

2025 年 8 月

慶應義塾大学大学院 理工学研究科

前期博士課程 入学試験問題

教育研究分野：G 機械工学

----- 受験生への注意 -----

- この問題冊子の総ページ数は 10 ページです。問題は 2-10 ページ目に印刷されています。余白および裏面は下書き等に使用してもかまいません。
- 問題は選択記述問題 (G1) と小論文問題 (G2) があります。
- 答案用紙は 2 枚 (裏もあり) です。答案用紙の所定欄に、受験番号を記入しなさい (氏名は記入しない)。
- 選択記述問題 (G1) は、「A: 機械力学・材料力学分野」もしくは「B: 熱力学・流体力学分野」のどちらかを選択し、設問に答えなさい。答案用紙の問題番号欄に A もしくは B と記入しなさい。
- 選択記述問題 (G1) の解答にあたっては、A を選択した場合は、小問題 A1 の解答を答案用紙の表に、小問題 A2 の解答を答案用紙の裏に記しなさい。B を選んだ場合には小問題 B1 の解答を答案用紙の表に、小問題 B2 の解答を答案用紙の裏に記しなさい。
- 小論文問題 (G2) の解答にあたっては、答案用紙の問題番号欄に G2 と記入しなさい。

G1. (選択記述問題)

下記の「A：材料力学・機械力学分野」もしくは「B：熱力学・流体力学分野」のどちらか一問を選択し、設問に答えなさい。答案用紙の問題番号欄に A もしくは B と記入しなさい。

A：機械力学・材料力学分野

A1

(1) 以下の各文中の (ア) (エ) (カ) (ク) (コ) に最も適切な語句を、(イ) (ケ) には最も適切な式を、(ウ) (オ) (キ) には最も適切な数値と単位を入れて文を完成させなさい。

- ① 一定速さ v で半径 r の円運動をする質点の加速度は (ア) 向きに (イ) の大きさをもつ。
- ② 質量 9.0 kg の質点が、半径 2.0 m の円軌道上を大きさ 0.50 rad/s の角速度で周回している。このとき、向心力の大きさは (ウ) である。
- ③ 回転する物体の (エ) は慣性力の一種であり、観測者が回転座標系にいるときに感じられる。
- ④ 半径 0.50 m の円板が角加速度 4.0 rad/s^2 で回転を始めたとき、円周上の点の加速度の大きさは (オ) である。
- ⑤ 剛体の回転運動において、力のモーメントは (カ) と角加速度の積で表される。
- ⑥ 質量 2.0 kg 、半径 0.30 m の一様な円板が角加速度 5.0 rad/s^2 で回転するのに必要な力のモーメントの大きさは (キ) である。
- ⑦ 質点の角運動量は、質点の位置ベクトルと (ク) との外積で定義されるベクトルである。
- ⑧ ある点 O から水平距離 L の位置に静止していた質量 m の物体が鉛直下方に自由落下を始めた。空気抵抗は無視するものとし、重力加速度を g とする。時間 t 秒後の点 O まわりの角運動量の大きさは (ケ) であり、その時間変化の割合は点 O まわりの (コ) に等しい。

(2) 質量の無視できる棒で連結された質量 M 、半径 R の円柱と質量 m のおもりが、図 A1-1 のように静止状態から斜面（水平面とのなす角 α ）に沿って落下する。棒は円柱の中心軸と連結し、円柱の回転は棒に妨げられないものとする。また、円柱はすべらずに転がり、おもりはすべる。重力加速度を g とし、斜面とおもりの間の動摩擦係数を μ とする。また、連結物体の斜面に沿った位置を x （下る向きを正）、円柱の回転角を θ （時計の針と逆向きを正）とする。

(次ページへつづく)

(前ページからのつづき)

- ① 円柱、棒、およびおもりのそれぞれについて、作用する力や力のモーメントを図示し、それぞれの運動方程式（またはつり合いの式）を書きなさい。必要な物理量があれば、定義して用いること。
- ② 落下の加速度を求めなさい。

