

# 2022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」(第2部)

試験日時：2021年8月31日(火) 13:00～16:00

#### 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3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6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2枚の答案用紙を用いて解答すること。設問Ⅰ、Ⅱに分かれている問題は、設問ごとに1枚の答案用紙を用いて解答すること。設問Ⅲまでである場合は、問題冒頭の指示に従うこと。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(第2部)」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でもよい。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3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、3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。なお, I の解答に答案用紙 1 枚を, II の解答に答案用紙 1 枚を, それぞれ用いること。

I. 図 1-1 に示すように, 長さ  $4l$  の単純支持はり AB の上に, 長さ  $2l$  の単純支持はり CE が置かれている。単純支持はり CE の中点 D に集中荷重  $P$  が作用している。単純支持はり AB および単純支持はり CE の曲げ剛性を  $EI$  とする。以下の設問に答えよ。

(1) 単純支持はり CE のせん断力図および曲げモーメント図を描け。

(2) 単純支持はり AB のせん断力図および曲げモーメント図を描け。

(3) 点 D での鉛直方向変位を求めよ。

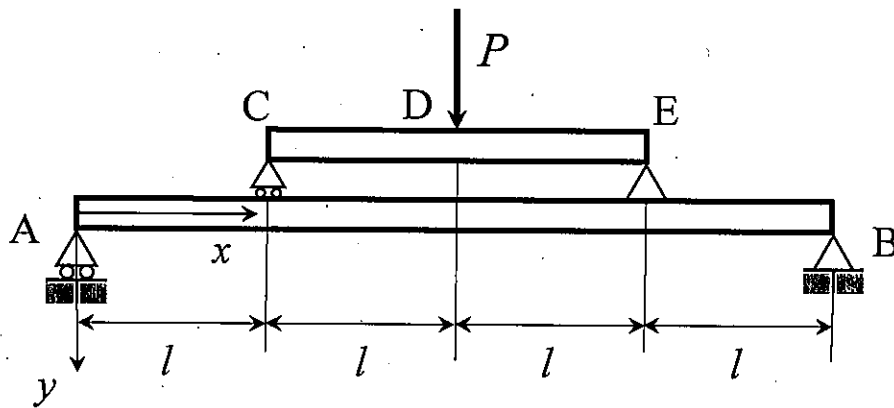


図 1-1

- II. 図 1-2 のような、内半径  $r$ 、肉厚  $t (\ll r)$  の両端が閉じた薄肉円筒容器を考える。内圧は  $P$  とする。材料は降伏応力  $\sigma_f$  の弾完全塑性体とみなせるものとする。

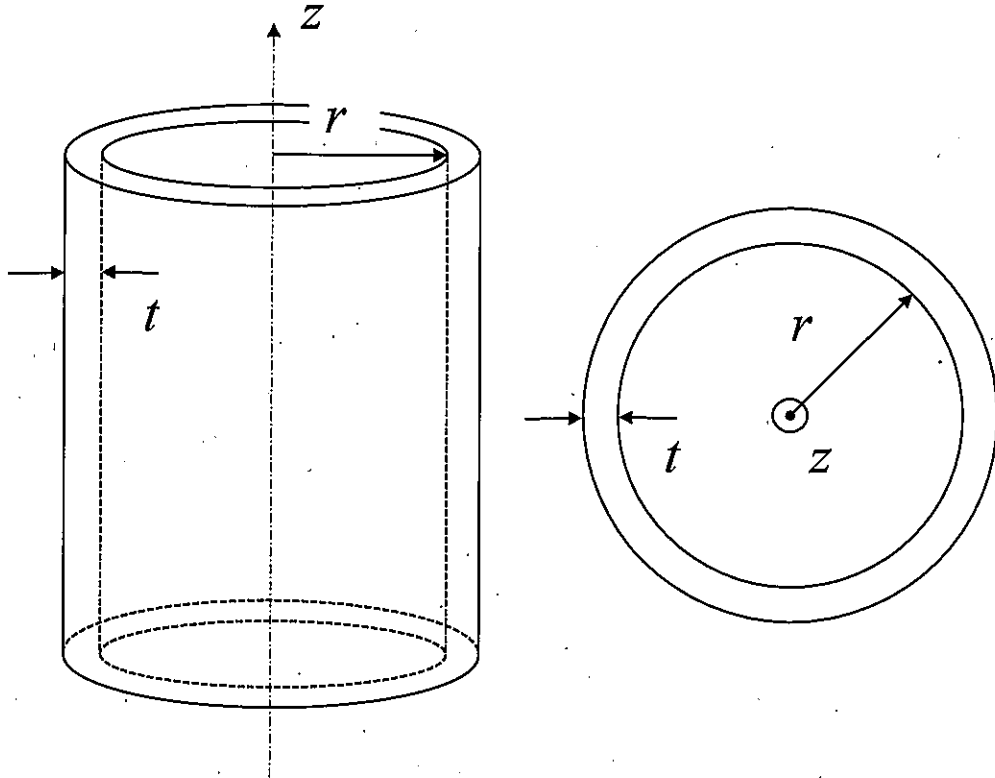


図 1-2

- (1) 軸方向応力  $\sigma_z$  および周方向応力  $\sigma_\theta$  を求めよ。
- (2) 主せん断応力  $\tau_1, \tau_2, \tau_3$  およびミーゼス応力  $\sigma_{Mises}$  を求めよ。ただし、径方向応力  $\sigma_r$  はゼロとみなす。なお、ミーゼス応力は主応力を  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  とすると、以下の式で表すことができる。

$$\sigma_{Mises} = \sqrt{\frac{1}{2} \{ (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 \}}$$

- (3) 塑性崩壊を起こす内圧  $P_f$  を求めよ。

次に、図 1-2 の薄肉円筒容器の外表面に、図 1-3 のような深さ  $a(\ll t)$  の長い表面き裂がある場合を考える。ここで、このき裂の応力拡大係数  $K_I$  (モード I) は以下の式で表される。  $C$  は定数である。材料の臨界応力拡大係数 (破壊靱性) を  $K_{Ic}$  とする。

$$K_I = C\sigma\sqrt{\pi a}$$

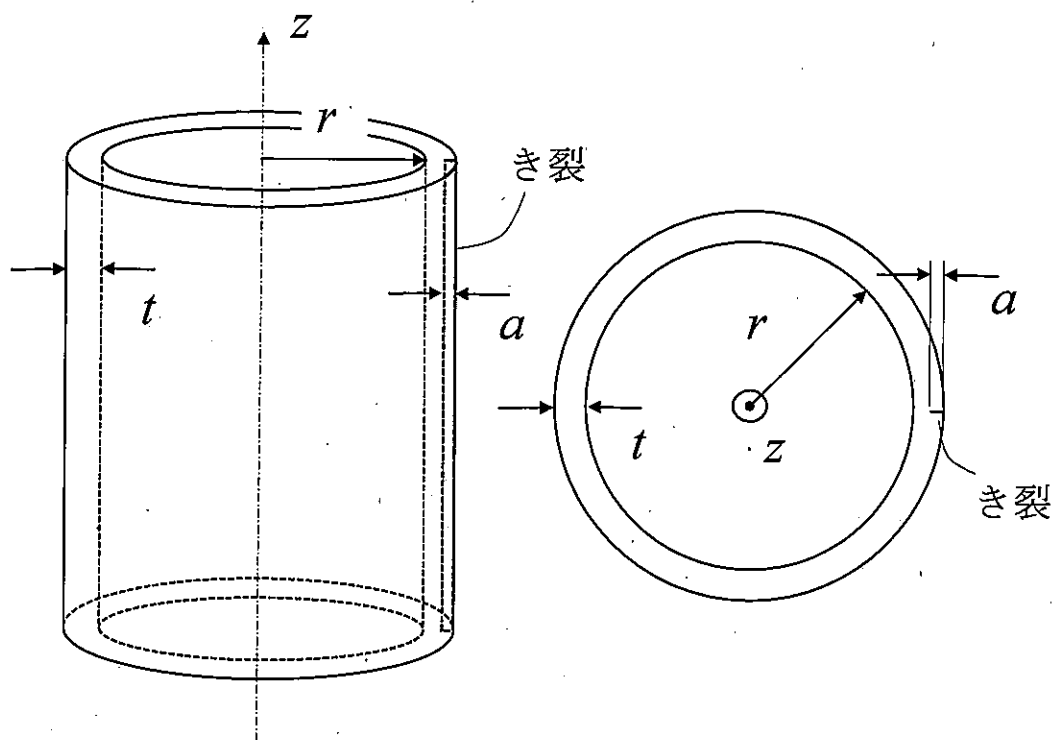


図 1-3

- (4) き裂が進展する内圧  $P_a$  を求めよ。
- (5)  $P_a = P_f$  となるき裂深さ  $a_c$  を求めよ。
- (6) 薄肉円筒容器がき裂進展または、塑性崩壊で壊れるとする。破壊が生じる内圧がき裂深さ  $a$  にどのように依存するかをグラフに描け。

