

専門基礎（90分）

（機械工学課程）

〔注意事項〕

1. 監督者の指示があるまで、この問題用紙と解答用紙を開いてはいけません。
2. 問題は、4ページからなっています。また、解答用紙は4枚あります。監督者から解答開始の合図があったら、問題用紙、解答用紙を確認し、落丁・乱丁および印刷の不鮮明な箇所などがあれば、手をあげて監督者に知らせなさい。
3. 解答用紙には、受験番号を記入する欄がそれぞれ2箇所ずつあります。監督者の指示に従って、すべての解答用紙（合計4枚）の受験番号欄（合計8箇所）に受験番号を必ず記入しなさい。
4. この問題用紙の白紙と余白は、適宜下書きに使用してよろしい。
5. 解答は、必ず解答用紙の指定された場所（問題番号が対応する解答欄の中）に記入しなさい。なお、指定された場所以外や、裏面への解答は採点対象外になります。
6. 解答用紙は持ち帰ってはいけません。
7. この問題用紙は、持ち帰りなさい。

I

図1はガスタービンの構成図であり、その基本サイクルをブレイトンサイクルと呼ぶ。ここでは理想的なサイクルを考え、その P - V 線図(P :圧力, V :体積)と T - S 線図(T :温度, S :エントロピー)をそれぞれ図2と図3に示す。このサイクルは、断熱圧縮(状態1→2)、等圧加熱(状態2→3)、断熱膨張(状態3→4)、等圧放熱(状態4→1)の4つの過程で構成される。動作流体は理想気体(定圧比熱: C_p , 定積比熱: C_v , 比熱比: $\kappa=C_p/C_v$)とし、質量は1kgとする。ただし、比熱比 κ は温度に依存せず一定とする。

- (1) 加熱量 Q_1 を、 T_2 , T_3 , C_p を用いて表しなさい。
- (2) 放熱量 Q_2 を、 T_1 , T_4 , C_p を用いて表しなさい。
- (3) 圧縮機がする仕事 W_c を、 T_1 , T_2 , C_p を用いて表しなさい。
- (4) タービンがする仕事 W_T を、 T_3 , T_4 , C_p を用いて表しなさい。
- (5) 有効仕事 W を、 T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , C_p を用いて表しなさい。
- (6) 理論熱効率 η_{th} を、 P_1 , P_2 , κ を用いて表しなさい。

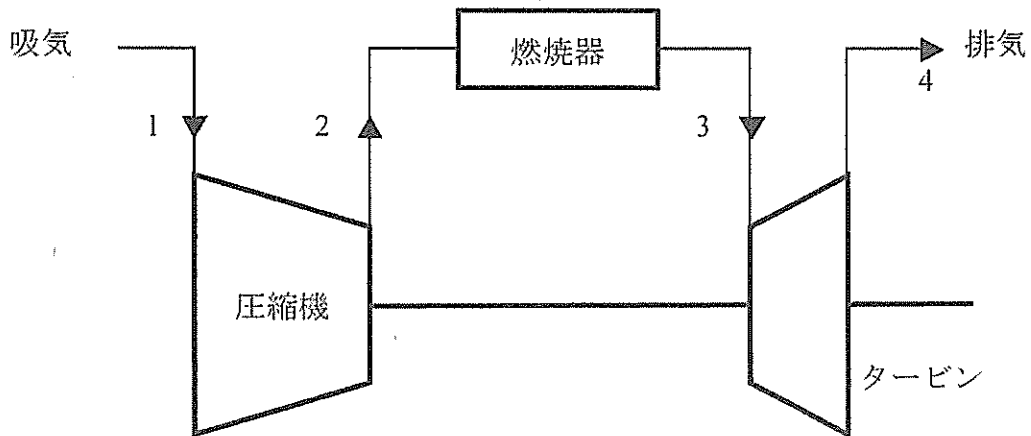


図1

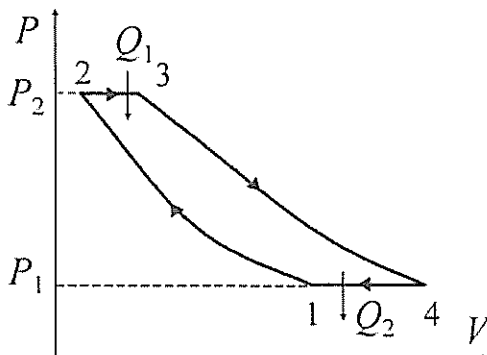


図2

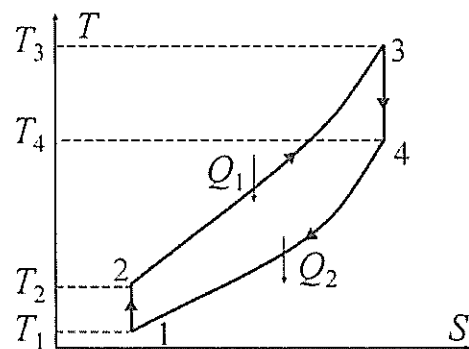


図3

II

図1に示すような縦弾性係数 E 、全長 L_0 の段付き丸棒の引張り・圧縮について考える。段付き丸棒の AB 間の断面積は S 、BC 間の断面積は $2S$ とし、初期状態において AB 間と BC 間は同じ長さとする。段付き丸棒の断面 A が固定された状態として、以下の問いに答えなさい。ただし、重力の影響は考えなくてよい。