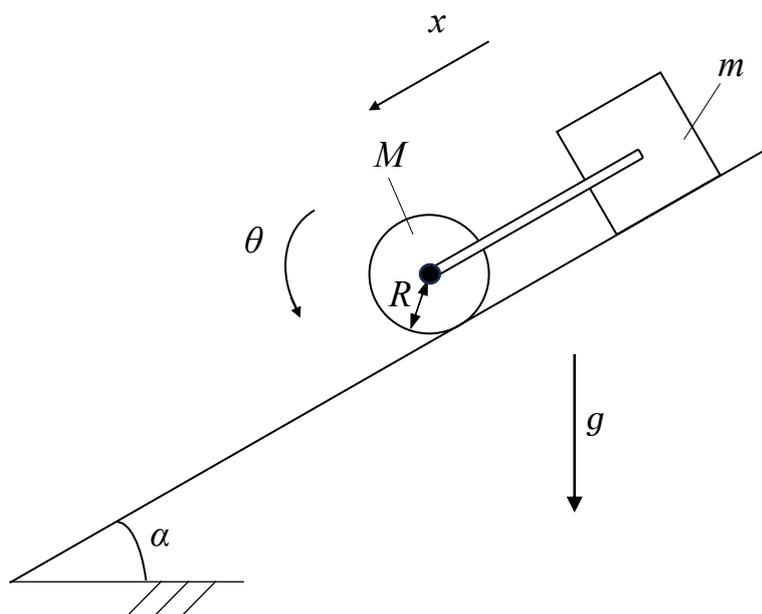


図 A1-1

(次ページへつづく)

(前ページからのつづき)

A2

- (1) 図 A2-1 に示すとおり、それぞれ一様な断面積 A_1 、 A_2 と縦弾性係数 E_1 、 E_2 をもつ長さ l の 2 本の棒が接合されてできた接合棒が、一端は壁に固定され、他端に引張荷重 P が作用している。このとき、以下の文章の空欄を埋めながら各棒に生じる応力を求めなさい。

図 A2-1 の接合棒は接合部を切り離し、図 A2-2 に示すような剛体に接合された長さ l の 2 本の棒でモデル化することができる。このとき、棒 1 と棒 2 に生じる反力をそれぞれ P_1 、 P_2 とおくと、剛体における力の釣合式は と表せる。一方、棒 1 と棒 2 に生じる伸び λ_1 、 λ_2 は、 P_1 、 P_2 を用いて $\lambda_1 =$ 、 $\lambda_2 =$ と表せる。しかし、二本の棒は剛体で実際は接合されているため自由に伸縮することができない。変形の条件式を λ_1 、 λ_2 を用いて表すと となる。以上から、各棒に生じる応力 σ_1 、 σ_2 を求めると、 $\sigma_1 =$ 、 $\sigma_2 =$ となる。

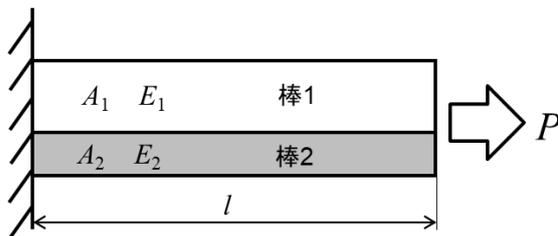


図 A2-1

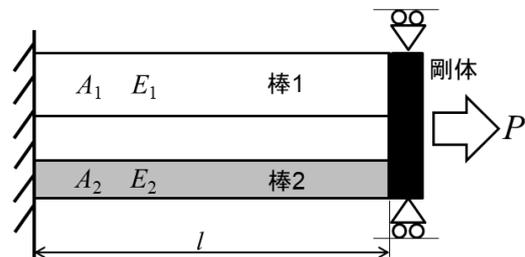


図 A2-2

(次ページへつづく)

(前ページからのつづき)

- (2) 長さ l の両端支持はり AB に対し、図 A2-3、図 A2-4、図 A2-5 に示すように荷重を与えた。このとき、以下の文章の空欄を埋めなさい。ただし、はりの断面二次モーメント I は軸方向に沿って一様であり、はりの縦弾性係数は E とする。はりの自重は無視してよい。

