

整理番号	2021年度4月入学（2020年度10月入学含む）東京農工大学工学府博士前期課程	〔機械システム工学 専攻〕
13	問題用紙 専門科目	

5枚のうち1

受験番号	MC-
------	-----

注意事項（重要なことを記しているのので、試験が始まる前に読んでおくこと）

- ◎ この問題用紙は全部で5枚からなっている。留め金具を外さないこと。
- ◎ 本用紙（問題用紙 5枚のうち1）には、注意事項が記されている。
- ◎ 「解答始め」の指示の後、全ての問題用紙に受験番号を記入すること。
- ◎ 各問題に対する解答は、対応する解答用紙に記入すること。
- ◎ 解答用紙の冊子の表紙（解答用紙 5枚のうち1）にも重要な注意事項が記されている。試験が始まる前に読んでおくこと。
- ◎ 問題用紙の冊子、解答用紙の冊子はいずれも「解答始め」の指示があるまで、開いてはならない。
- ◎ 問題用紙、解答用紙、および下書き用紙はすべて試験終了後に回収する。いずれも持ち帰ってはならない。

5枚のうち2

受験番号 MC-

1

図 1-1 に示すように、ワイヤの一端が滑車に固定して巻き付けられており、他端におもりが吊り下げられている。滑車とモータは交換可能な伝動軸で連結され、伝動軸は滑車に回転力のみ伝えることができる。モータが回転してワイヤが巻き上げられたとき、伝動軸にはおもりによってねじりトルク T が負荷される。伝動軸には 2 種類の丸棒があり、共に材料のせん断弾性係数は G 、許容せん断応力は τ_a で、一方の中実丸棒 A の長さは l_A で最小の外径は d_A 、他方の中空丸棒 B の長さは l_B で最小の外径は d_B 、内径は $0.5d_B$ である。円周率を π とし、以下の問いに導出過程も含めて答えよ。なお必要であれば、直径 d の中実丸棒の断面二次極モーメントが $\pi d^4 / 32$ で与えられることを利用しても良い。

- (1) 中実丸棒 A の極断面係数を、 d_A 、 G 、 T 、 π の中から必要な記号を用いて表せ。
- (2) 中実丸棒 A の最小の外径 d_A を、 τ_a 、 G 、 T 、 π の中から必要な記号を用いて表せ。
- (3) 中空丸棒 B の最小の外径 d_B を、中実丸棒 A の外径 d_A を用いて表せ。
- (4) 同じねじりトルク T が負荷された中実丸棒 A と中空丸棒 B のそれぞれのねじれ角が等しいとき、中実丸棒 A の長さ l_A を d_A 、 d_B 、 l_B を全て用いて表せ。
- (5) 中実丸棒 A が毎分 2400 回転して 300 kW の動力を伝達するため必要な最小の外径 d_A を有効数字 3 桁で求めよ。ただし、許容せん断応力 τ_a を 60 MPa とし、 $\sqrt[3]{1/\pi^2}$ の近似値が 0.466 であることを利用しても良い。

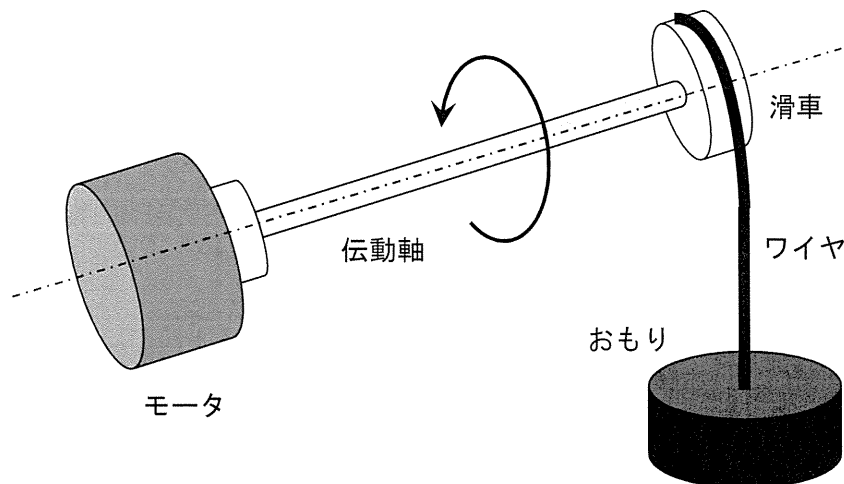


図 1-1

5 枚のうち 3

受験番号 MC-

2

図 2-1 に示すように、水平面に対して α 傾斜した面に、半径 a 、質量 m の円柱が置かれ、その中心軸は質量の無視できるばね定数 k のばねで支えられている。円柱は中心軸周りに滑らかに回転する。円柱の重心点 O 周りの慣性モーメント I は式(1)で与えられる。円柱と斜面の接線は図では点 P を含む紙面に垂直な線となる。以下の問いに答えよ。(答えのみ記述すればよい)

$$I = \frac{1}{2} m a^2 \quad : \text{式(1)} \quad \text{なお、重力加速度は } g \text{ とする。}$$