- (1) 図2のように段付き丸棒の上端（断面 C）に鉛直上向きの力 P を負荷したときの段付き丸棒の全長 L_1 を求めなさい。
- (2) 図3のように段付き丸棒の上端（断面 C）に鉛直上向きの力 P を負荷した状態で段部（断面 B）に鉛直下向きの力 F を負荷する。段付き丸棒の全長 L_2 を求めなさい。
- (3) 次にこの状態で段付き丸棒の上端（断面 C）も固定し、 P および F を取り除いた（図4）。AB 間に生じる応力を求めなさい。
- (4) 問(3)のとき、AB 間の長さは全長（AC 間の長さ）の半分であった。力を取り除く前に段部（断面 B）に負荷されていた鉛直下向きの力 F と上端（断面 C）に負荷されていた鉛直上向きの力 P の関係を求めなさい。

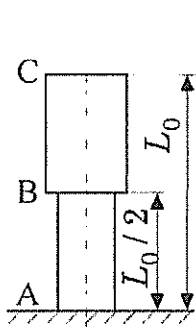


図1

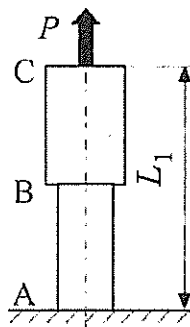


図2

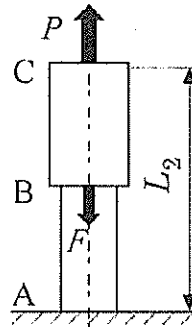


図3

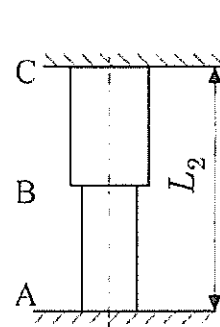


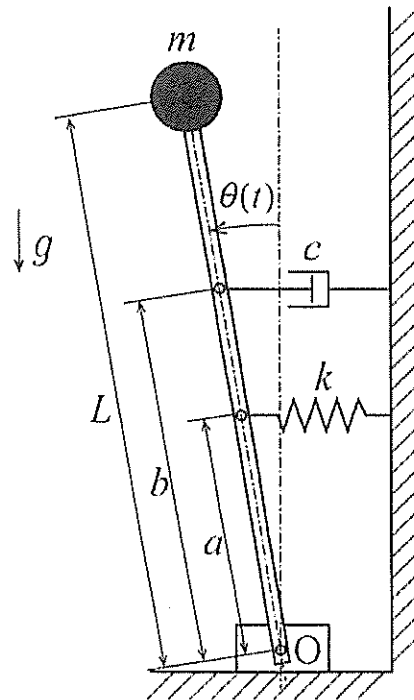
図4

III

図のように、長さ L の棒の下端 O を回転自由な支点とし、上端に質量 m の質点を固定した系を考える。支点から距離 a の点と壁面との間にばね定数 k のばねを水平に取り付け、質点が支点の真上にあるときにばねが自然長になるよう調整する。さらに、支点から距離 b の点と壁面との間に粘性減衰係数 c のダッシュポットを水平に取り付ける。棒の回転角 $\theta(t)$ は、質点が支点の真上にあるときをゼロとして、反時計回りの向きを正として定義する。棒の質量と変形、およびばねとダッシュポットの質量は無視できるとし、また、ばねとダッシュポットの取り付け点および支点まわりの回転に伴う摩擦は無視できるとし、重力加速度を g とする。

いま、棒に微小な初期回転角 θ_0 を与え、時刻 $t=0$ で静かに放したとする。このときの系の挙動について、以下の問いに答えなさい。

- (1) 棒の回転角 $\theta(t)$ は微小であるとして、 $\theta(t)$ に関する運動方程式を求めなさい。
- (2) 棒の回転角 $\theta(t)$ が時間とともにゼロに収束するために a が満たすべき条件を求めなさい。
- (3) 問(2)の条件のもとで、この系が過減衰になるために b が満たすべき条件を求めなさい。
- (4) 問(2)および問(3)の条件が同時に満たされるとき、この系の固有振動数 ω_n と減衰比 ζ を求めなさい。また、このときの回転角応答 $\theta(t)$ を求め、固有振動数 ω_n と減衰比 ζ を用いた式で表しなさい。



IV

図のように、断面積 A_0 を有する水槽の側面に、断面積が A_1 および A_2 の短い細管が上下2本取り付けられており、それぞれの細管は管中心が地面から h_1 および h_2 の高さに位置している。水槽の上部には断面積が A_3 の給水管が設置され、水槽の液面高さ h_0 が一定に保たれるよう、管出口において流速 u_3 で水槽に水を注いでいる。また、水槽液面および細管は大気に開放されており、細管から大気中へ水が放出される。ここで、上下の細管から放出する液体の流速をそれぞれ u_1 および u_2 とすると、上下の細管から放出された水は放物線状の軌跡を描いた後、水平方向にそれぞれ x_1 および x_2 離れた地点に着地する。このとき、以下の問いに答えなさい。ただし、重力加速度を g とし、摩擦や空気抵抗などによるエネルギー損失は全て無視できるものとする。

- (1) u_3 を u_1 および u_2 を用いて表しなさい。
- (2) 断面積 A_1 および A_2 が A_0 に対して十分小さい場合、上下の細管から放出された水の着地距離 x_1 および x_2 を、 u_1 および u_2 を用いて表しなさい。
- (3) 給水管からの給水を止めると、ある時間経過後に上下の細管から放出された水の各々の着地距離 x_1 および x_2 が等しくなった。その時の水槽の液面高さ h_3 を、 h_1 および h_2 を用いて表しなさい。
- (4) その後さらに給水を止めたまま上下細管からの水の放出を続けると、一定時間経過後、上の細管からの放出が停止し、そこから時間 T 経過後に下の細管からの放出も停止した。時間 T を h_1 、 h_2 、 A_0 および A_2 を用いて表しなさい。