図 A2-3 に示す両端支持はり AB に対し、点 D に集中荷重 P を y 軸方向に作用させた。その際、支持点 A および B からはりが受ける反力 R_A 、 R_B は、 P を用いて $R_A = \boxed{\text{キ}}$ 、 $R_B = \boxed{\text{ク}}$ と表される。

一般的に、両端支持はり AB (長さ l) の中点 C ($x=l/2$) に集中荷重 P が作用しているとき、 $0 \leq x \leq l/2$ におけるたわみは $y = \frac{P}{12EI} \left(\frac{3}{4} l^2 - x^2 \right) x$ となる。これを踏まえ、Maxwell の相反定理を用いると、図 A2-3 における中点 C ($x=l/2$) でのはりのたわみ y_C は、 $y_C = \boxed{\text{ケ}}$ となる。

続いて、図 A2-4 に示すような両端支持はり AB に対し、点 D と点 E にそれぞれ集中荷重 P を y 軸方向に作用させる場合を考える。そのときの中点 C ($x=l/2$) でのはりのたわみ y_C は、 $y_C = \boxed{\text{コ}}$ となる。

最後に、図 A2-5 に示すように $0 \leq x \leq a$ (ただし $a \leq l/2$) に分布荷重 w が作用している場合を考える。 $0 \leq x \leq a$ における位置 x からはじまる微小区間 dx を考える。この微小区間 dx にかかる荷重が、はりの中点 C におよぼすたわみ dy は、 $dy = \boxed{\text{サ}}$ と表すことができる。よって、図 A2-5 の $0 \leq x \leq a$ にかかる分布荷重 w が、はりの中点 C におよぼすたわみ y_C は、 $y_C = \boxed{\text{シ}}$ となる。

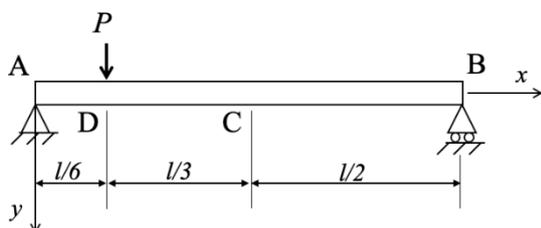


図 A2-3

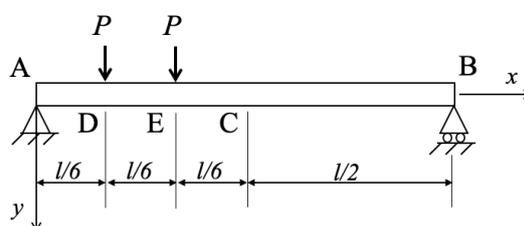


図 A2-4

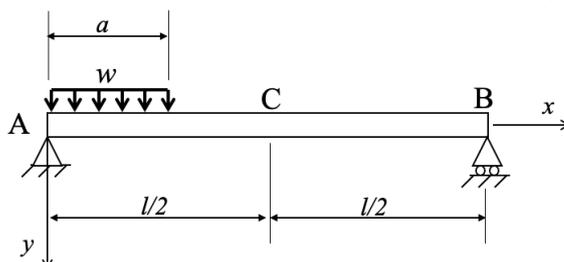


図 A2-5

B : 熱力学・流体力学分野

B1

(1) 下記の①～⑩の記述について、正しいものには「正しい」と記し、誤りのあるものには、その誤っている点を書きなさい。

- ① 熱力学は、熱を機械仕事へ変換するための学問として発達した。
- ② 開いた系では、境界を通し、物質の流入流出はあるが、熱の流入流出はない。
- ③ エントロピーは常に増大する。
- ④ 比体積は密度の逆数である。
- ⑤ ある物質の定積比熱の値は、定圧比熱の値より大きい。
- ⑥ ゲージ圧とは、大気圧に対する差圧のことである。
- ⑦ 圧力の国際単位系(SI)は atm である。
- ⑧ 軸仕事は、軸にかかる力と回転角度の積である。
- ⑨ 熱を持続的に仕事に 100%変換し続けることは、理論的にも不可能である。
- ⑩ カルノーサイクルの熱効率は、他の条件が同じであれば、作動流体が空気の方が水素よりも大きい。