問題 2

下記の I, II の両方について解答せよ。なお、I の解答に答案用紙 1 枚を、II の解答に答案用紙 1 枚を、それぞれ用いること。

I. 図 2-1 に示すように、質量が無視できる棒と 2 つの質点 (質量  $M$  および  $m$ ) からなる 2 つの振り子を考える。一方の振り子には壁からばね (ばね定数  $k$ ) が取り付けられている。振り子の回転中心からのばねおよび質点までの距離は図に示すとおりである。このとき、重力加速度を  $g$  とし、図 2-1 の状態を中立とした振り子の微小振動を仮定して、以下の設問に答えよ。

- (1) ばねがない振り子の固有振動数を求めよ。ただし、 $Mc < mb$  とせよ。
- (2) ばねが取り付けられている振り子が振動するときの固有振動数を求めよ。
- (3) ばね定数  $k$  が小さいと、振動が発生しないことがある。このときの条件を求めよ。ただし、 $Mc > mb$  とせよ。

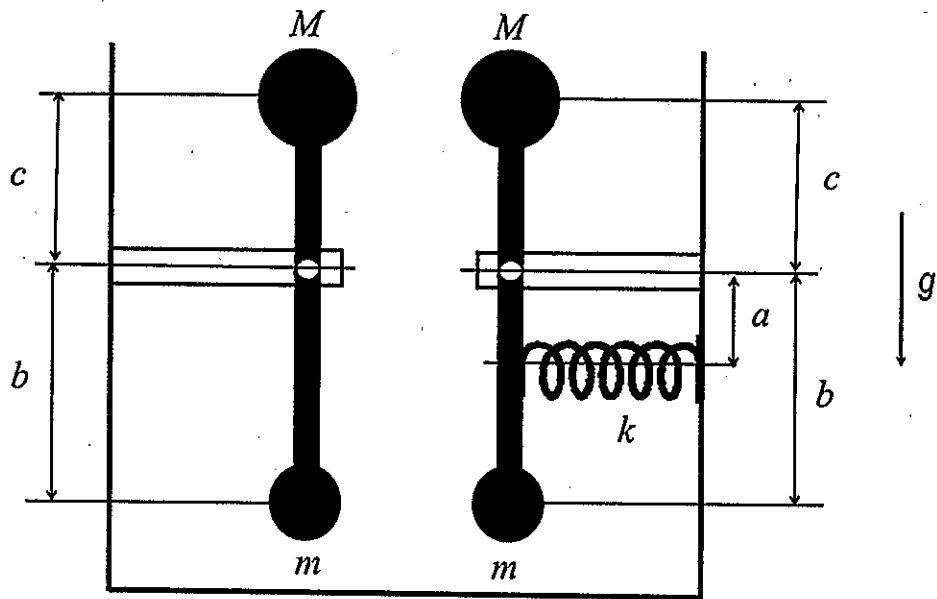


図 2-1

図 2-2 に示すように、2つの振り子をばねで結合した系を考える。

- (4) このときの系の運動方程式を導出せよ。ただし、 $Mc < mb$  とせよ。
- (5) 設問(4)の系では、ばねが全く変形せずに、2つの振り子が同期して、1次の固有振動のみが現れることがある。このときの1次の固有振動数を求めよ。
- (6) 系の2次の固有振動数と、そのときの固有振動モードを求めよ。ただし、簡単化のため、 $M=0$  とせよ。

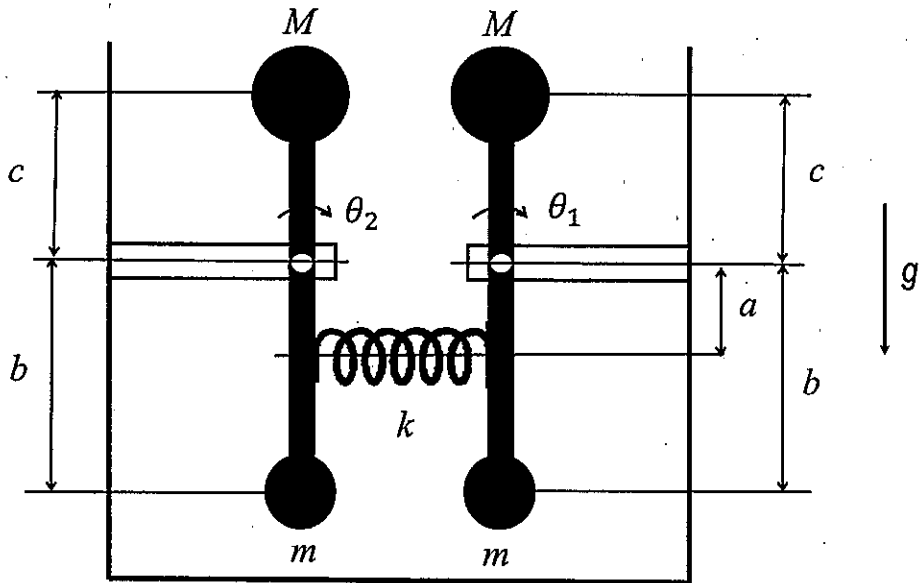


図 2-2

- II. 図 2-3 に示すようなフィードバック制御系を考える. ここで,  $R(s)$ ,  $E(s)$ ,  $Y(s)$  はそれぞれ, 目標値  $r(t)$ , 偏差  $e(t)$ , 出力  $y(t)$  のラプラス変換を表す. また,  $P(s)$  はプラント,  $G(s)$  は制御器の伝達関数を表す.

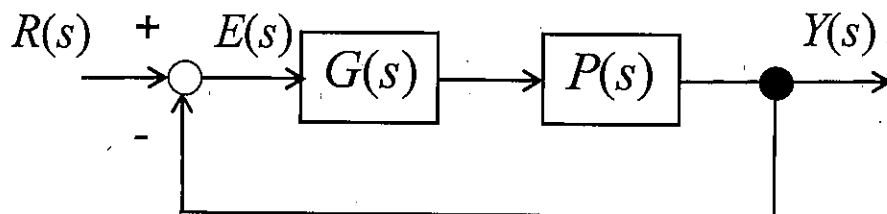


図 2-3

- (1) 目標値から偏差までの伝達関数を求めよ.

プラントの伝達関数を式(1)のように定める. また, 制御器は PD 制御を行うことを前提にして, 式(2)のように定める. なお,  $a$  と  $b$  は, 定数である.

$$P(s) = \frac{1}{s^2 + s - 1} \quad (1)$$

$$G(s) = as + b \quad (2)$$

- (2) フィードバック制御系の特性方程式を求めよ.  
(3) フィードバック制御系を安定にする条件を求めよ.

以降の設問では, 図 2-3 に示すフィードバック制御系は安定であるとする.

- (4) フィードバック制御系の減衰比を求めよ.  
(5) 目標値が単位ステップ関数であるとき, 偏差の最終値を求めよ.



図 2-4 に示すようにノイズ  $V(s)$  が加わるとする。

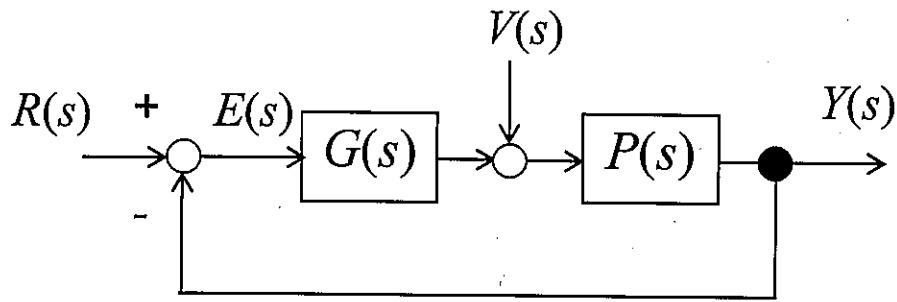


図 2-4

- (6) ノイズから出力までの伝達関数を求め、ノイズが単位ステップ関数であるとき、出力の最終値を求めよ。
- (7) ノイズに対する出力のゲインが、どのような周波数においても、設問(6)で求めた最終値の絶対値以下となる条件を求めよ。
- (8) 設問(5)と(7)を踏まえて、定常偏差を小さくし、出力に及ぼすノイズの影響も小さくするためには、定数  $a$  と  $b$  をどのように選ばばよいか、50 文字程度で述べよ。

### 問題 3

下記の I, II 両方について解答せよ. なお, I の解答に答案用紙 1 枚を, II の解答に答案用紙 1 枚を, それぞれ用いること.

