, the diameter is increased so that the displacement of z -direction at the point B is the same as that of the material before the change. In this case, let D_1 be the diameter after the increase. Answer the following questions.

- (4) Obtain the ratio of D_1 to the diameter before the change of material. In addition, obtain the ratio of the weight of the bar after

the changes of material and diameter to the weight before the changes.

- (5) For the point A, obtain the ratio of σ_x after the changes of material and diameter to σ_x before the changes. In the same way, obtain the ratio of τ_{xy} at the point A after the changes to τ_{xy} before the changes.

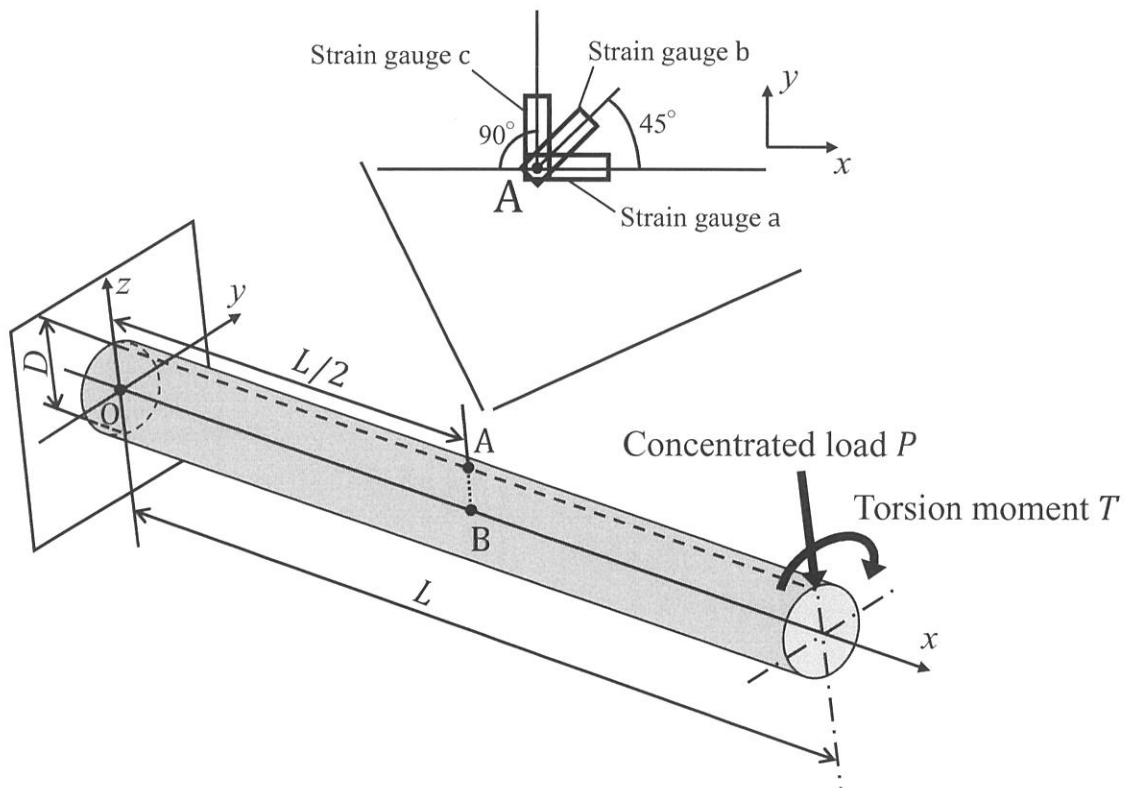


Figure 3

Problem 4

Consider the system consisting of Vehicle 1 and Vehicle 2 that are connected by a spring, having a spring constant k , and a viscous damper, having a damping coefficient c , as shown in Figure 4. The mass of Vehicle 1 and Vehicle 2 are m_1 and m_2 , respectively. The displacements from the initial positions of Vehicle 1 and Vehicle 2 are $x_1(t)$ and $x_2(t)$, respectively, where t is time. The external force $f(t)$ is applied on the Vehicle 1, while Vehicle 2 is controlled by the force $u(t)$. The initial state of the system is stationary. The mass of the wheels of the vehicles, the air resistance, and the friction from the horizontal floor are negligible. Only horizontal motion of the vehicles is considered. Answer the following questions.

- (1) Defining the relative displacement between the vehicles $x(t) = x_1(t) - x_2(t)$, obtain the equation of motion of the system using $x(t)$ as a variable.

In the following questions, the viscous damper is removed and $f(t)$ is the unit impulse. Consider the feedback control system where the input $x_T(t)$ is the target value of the relative displacement, and the output is $x(t)$. $F(s)$, $U(s)$, $X(s)$, and $X_T(s)$ are the Laplace transforms of $f(t)$, $u(t)$, $x(t)$, and $x_T(t)$, respectively. $U(s)$ is given by

$$U(s) = -\frac{k_d s[X_T(s) - X(s)] + k_p[X_T(s) - X(s)]}{1 + \tau s},$$

where τ , k_d , and k_p are positive constants.

- (2) Derive the condition stabilizing the feedback control system.
- (3) Here, the feedback control system is stable. When the input $x_T(t)$ is the unit step, obtain $\lim_{t \rightarrow \infty} x(t)$.