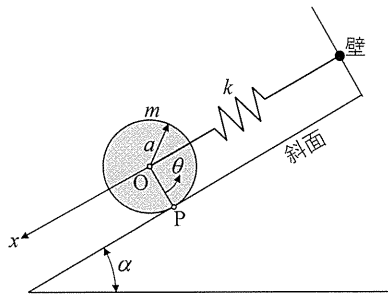


図2-1

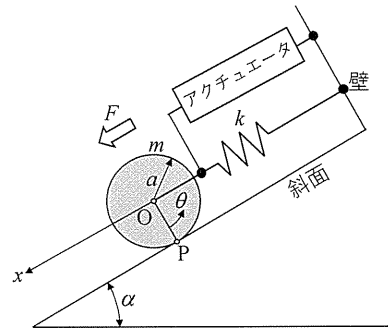


図2-2

- (1) 円柱と斜面の接線(図では点 P を含む紙面に垂直な線)を回転軸とする慣性モーメント I_p を求めよ。なお、解答に I や I_p が含まれる場合は、式(1)や本問(1)の結果を代入して使わず、記号 I 、 I_p をそのまま使って記述すること。
- (2) 図 2-1 においてつり合い状態を原点とし、図のように斜面に沿って x 軸を定義し、回転角度を θ とする。図の矢印の方向を正方向と定義する。 x と θ の関係を示せ。
- (3) 図 2-1 において、ある初期変位を与えて静かに放すと、円柱は斜面と滑らずに転がりながら斜面上を振動する。この場合の円柱重心位置 x に関する運動方程式を示せ。
- (4) 上問(3)の系の固有角振動数 ω_n を示せ。
- (5) 図 2-2 では、ばね力と同じ方向の力 F を印加できるアクチュエータを取り付けた。力 F の正方向は x の正方向と同じとする。アクチュエータは系に対して力 F を加えるだけであり、それ以外は系の運動を拘束しない。力 F に対する x の伝達関数を、初期値ゼロ、ラプラス演算子を s として求めよ。
- (6) $x=x_1$ になるように式(2)の制御をした。制御された系の減衰比と、固有角振動数 ω_n を求めよ。

$$F = -k_1(x - x_1) - k_2 \frac{dx}{dt} \quad : \text{式(2)}$$

- (7) 図 2-1 においてばねを取り外すと、円柱は左斜め下方に等加速度運動する。(case1) 斜面と円柱の間に摩擦がなく回転しないで滑り落ちる場合と、(case2) 斜面と円柱が滑ることなく回転しながら転がり落ちる場合の加速度を比較すると、case1 (滑る) の加速度は case2 (転がる) の何倍か?

5 枚のうち 4

受験番号 MC-

3

図 3-1 のような断面積が S である容器に、高さ H まで水を入れる。時刻 0 において容器の下面に断面積 S_0 の小さな穴をあける。このとき、穴の大きさは容器の断面積に比べて十分小さいとし、また摩擦などによる損失を無視でき、水の流れにはベルヌーイの式が成り立つとして、以下の問いに答えよ。ただし大気圧はいたるところ一定とし、重力加速度は g と書くことにする。

- [1] 時刻 0 において、穴からの水が流れ出る速度を求めよ。
- [2] 容器内の水がすべて流れ去るまでにかかる時間を求めよ。

次に図 3-2 のような 2 つの同じサイズの容器 A、B が U 字管でつながれている状況を考える。ここで容器 A および B の断面積は S であり、U 字管の直線部における断面積は S_0 であるとする。この系内部に密度 ρ_1 および ρ_2 の 2 種類の液体を封入し、容器 A、B にそれぞれ圧力 P_A 、 P_B のガスを注入している。ただし 2 種類の液体については $\rho_1 < \rho_2$ で互いに交じり合わず、密度 ρ_2 の液体については U 字管内部のみに存在していると仮定する。

- [3] 図中の高さの差 h をもう一つの高さの差 H および 2 つの断面積 S 、 S_0 を用いて表せ。ただし、 $P_A = P_B$ のとき $h = H = 0$ であるとする。
- [4] 系の左右での圧力の釣り合いを考えることにより、高さの差 H を h を用いずに求めよ。なお、解答には S 、 S_0 、 ρ_1 、 ρ_2 、 P_A 、 P_B のうちから必要な記号を用いよ。