- I. 図 3-1 に示す, 互いに平行な薄板部を有する構造体を用いた力センサを考  
える. 構造体の材料の密度を  $\rho$ , ヤング率を  $E$ , 構造体の幅を  $b$ , 高さを  
 $h$ , 先端部の長さを  $a$ , 薄板部の長さを  $L$ , 厚さを  $t$  とする. ただし, 薄板部  
の質量は無視できるものとし, 薄板部以外は剛体とみなしてよいものとす  
る. 以下の設問に答えよ.

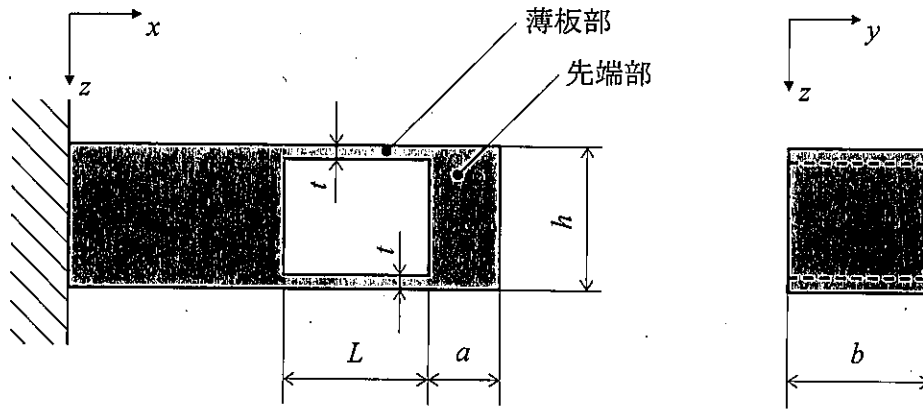


図 3-1

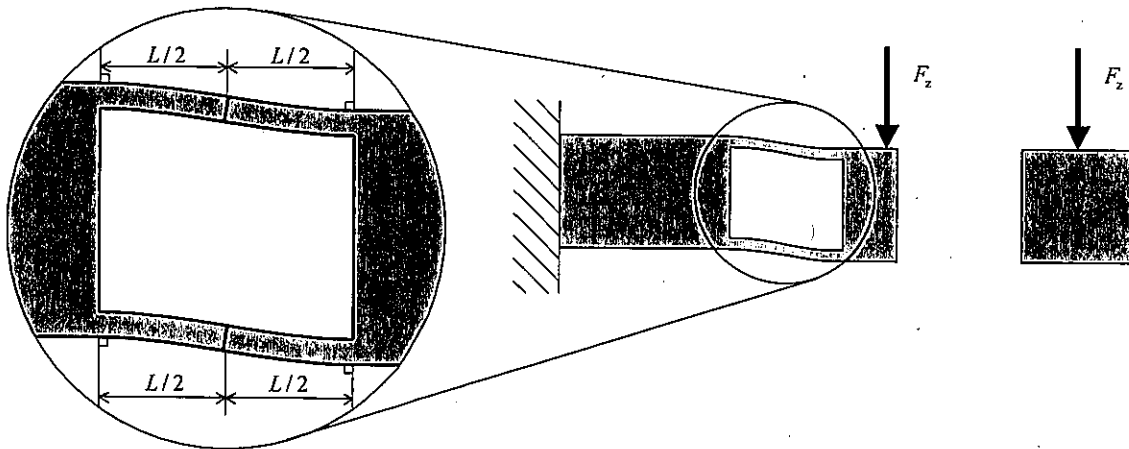


図 3-2

- (1) 構造体の先端部に  $F_z$  の力が加わると、図 3-2 に示す概略図のように変形する。  $F_z$  による先端部の  $z$  方向の変位を  $F_z$ ,  $E$ ,  $b$ ,  $L$ ,  $t$  を用いて表せ。このとき、それぞれの薄板部を、長さ  $L/2$  の 2 つの片持ちはり が向かい合ったものとみなしてよい。
- (2) 設問(1)のときの、薄板部の  $x$  方向のひずみの最大値を  $F_z$ ,  $E$ ,  $b$ ,  $L$ ,  $t$  を用いて表せ。
- (3) 薄板部が塑性変形しないように、力  $F_z$  を設定する必要がある。設問(2) のひずみが 0.2% を超えると薄板部が塑性変形する場合、  $F_z$  の満たすべき条件を求めよ。ただし、  $E = 60 \text{ GPa}$ ,  $b = 20 \text{ mm}$ ,  $L = 20 \text{ mm}$ ,  $t = 0.2 \text{ mm}$  とする。
- (4) この力センサは共振しない条件で用いる。そのため構造体自体の固有振動数について考える必要がある。  $\rho = 2.5 \text{ g/cm}^3$ ,  $a = 15 \text{ mm}$  のとき、薄板部の 1 次固有振動数を有効数字 2 桁で求めよ。なお、  $\frac{1}{2\pi} \approx 0.16$  と近似せよ。
- (5)  $F_z$  が加わったとき、設問(4)で求めた 1 次固有振動数を変えずに、先端部の  $z$  方向の変位を 2 倍にするためには構造体の寸法をどのように変えればよいか答えよ。
- (6) 図 3-3 のように 4 枚のひずみゲージを構造体に貼って、力  $F_z$  を検出する。4 枚のひずみゲージを用いる方法は、ひずみゲージ 1 のみを用いる方法に比べて利点がある。その利点を 2 つ、理由を付してそれぞれ 50 文字程度で述べよ。また、これらの利点を得るための 4 枚のひずみゲージを用いたブリッジ回路の構成を図示せよ。

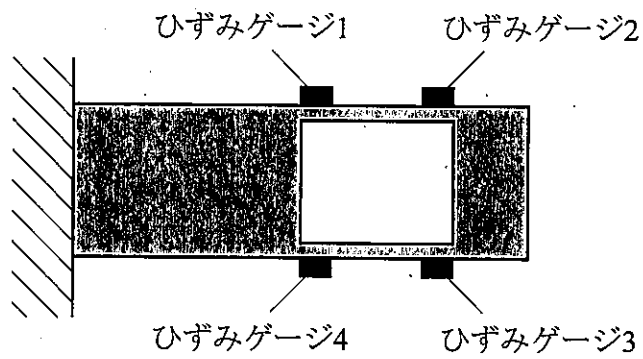


図 3-3

- (7) 図 3-4 に示すように、4つの力センサを使ったタッチパネルを考える。パネルに垂直な力  $F_0$  をパネル上の点  $P(u, v)$  に加えたとき、力センサ 1, 2, 3, 4 の出力はそれぞれ  $F_1, F_2, F_3, F_4$  であった。力  $F_0$  と、その位置  $(u, v)$  を、 $F_1, F_2, F_3, F_4, c, d$  を使って示せ。