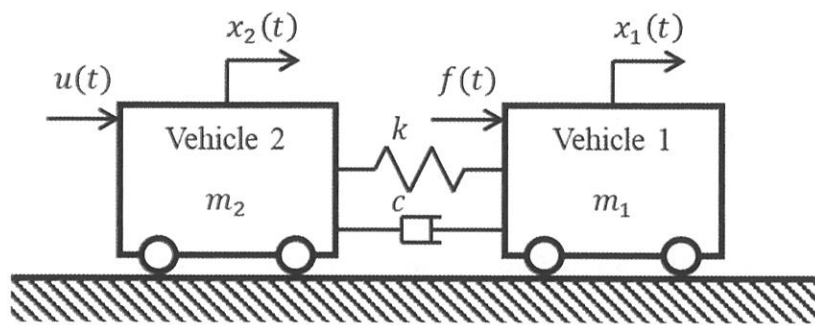


Figure 4

Problem 5

Answer the following questions from (1) to (4) about gears.

- (1) In the following description, fill the blanks with the appropriate word or equation.

A gear is one of the power transmission elements and used to convert input speed and torque into the desired output. To engage a couple of gears, their should be equal. The is expressed as $m = \frac{d}{z}$, where d is the pitch circle diameter and z is the number of teeth. Since actual gear boxes have various error factors, the gears do not always smoothly rotate even if the gear geometry is ideally designed. To guarantee smooth rotation of gears, it is required to have an appropriate clearance called between the engaging teeth.

In the production process of carbon steel gears, tooth profiles are roughly generated by the cutting or the form rolling process. To harden the tooth surfaces, metallographic structure is transformed to the austenite phase by heating at an appropriate temperature and then transformed to the phase by cooling rapidly. Since the quenched gear is hard, the tooth profiles are finished using the process.

- (2) An involute curve is widely used for the tooth profile of gears. Describe two technical merits for adopting the involute curve using around 20 words for each merit.

Consider the gear box shown in Figure 5. The gear box has four gears and three shafts, which are the input shaft, the intermediate shaft, and the output shaft. All the shafts are supported with rolling bearings of the same type. The input torque is noted T_i , the output torque is T_o , and the outer diameters of the Gear1, Gear2, Gear3, and Gear4 are $D_1, D_2, D_3,$ and D_4 , respectively. The pitch circle diameters of the Gear1, Gear2, Gear3, and Gear4 are $d_1, d_2, d_3,$ and d_4 , respectively. In addition, p_1 and p_2 are the distances between the shafts, as shown in Figure 5.

(3) In order to decrease vibration and noise of the output shaft, helical gears are used for all gears. For the bearings that support the shafts fixed with the helical gears in Figure 5, select the most suitable type of bearings from the following list and justify your choice using around 30 words.

A) Cylindrical roller bearing B) Self-aligning ball bearing

C) Angular contact ball bearing

(4) Assuming that energy loss during rotation is negligible, obtain the output torque T_o .

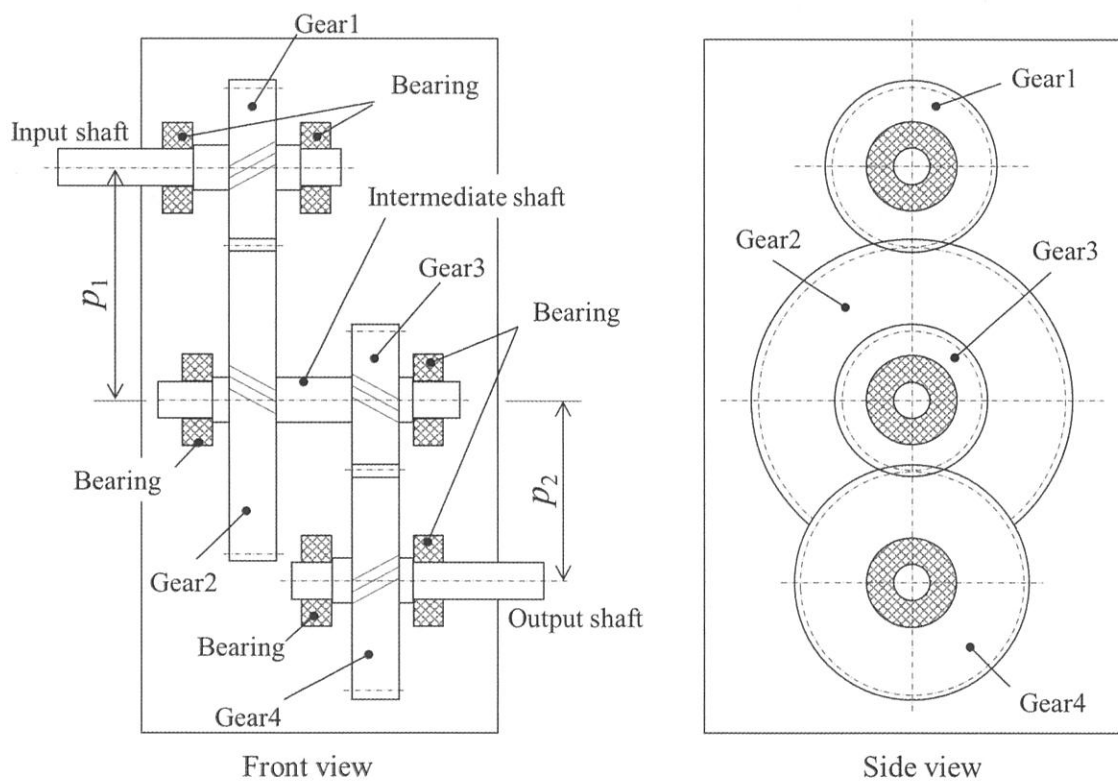


Figure 5

(Blank)

問題訂正

問題 2

設問 (5) 一行目～二行目

訂正前 「…この正方形管の内面の辺の長さは, …」

訂正後 「…この正方形管の内面の各辺の長さは, …」

No correction for English Problem.