(2) ピストン-シリンダーから構成される容器中に作動流体としての気体が封入されている系を考える。はじめ(状態 1 とする)圧力 p_1 、体積 V_1 、温度 T_1 だったピストン内の作動流体は、圧力 p_1 に保たれながら体積が 2 倍に膨張した(状態 2 とする)。作動流体は理想気体とし、気体定数を R 、定圧比熱を c_p としたとき、以下の物理量を表す式を答えなさい。なお、式はここまでの問題文で示された記号(p_1 , V_1 , T_1 , R , c_p)または数値を用いて答えること。

- ① 作動流体の質量 m
- ② 状態 2 の温度 T_2
- ③ 質量 m の作動流体が状態 1 から 2 へ変化する際に外部にする仕事 L_{12}
- ④ 質量 m の作動流体が状態 1 から 2 へ変化する際に外部から受ける熱量 Q_{12}
- ⑤ 質量 m の作動流体が状態 1 から 2 へ変化する際の内部エネルギーの変化量 dU
- ⑥ 質量 m の作動流体が状態 1 から 2 へ変化する際のエントロピーの変化量 ΔS

(次ページへつづく)

(前ページからのつづき)

(3) 理想気体を作動流体とするカルノー熱機関が、温度 T_H の高温熱源と温度 T_L の低温熱源の間で作動している。この熱機関は、以下の 4 つの準静的過程から構成される。

1. 等温膨張 (温度 T_H 、吸熱 Q_H)
2. 断熱膨張
3. 等温圧縮 (温度 T_L 、排熱 Q_L)
4. 断熱圧縮

作動流体の質量を m 、気体定数を R としたとき、以下の問いに答えなさい。ただし、数字の添字はそれぞれの準静的過程に対応する。

- ① 1 サイクルで外部に対して行う仕事量 W を、 Q_H および Q_L を用いて表しなさい。
- ② カルノー熱機関の熱効率 η_{Carnot} を、 T_H および T_L を用いて表しなさい。
- ③ カルノーサイクル中の等温膨張過程における吸熱量 Q_H を、 n 、 R 、 T_H および体積変化比 V_2/V_1 を用いて表しなさい。
- ④ 断熱膨張および等温圧縮過程において、体積比 V_2/V_1 と V_3/V_4 の関係を式で表しなさい。必要であれば、比熱比 γ を用いてもよい。
- ⑤ 上記①～④の結果を用いて、1 サイクルでの仕事 W を、 m 、 R 、 T_H 、 T_L および体積比 V_2/V_1 の関数として表しなさい。

(次ページへつづく)

(前ページからのつづき)

B2

(1) 以下の文章中の (ア) から (コ) に適切な式、数値、あるいは語句を記入しなさい。ただし、(イ)、(エ)、(ク) は選択肢の中から1つ選ぶこと。

- ① 粘性係数の次元は、SI 単位系で表すと (ア) である。水の粘性係数は、温度の上昇に伴い (イ) {増加する・減少する・変化しない}。
- ② 動粘性係数の次元は、SI 単位系で表すと (ウ) である。標準状態下の空気と水を比較すると、(エ) {空気・水} の動粘性係数の方が低い値を示す。
- ③ レイノルズ数は (オ) と粘性力の比を表す無次元量である。マッハ数は流速と (カ) の比を表す無次元量である。
- ④ x 方向の速度成分 $u = cx$ 、 y 方向の速度成分 $v = -cy$ をもつ2次元の速度場 \mathbf{V} を考える (c は定数)。この速度場の発散は $\nabla \cdot \mathbf{V} =$ (キ) であるから、この流れは (ク) {圧縮・非圧縮・非定常} 流れと分類される。この速度場に対応する加速度場の x 成分、 y 成分はそれぞれ $a_x =$ (ケ)、 $a_y =$ (コ) と書ける。