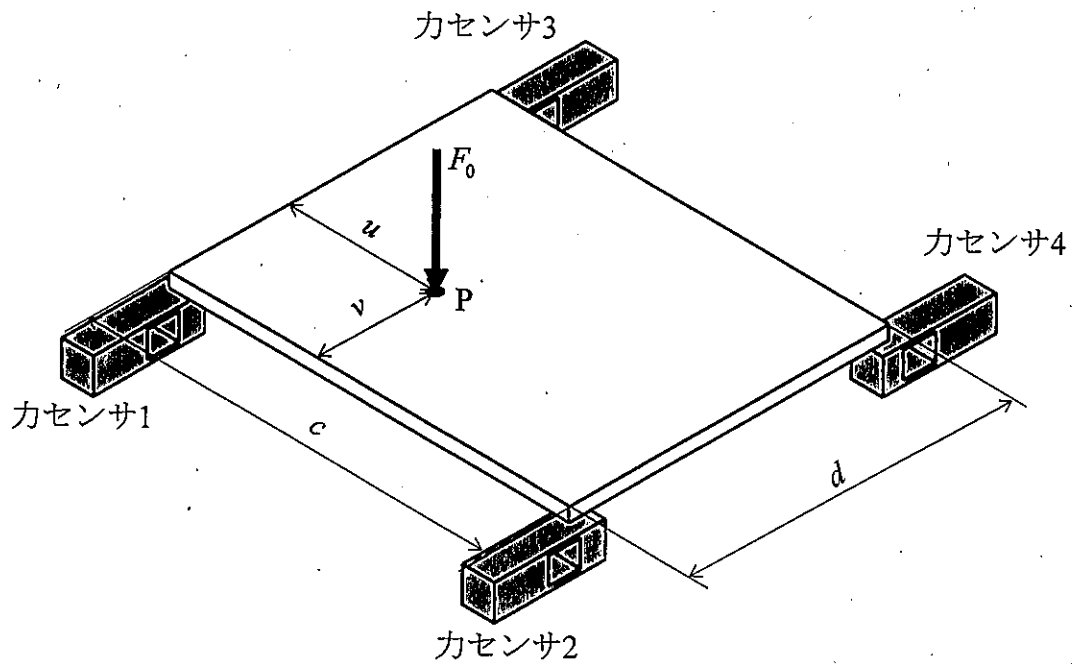


図 3-4

II. 空気圧シリンダに関する以下の設問に答えよ。

(1) 図 3-5 に示すように、シリンダ内径  $D$ 、ピストンロッド径  $d$  の空気圧シリンダの圧力室に、それぞれ  $P_1$ 、 $P_2$  ( $P_1 > P_2$ ) の圧力を印加した。ピストンに加わる力  $F$  を  $D$ 、 $d$ 、 $P_1$ 、 $P_2$  で表せ。また、 $F=100\text{ N}$ 、 $D=20\text{ mm}$ 、 $d=6.0\text{ mm}$ 、 $P_2=0.10\text{ MPa}$  のときの  $P_1$  を有効数字 2 桁で求めよ。

(2) 図 3-5 の空気圧シリンダのピストンロッドが速さ  $V$  で動いた。図 3-6 に示すように、ピストンとシリンダの間の空間は潤滑油で満たされており、ピストンにかかる力と潤滑油の粘性抵抗がつりあっているものとする。ピストンの長さを  $L$ 、シリンダとの隙間を  $c$ 、潤滑油の粘性係数を  $\mu$  としたとき、以下の設問に答えよ。

(2-a)  $V$  を  $c$ 、 $D$ 、 $L$ 、 $\mu$ 、 $F$  で表せ。ただし、 $c$  は  $D$  に比べて十分小さいものとする。また、 $c=0.020\text{ mm}$ 、 $D=20\text{ mm}$ 、 $L=10\text{ mm}$ 、 $\mu=0.80\text{ Pa}\cdot\text{s}$ 、 $F=10\text{ N}$  のときの  $V$  を有効数字 2 桁で求めよ。

(2-b) ここで、ピストンの材質はアルミニウム合金、シリンダの材質は炭素鋼とする。設問(2-a)の使用環境温度が  $50\text{ K}$  高くなり、空気圧シリンダ全体が熱膨張したときの  $c$  を有効数字 2 桁で求めよ。ただし、アルミニウム合金および炭素鋼の線膨張係数を、それぞれ  $2.0\times 10^{-5}\text{ K}^{-1}$ 、 $1.0\times 10^{-5}\text{ K}^{-1}$  とせよ。またこのとき、潤滑油の粘性係数が  $0.50$  倍に低下した。設問(2-a)で求めた  $V$  は何倍になったか、有効数字 2 桁で求めよ。

(3) 図 3-7 に示すようなシリンダカバーを、JIS S45C (ISO C45) で製作したい。以下の設問に答えよ。

(3-a) シリンダカバーを汎用工作機械（旋盤、フライス盤、ボール盤）で製作する工程を設計する。表 3-1 の例は、「工程 1 において、旋盤を用いて、面①をチャックし、面②を加工する。工程 2 において、旋盤を用いて、面①をチャックし、面⑤を加工する」ものである。製作が完了するまでの工程を、表 3-1 に続けて示せ。

(3-b) この材料を研磨およびエッチングしたときに観察される光学顕微鏡像を，図 3-8 の(i)~(iii)から選べ．また，図中の A と B の組織の名称をそれぞれ答えよ．

(4) 油圧シリンダと比べたときの，空気圧シリンダの長所と短所を一つずつ，理由を付して，それぞれ 50 文字程度で述べよ．

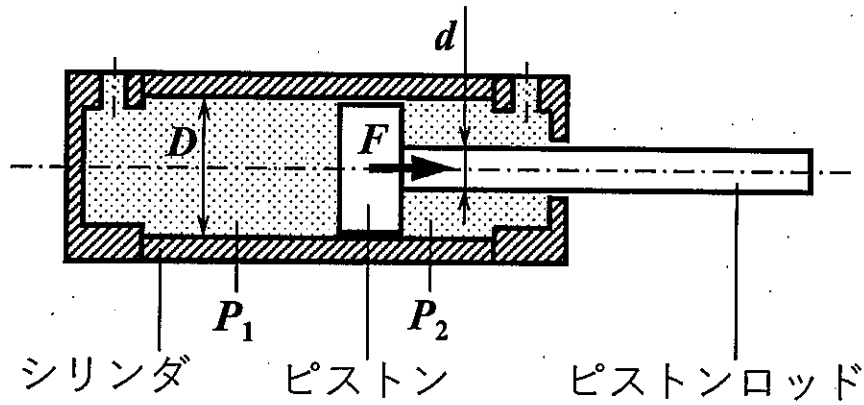


図 3-5

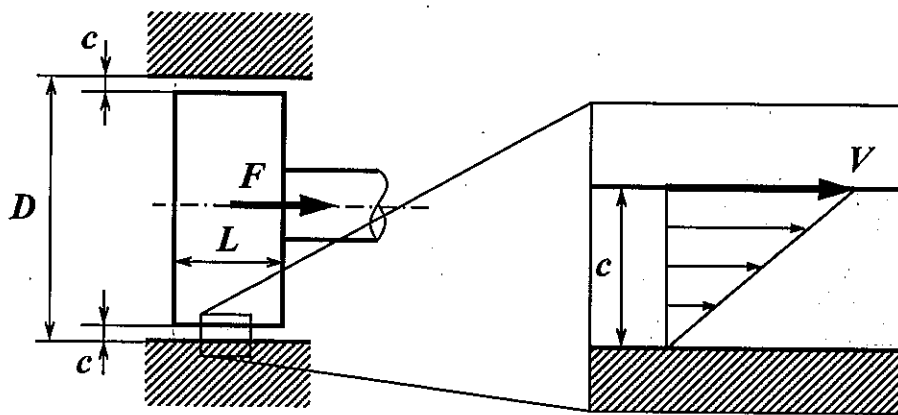


図 3-6

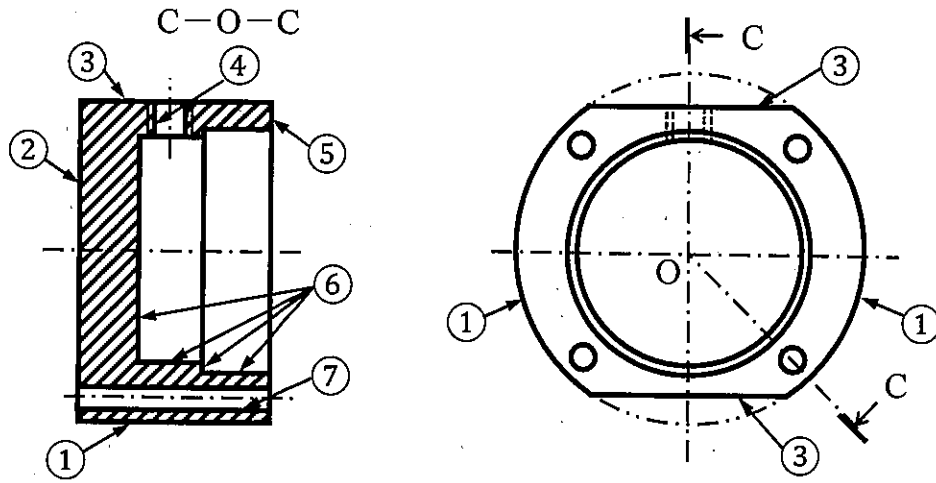


図 3-7

表 3-1

工程番号	機械	チャック面	加工面
1	旋盤	①	②
2	旋盤	①	⑤
3			

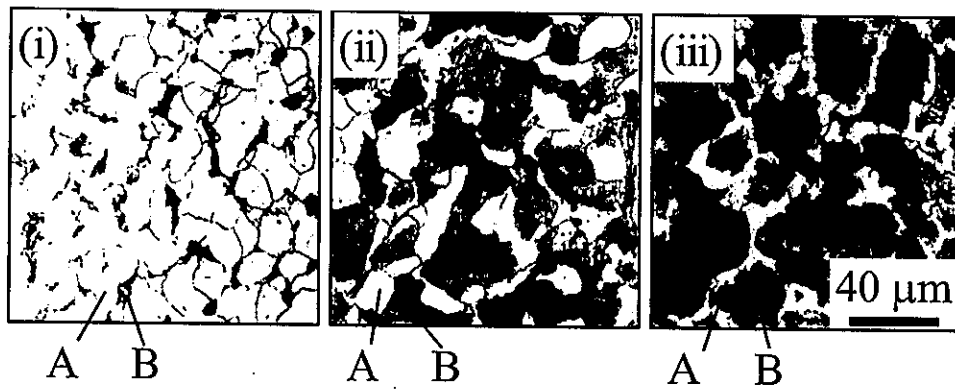


図 3-8

(白紙)