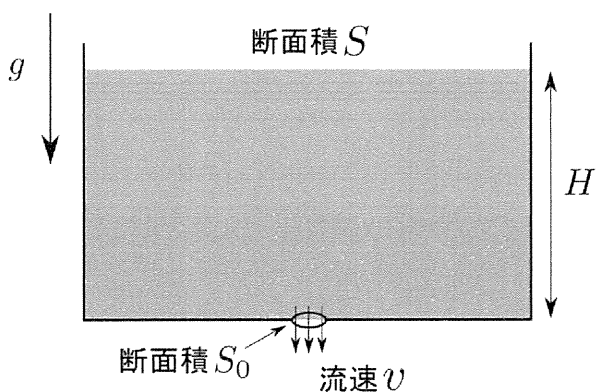


図 3-1

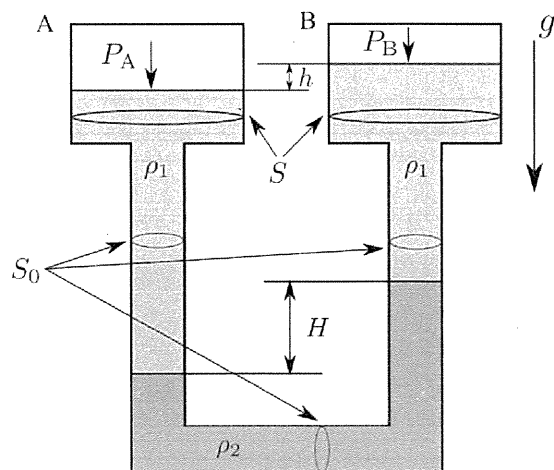


図 3-2

5枚のうち5

受験番号 MC-

4

図 4-1 に示す温度 T (縦軸)-比エントロピー s (横軸)の線図のサイクルについて考える. ここで図中の数字(1, 2, 3, 4)は各状態点を表し, 1→2 は等温圧縮過程, 2→3 は等積加熱過程, 3→4 は等温膨張過程, 4→1 は等積冷却過程である. このサイクルの作動流体は理想気体であり, それぞれの過程で準静的変化をするものとする. 作動流体の定積比熱 c_v [J/(kgK)], 気体定数 R [J/(kgK)], 状態 1, 3 の温度 T_1, T_3 [K], 状態 1, 2 の比体積 v_1, v_2 [m³/kg]の中から必要なものを用いて以下の問いに答えよ. なお小問(2), (5)a で使用する記号についてはそれぞれの指示を優先すること. また, 解答用紙には解答のみを示すこと.

- (1) このサイクルの圧力 P -比体積 v の線図を描け. 各頂点には状態の番号 1~4 も示すこと.
- (2) このサイクルが外部にすることができる作動流体単位質量当たりの仕事 w [J/kg]を求めよ. なお, 1→2 と 4→1 の作動流体単位質量当たりの放熱量 q_{12} および q_{41} [J/kg]と, 2→3 と 3→4 の作動流体単位質量当たりの吸熱量 q_{23} および q_{34} [J/kg]のみを用いること.
- (3) 2→3 および 4→1 の各過程における作動流体単位質量当たりの吸熱量 q_{23} および放熱量 q_{41} を求めよ. ただし解答には $c_v, R, T_1, T_3, v_1, v_2$ から必要なものを用いること.
- (4) 1→2 および 3→4 の各過程における作動流体単位質量当たりの放熱量 q_{12} および吸熱量 q_{34} を求めよ. ただし解答には $c_v, R, T_1, T_3, v_1, v_2$ から必要なものを用いること.
- (5) 等積過程での放熱量 q_{41} を吸熱量 q_{23} に全て再利用可能である場合を考える.
 - a. q_{12}, q_{23}, q_{34} および w から必要なものを用いてこのサイクルの熱効率 η [-]を答えよ.
 - b. $q_{12}, q_{23}, q_{34}, q_{41}$ および w を用いずに熱効率 η を答えよ.
 - c. このサイクルの熱効率 η と, 同じ T_3, T_1 を課した際のカルノーサイクルの熱効率 η_c [-]の大小関係を述べよ.

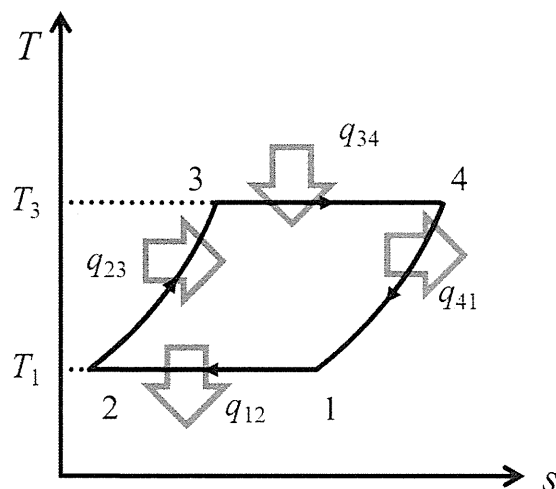


図 4-1