(2) 図 B2-1 のように、水平に置かれた2本の円管 (断面積 A_1) が、のど部 (断面積 A_2) をもつベンチュリー管を介して接続されている。密度 ρ の水がその管内を定常的に流れている。上流側の円管とベンチュリー管ののど部との間に、密度 ρ_M の水銀を封入したマンオメータが鉛直下向きに接続されており、マンオメータの読みは H であった。重力加速度を g とする。以下の各設問に答えなさい。

- ① 上流側の円管部の平均流速 V_1 を、のど部における平均流速 V_2 、 A_1 、 A_2 を用いて表しなさい。
- ② 管中心軸に沿って、上流側の円管部の圧力 p_1 およびのど部の圧力 p_2 を定義する。マンオメータの読み H から、この2点間の圧力差 $p_1 - p_2$ を求めなさい。
- ③ この管内流れに対する摩擦の影響は無視できるものと仮定の上、体積流量 Q を A_1 、 A_2 、 ρ 、 ρ_M 、 H 、 g を用いて表しなさい。導出過程も示すこと。

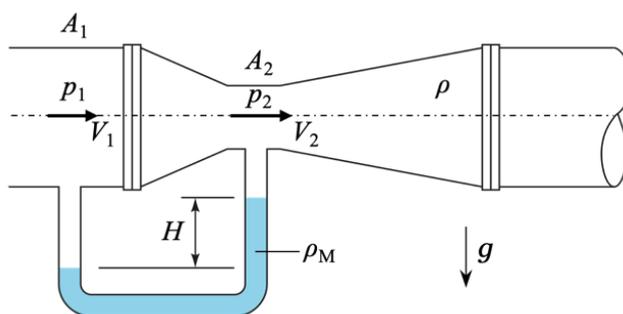


図 B2-1

(次ページへつづく)

(前ページからのつづき)

- (3) 図 B2-2 のように、内径 $2R$ の円管が水平方向 (z 軸) に沿って置かれており、一定の圧力こう配 ($\partial p / \partial z$) のもと、管内の流体は完全発達状態の層流として流れている。円筒座標系 (r, θ, z) におけるナビエ・ストークスの式の z 成分は、以下のように書ける。

$$\rho \left(\frac{\partial V_z}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_z}{\partial r} + \frac{V_\theta}{r} \frac{\partial V_z}{\partial \theta} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial V_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} \right]$$

ρ は密度、 (V_r, V_θ, V_z) は流速ベクトルの (r, θ, z) 成分、 p は圧力、 μ は粘性係数である。以下の各設問に答えなさい。

- ① 問題文で設定した仮定のもと、ナビエ・ストークスの式の z 成分を簡略化しなさい。
- ② 簡略化したナビエ・ストークスの式から流速分布 $V_z(r)$ を導出の上、その最大流速 V_{\max} を求めなさい。導出過程も示すこと。
- ③ 円管断面に対する平均流速 V_{ave} を求め、最大流速 V_{\max} とそれを比較しなさい。

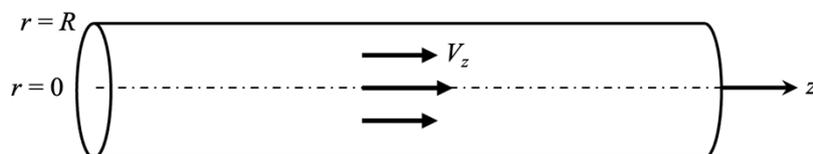


図 B2-2

G2. (小論文問題)

自身の卒業研究について、以下の問いに答えなさい。

- (1) 研究題目 を答案用紙の 1 行目に記しなさい。
- (2) その 研究意義 について 10 行以内で論じなさい。
- (3) なぜ本大学院にて研究をしたいと考えたのかを論じなさい。できるかぎり卒業研究に関連させて、15 行以内で論じなさい。

解答にあたっては、(1) ～ (3) を文頭に明記し、行を空けずに詰めて書くこと。また、解答欄の余った下の行には、図表等を示して解答文に引用してもよい。

* なお、卒業研究に相当する科目がない場合はその旨を最初に明記し、(1) については、自身の最も興味がある研究対象について、その研究対象名を述べること。(2) と (3) については、その研究に関して上記同様に論じること。