# FY2022 Department of Mechanical Engineering

## Master Course Program Entrance Examination

### “Mechanical Engineering” (Part 2)

2021/8/31 (Tuesday) 13:00~16:00

#### Instructions

1. Do not open the exam booklet until you are instructed to begin.
2. Answer all Questions in Problems 1, 2, and 3.
3. If you find some incomplete printing or collating, report them to the proctor.
4. Make sure that you have all 6 answer sheets. Let the proctor know otherwise.
5. Use 2 answer sheets for each Problem. If there are Questions I and II in a Problem, use one answer sheet for one Question. If there are Questions I, II and III in a Problem, follow the instruction at the top of the 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 (Part 2)” 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 3 worksheets. Write your examinee number (candidate number) on the upper left corner of each worksheet.
10. Hand in all 3 worksheets even if you have not used them.
11. You may take home the exam booklet.

(Blank)

### Problem 1

Answer both the following Questions I and II. Use one answer sheet for Question I and another one for Question II.

I. As shown in Figure 1-1, a beam AB of length  $4l$  is simply supported at the ends and a beam CE of length  $2l$  which is simply supported at the ends resting on the beam AB. A concentrated load  $P$  is applied at the midpoint D of the beam CE. The beams AB and CE have the same flexural rigidity  $EI$ . Answer the following questions.

- (1) Draw the shearing force and bending moment diagrams for the beam CE.
- (2) Draw the shearing force and bending moment diagrams for the beam AB.
- (3) Obtain the vertical displacement of point D.

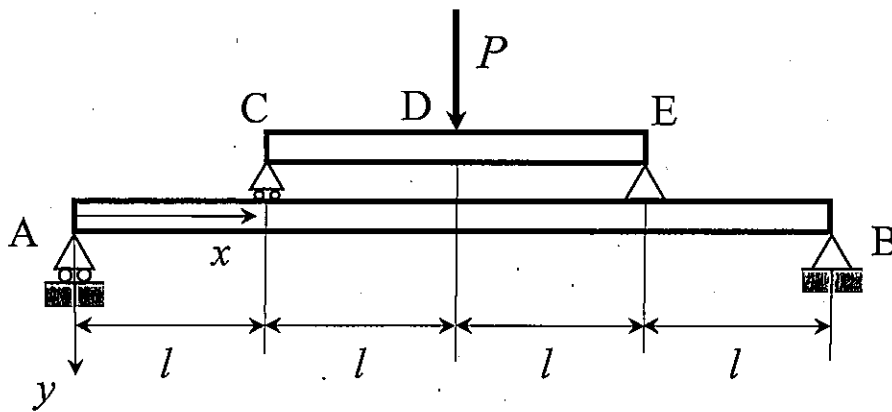


Figure 1-1

- II. Consider a thin-walled cylinder vessel with an inner radius  $r$  and wall thickness  $t$  ( $t \ll r$ ), as shown in Figure 1-2. The thin-walled cylinder is closed at both ends and is subjected to the inner pressure  $P$ . The material is assumed as a perfect elastic-plastic solid with a yield stress  $\sigma_f$ .

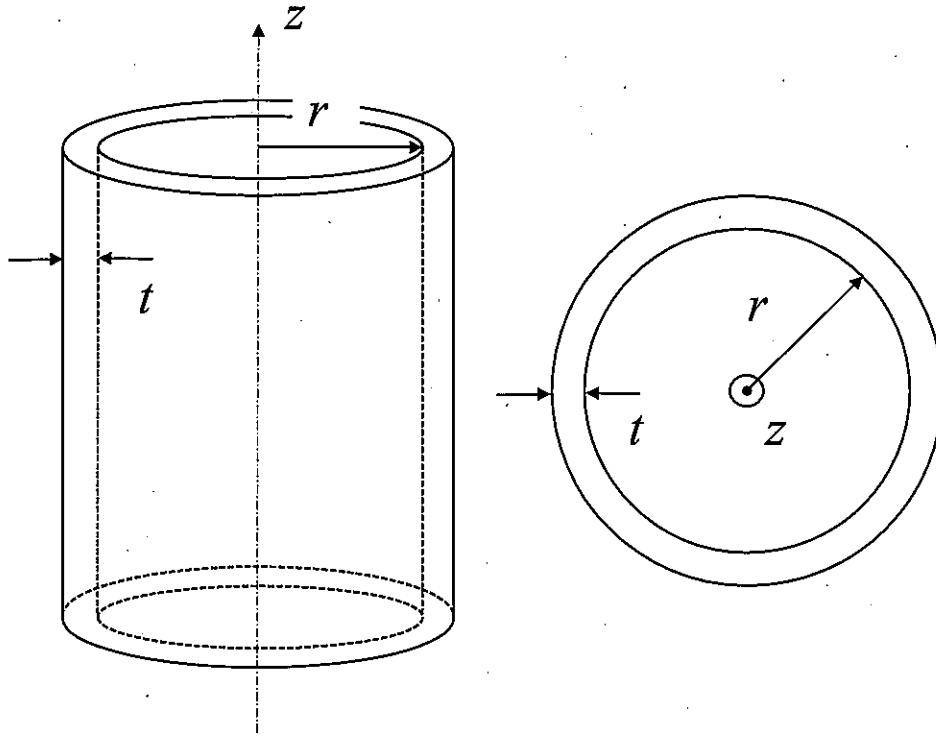


Figure 1-2

- (1) Obtain the axial-direction stress  $\sigma_z$  and circumferential stress  $\sigma_\theta$ .
- (2) Obtain the principle shear stresses  $\tau_1, \tau_2, \tau_3$  and von Mises stress  $\sigma_{Mises}$ . Here, the radial-direction stress  $\sigma_r$  is assumed to be zero. The von Mises stress is expressed by the equation shown below, where  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  denote the principle stresses.

$$\sigma_{Mises} = \sqrt{\frac{1}{2} \{ (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 \}}$$

- (3) Obtain the inner pressure  $P_f$  at which plastic collapse occurs.

Next, consider the case that the thin-walled cylinder vessel in Figure 1-2 involves a long surface crack of depth  $a (\ll t)$  on the outer surface, as shown in Figure 1-3. Here, the stress intensity factor  $K_I$  (mode I) of the crack is expressed by the equation below. Here,  $C$  is a constant. The critical stress intensity factor (fracture toughness) of the material is  $K_{IC}$ .

$$K_I = C\sigma_\theta\sqrt{\pi a}$$

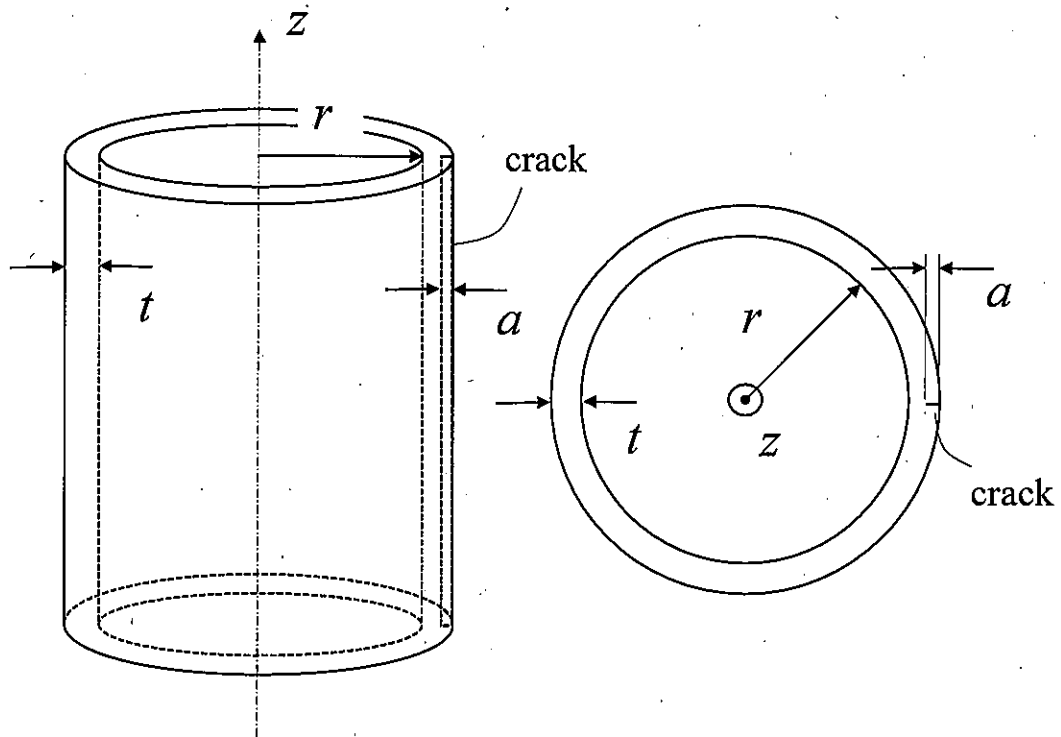


Figure 1-3

- (4) Obtain the inner pressure  $P_a$  at which crack propagation occurs.
- (5) Obtain the crack depth  $a_c$  at  $P_a = P_f$ .
- (6) The thin-walled cylinder vessel is assumed to be fractured by the crack propagation or the plastic collapse. Illustrate the graph showing the dependence of the inner pressure on the crack depth  $a$  at which fracture occurs.

## Problem 2

Answer both the following Questions I and II. Use one answer sheet for Question I and another one for Question II.

I. As shown in Figure 2-1, consider two pendulums where each of them is composed of a massless rod and two masses  $M$  and  $m$ . One pendulum has a spring connected to the wall with a spring constant  $k$ . The lengths from the rotation center of pendulums to each mass and to the spring are shown in the figure. Answer the following questions under the assumptions of small amplitude of vibration with the neutral position of the condition in Figure 2-1, and gravitational acceleration  $g$ .

- (1) Obtain the natural frequency of the pendulum without the spring, assuming  $Mc < mb$ .
- (2) Obtain the natural frequency of the pendulum with the spring when vibrating.
- (3) Vibration may not occur if the spring constant  $k$  is small. Obtain the condition at this case, assuming  $Mc > mb$ .

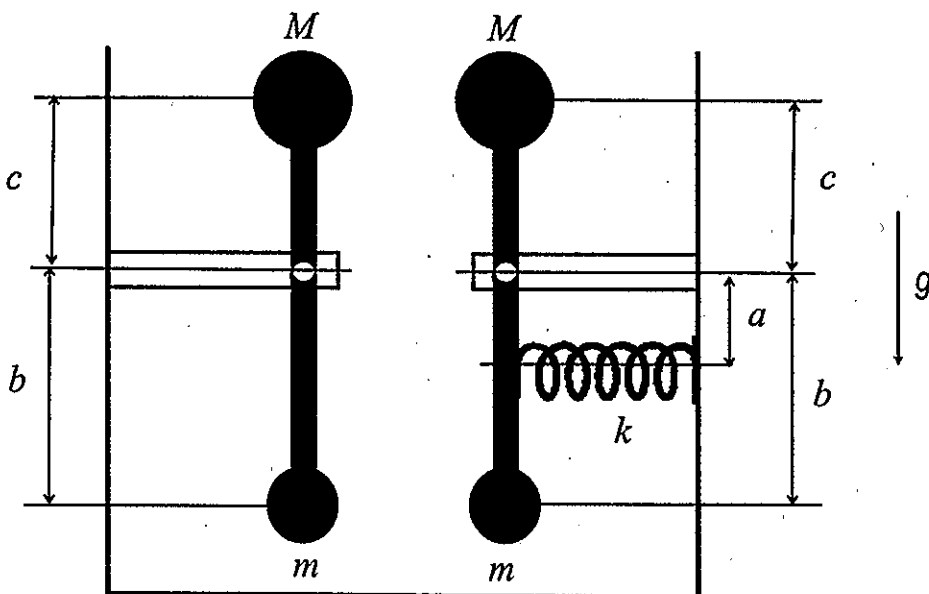


Figure 2-1

As shown in Figure 2-2, consider the system of the two pendulums connected by the spring.

- (4) Obtain the equations of motion for the system, assuming  $Mc < mb$ .
- (5) In Question (4), only the first order natural vibration may appear without deformation of the spring, in which two pendulums vibrate in synchronization. Obtain the first order natural frequency of the system at this time.
- (6) Obtain the second order natural frequency of the system and its eigen mode, assuming  $M = 0$  for simplicity.

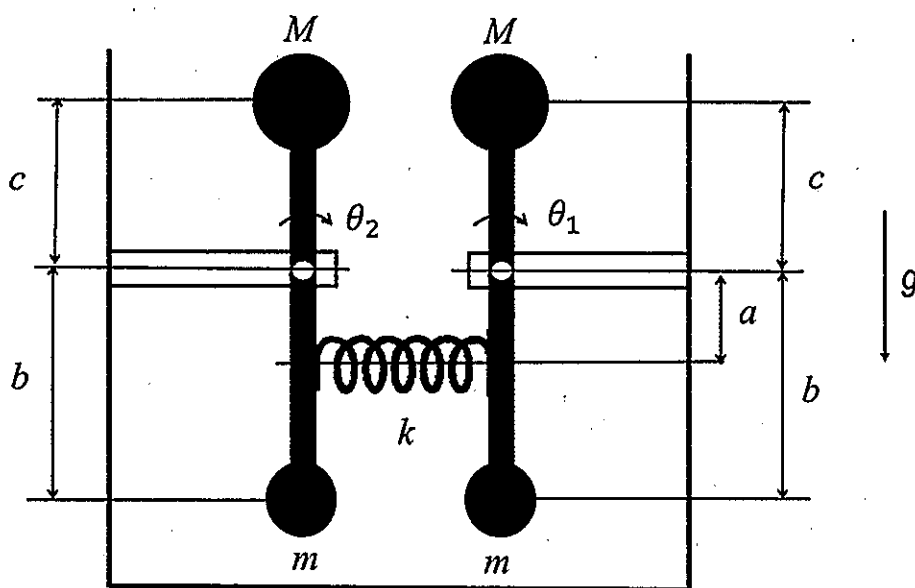


Figure 2-2

II. Consider a feedback control system as shown in Figure 2-3, where  $R(s)$ ,  $E(s)$  and  $Y(s)$  represent the Laplace transforms of the target value  $r(t)$ , the error  $e(t)$  and the output  $y(t)$ , respectively, while  $P(s)$  and  $G(s)$  represent the transfer functions of the plant and the controller, respectively.

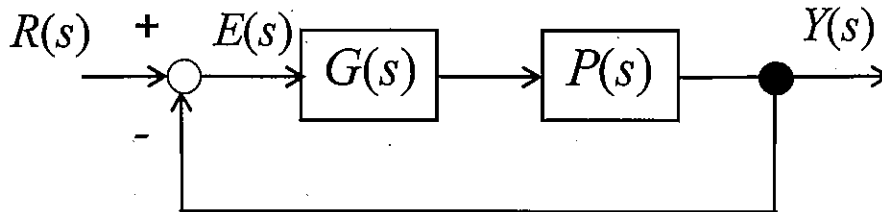


Figure 2-3

- (1) Obtain the transfer function from the target value to the error.

The transfer function of the plant is defined as Equation (1), while the transfer function of the controller is defined as Equation (2) assuming PD control is applied.

$$P(s) = \frac{1}{s^2 + s - 1} \quad (1)$$

$$G(s) = as + b \quad (2)$$

where  $a$  and  $b$  are constants.

- (2) Obtain the characteristic function of the feedback control system.
- (3) Obtain the condition stabilizing the feedback control system.

Assume the feedback control system as shown in Figure 2-3 is stable in the following questions.

- (4) Obtain the damping ratio of the feedback control system.



- (5) Obtain the final value of the error when the target value is a unit step function.

Consider a noise  $V(s)$  is applied to the system as shown in Figure 2-4.

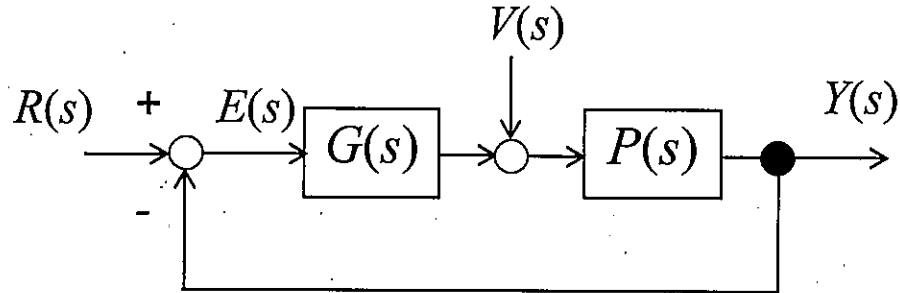


Figure 2-4

- (6) Derive the transfer function from the noise to the output. Then, obtain the final value of the output when the noise is a unit step function.
- (7) Obtain the condition making the gain of the output to the noise less than or equal to the absolute value of the final value obtained in Question (6) for any frequency.
- (8) Based on Questions (5) and (7), state how to determine constants  $a$  and  $b$  to reduce the steady-state error and effect of the noise on the output in about 30 words.

Problem 3

Answer both the following Questions I and II. Use one answer sheet for Question I and use another one for Question II.

- I. Consider a force sensor using a structure which has thin plates parallel to each other shown in Figure 3-1. The density and Young's modulus of the material of the structure are  $\rho$  and  $E$ , respectively. The width and the height of the structure are  $b$  and  $h$ , respectively. The length of the tip part, the length of the thin plates and the thickness of the thin plates are  $a$ ,  $L$  and  $t$ , respectively. Here, the mass of the thin plates is negligible and the other parts of the structure can be regarded as rigid bodies. Answer the following questions.

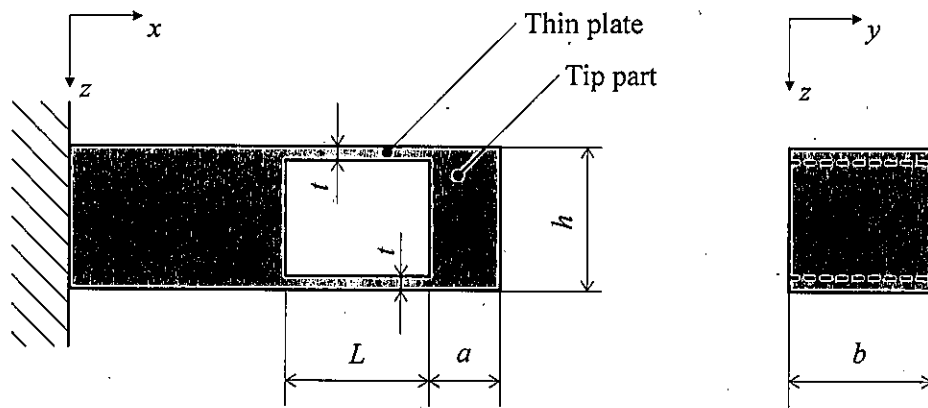


Figure 3-1

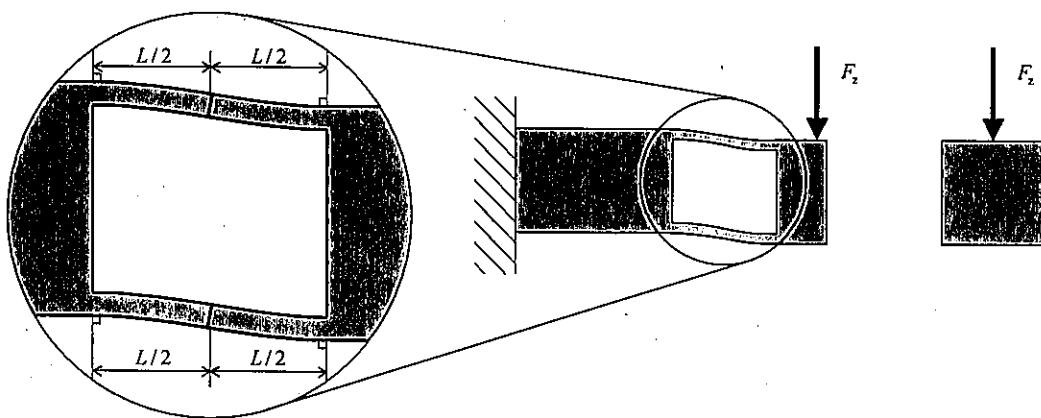


Figure 3-2

- (1) When a force  $F_z$  is applied on the tip part of the structure, it deforms as the schematic diagram shown in Figure 3-2. Express the displacement of the tip part by  $F_z$  in the  $z$ -direction using  $F_z$ ,  $E$ ,  $b$ ,  $L$  and  $t$ . Here, each thin plate can be regarded as two cantilevers of length  $L/2$  facing each other.
- (2) Express the maximum  $x$ -direction strain in the thin plates using  $F_z$ ,  $E$ ,  $b$ ,  $L$  and  $t$  in the case of Question (1).
- (3) The force  $F_z$  must be determined so that the thin plates do not plastically deform. Find the condition that  $F_z$  should meet, in case that the thin plates deform plastically when the strain in Question (2) exceeds 0.2%. Here,  $E = 60 \text{ GPa}$ ,  $b = 20 \text{ mm}$ ,  $L = 20 \text{ mm}$  and  $t = 0.2 \text{ mm}$ .
- (4) This force sensor is used under a condition where it does not resonate. Consider the natural frequency of the structure itself. Obtain the primary natural frequency of the thin plates with two significant digits when  $\rho = 2.5 \text{ g/cm}^3$  and  $a = 15 \text{ mm}$ . Here, approximate  $\frac{1}{2\pi} \approx 0.16$ .
- (5) Describe how to change the dimensions of the structure for doubling the displacement in the  $z$ -direction of the tip part without changing its primary natural frequency obtained in Question (4), when  $F_z$  is applied.
- (6) Four strain gauges are attached to the structure as shown in Figure 3-3, for detecting the force  $F_z$ . The method of detecting the force with four gauges has advantages compared to the method using only Strain gauge 1. Describe two of the advantages and their reasons in around 30 words, respectively. In addition, draw the bridge circuit configuration with four strain gauges for obtaining these advantages.

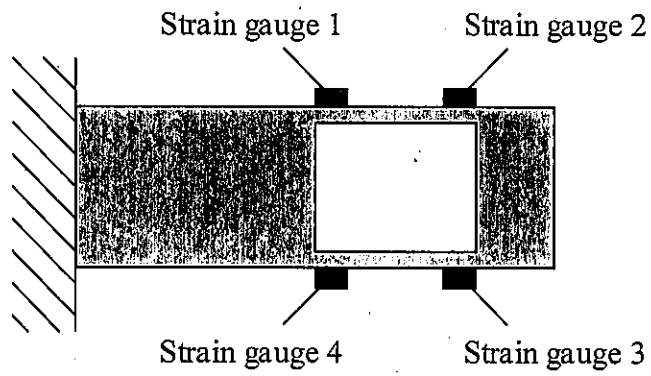


Figure 3-3

- (7) Consider a touch panel using four force sensors as shown in Figure 3-4. The output of the force sensors 1, 2, 3 and 4 are  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  and  $F_4$ , respectively, when a force  $F_0$  perpendicular to the panel is applied to a point  $P(u, v)$  on the panel. Express the force  $F_0$  and its position  $(u, v)$  using  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ ,  $F_4$ ,  $c$  and  $d$ .

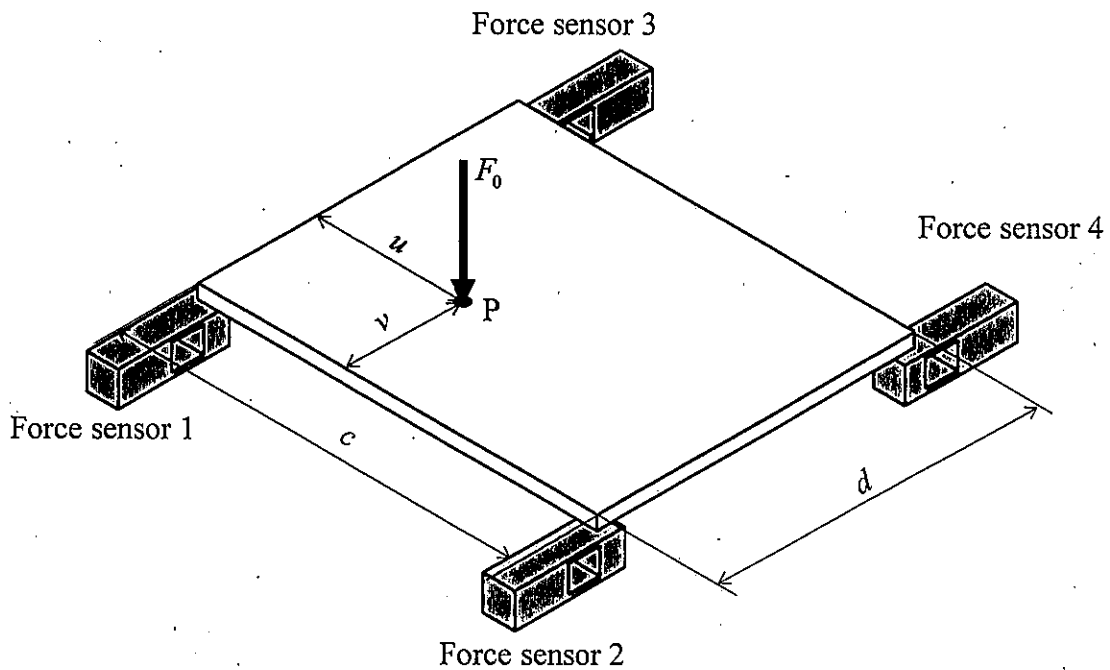


Figure 3-4

II. Answer the following questions regarding a pneumatic cylinder.

(1) Pressures  $P_1$  and  $P_2$  ( $P_1 > P_2$ ) are applied in the pressure chambers of a pneumatic cylinder with a cylinder inner diameter of  $D$  and a piston-rod diameter of  $d$  as shown in Figure 3-5. Express the force loaded to the piston  $F$  using  $D$ ,  $d$ ,  $P_1$  and  $P_2$ . In addition, obtain  $P_1$  with two significant digits at  $F = 100 \text{ N}$ ,  $D = 20 \text{ mm}$ ,  $d = 6.0 \text{ mm}$  and  $P_2 = 0.10 \text{ MPa}$ .

(2) The piston rod of the pneumatic cylinder shown in Figure 3-5 moves with a velocity  $V$ . As shown in Figure 3-6, the gap between the piston and cylinder is filled with lubricant and the force applied to the piston is balanced with the viscous resistance of the lubricant. When the length of the piston is  $L$ , the clearance between the piston and cylinder is  $c$  and the viscosity coefficient of lubricant is  $\mu$ , answer the following questions.

(2-a) Express  $V$  with  $c$ ,  $D$ ,  $L$ ,  $\mu$  and  $F$ . Here,  $c$  is much smaller than  $D$ . In addition, when  $c = 0.020 \text{ mm}$ ,  $D = 20 \text{ mm}$ ,  $L = 10 \text{ mm}$ ,  $\mu = 0.80 \text{ Pa}\cdot\text{s}$  and  $F = 10 \text{ N}$ , obtain  $V$  with two significant digits.

(2-b) Now, the materials of the piston and cylinder are an aluminum alloy and a carbon steel, respectively. When the operating environment temperature in Question (2-a) increases by  $50 \text{ K}$  and the entire pneumatic cylinder thermally expands, obtain  $c$  with two significant digits. Here, the linear coefficients of expansion of the aluminum alloy and the carbon steel are  $2.0 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  and  $1.0 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ , respectively. At this time, the viscosity coefficient of lubricant decreases to 0.50 times. Obtain how large  $V$  becomes in Question (2-a) with two significant digits.

(3) Consider manufacturing a cylinder cover as shown in Figure 3-7 with a material JIS S45C (ISO C45). Answer the following questions.

(3-a) Consider the design of the machining process when the cylinder cover is manufactured with general-purpose machine tools (lathe, milling machine, drilling machine). The example in Table 3-1 means “At the process number 1, using lathe, chuck face ①, machine face ②. At the process number 2, using lathe, chuck face ①, machine face ⑤.” Write the process until the manufacturing is finished, following Table 3-1.

(3-b) Consider this material is polished and etched. Select the observed optical microscope image from Figures 3-8 (i)~(iii). In addition, answer the names of microstructures A and B in each figure.

(4) Describe one advantage and one disadvantage of a pneumatic cylinder compared to a hydraulic cylinder, and their reasons in around 30 words for each.

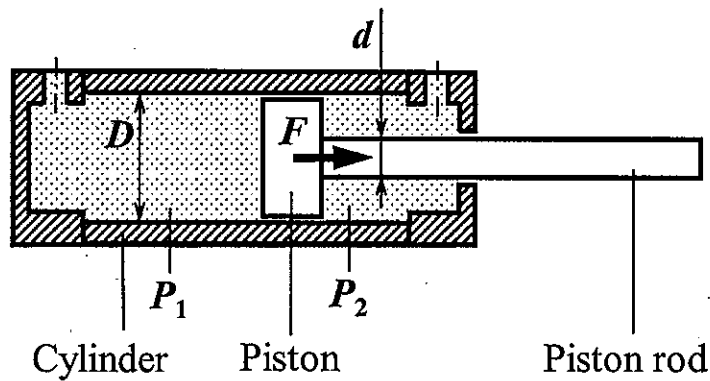


Figure 3-5

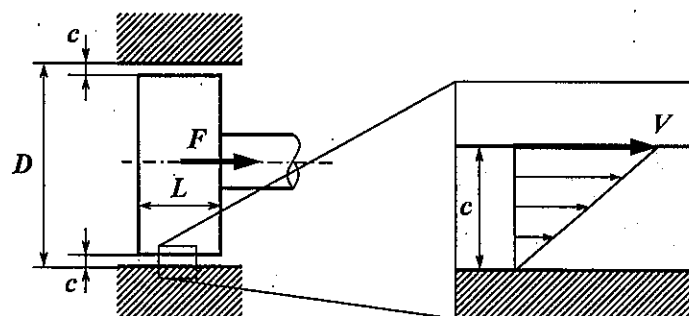


Figure 3-6

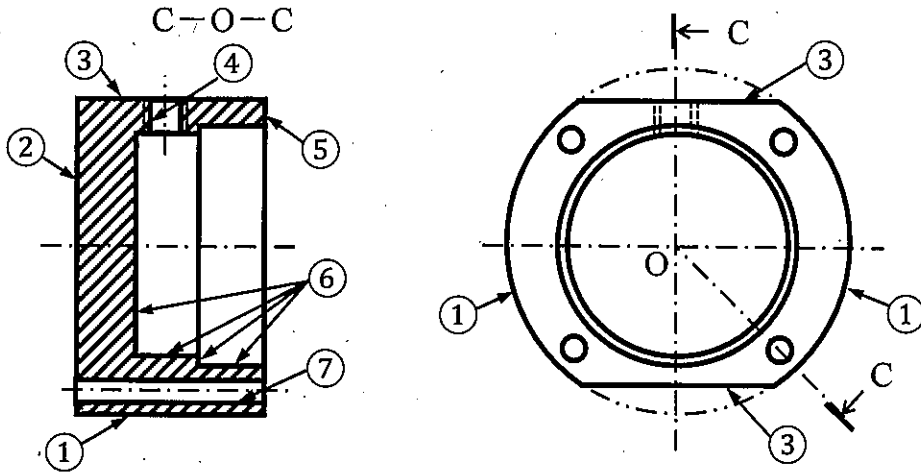


Figure 3-7

Table 3-1

Process number	Machine tool	Chuck face(s)	Machined face(s)
1	Lathe	①	②
2	Lathe	①	⑤
3			

⋮

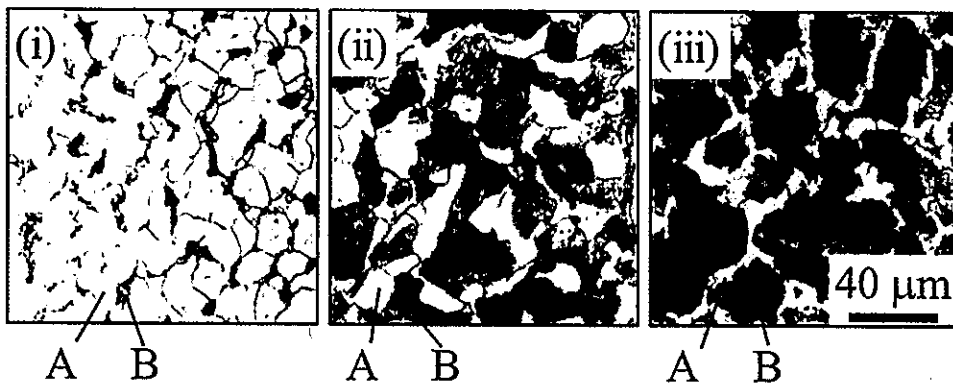


Figure 3-8

(Blank)