整理番号
6

2023 年度４月入学　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）

問　題　用　紙　　専門科目

５枚のうち　１枚目

受験番号	MC -

注意事項　（重要なことを記しているので、試験が始まる前に読んでおくこと）

- 「解答はじめ」の指示があるまで、問題用紙の冊子を開いてはならない。
- 解答用紙の冊子は裏返したままとしておくこと。
- 問題用紙、解答用紙、および下書用紙は留め金具を用いて綴じられた冊子となっている。この留め金具を外さないこと。
（問題用紙の冊子は５ページ、解答用紙の冊子は４ページ、下書用紙の冊子は３ページからなる）
- 本用紙（問題用紙［５枚のうち１枚目］）には、注意事項が記されている。
- 問題用紙［５枚のうち２枚目］から［５枚のうち５枚目］まで、各ページの左上に記された［１］から［４］までの数字が大問の問題番号を意味する。
- 「解答はじめ」の指示の後、この問題用紙の冊子の全ページの上部指定欄、解答用紙の冊子の全ページの上部指定欄、および下書用紙の冊子の全ページの上部指定欄に受験番号を記入すること。
- 解答は問題用紙に記された大問番号に対応した解答用紙に記入すること。問題用紙や下書用紙への記入は採点対象とはならない。
- 問題用紙、解答用紙、および下書用紙はすべて試験終了後に回収する。持ち帰ってはならない。
- 電卓、定規の使用は認めない。

受験番号	MC -

1

中実丸棒の両端を，鉛直に立った動かない柱に固定して水平な「両端固定梁」を作る．この梁が柱に固定された左端をＡ点，右端をＢ点とし，両端間の間隔は l [m]とする．梁の長さ方向の中心に位置するＣ点に対し P [N]の下向きの集中荷重を作用させた時の梁のたわみを求める問題に関係して以下の設問に答えなさい．なお，解答用紙の図に示されているような座標軸をあてはめ，梁の曲線形状は関数 $y(x)$ で表されるものとしなさい．なお，梁の自重に伴う力とたわみは無視しなさい．

［１］Ａ点，Ｂ点での力だけでは計算できない構造であることを表した用語を答えなさい．
［２］Ａ点ならびにＢ点に作用する反力 R_A，R_B を，Ｃ点に加えた荷重 P を用いてそれぞれ表すとともに，３つの力を解答用紙の図中に矢印で図示しなさい．
［３］梁の材料の弾性率が E[Pa]，断面二次モーメントが I [m^4]である場合において，曲げモーメント M [Nm]によって梁に生じる曲率の関係式を示しなさい．
［４］題意の梁におけるたわみを求める解法に利用できる式と原理に関係するキーワードを５つ以内で答えなさい．
［５］梁のＡＣ間またはＣＢ間の位置において仮想的な切断面を考え，断面に作用する力に関して SFD と呼ばれる線図を作図し，SFD の英語綴りと日本語訳も示しなさい．
［６］梁の両端に作用する曲げモーメントの大きさ M_R を未知数として想定し，梁のＡＣ間またはＣＢ間の位置に設けた仮想的な切断面でのモーメント M を，それぞれ，P，l，x と M_R から必要なものを用いて書き表しなさい．正負は通例により定め，また，単位は省略しなさい．
［７］この梁において適用できる境界条件を書き出しなさい．
［８］［７］の条件から，［６］で未知数とした M_R の値を求めなさい．また，Ａ点，Ｂ点，Ｃ点における曲げモーメント M_A，M_B，M_C を求めなさい．単位は省略しなさい．
［９］［８］で求めた M_A，M_B，M_C を取り入れた曲げモーメント図を作図しなさい．
[10] 梁のたわみの最大値 δ_{max} [m]を求めなさい．
[11] [10] で求めた δ_{max} は，同じ中実丸棒で構成された「単純梁」のたわみの最大値の何倍にあたりますか．
[12] 中実丸棒と同じ断面積を持ち，外径が内径の1.5倍の同心円断面のパイプで置き換える場合，パイプの外直径は中実丸棒の直径の何倍にあたりますか．
[13] [12] に記述したパイプの両端固定梁におけるたわみの最大値は，中実丸棒の両端固定梁のたわみの最大値の何倍にあたりますか．

受験番号	MC -

2

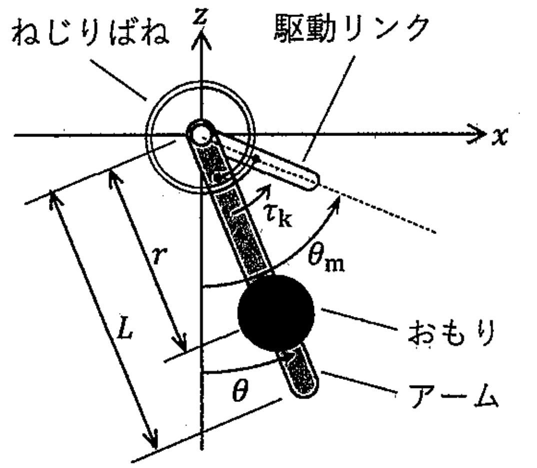

図２－１：おもり付きアーム

図２－１のように長さLで質量Mのアームがあり，回転中心からrの位置に質量mのおもりを固定できるようになっている．アームの質量は長さ方向に均等に分布し，おもりは質点とみなせるものとする．アームは原点を中心に回転し，回転角はz軸負方向から反時計回りにθとする．また，これとは別に原点を中心に回転できる駆動リンクがあり，その角度をz軸負方向から反時計回りにθ_mとする．駆動リンクとアームは，質量を無視できるねじりばね（$\tau_k = k(\theta - \theta_m)$ のトルクを発生するばね）で接続できるものとする．このとき以下の問いに答えよ．

［1］慣性モーメントは $\int_M r_m{}^2 dm$ として定義される．dmは微小質量，r_mは回転中心から微小質量までの距離であり，$\int_M$ は全質量にわたる積分を意味する．おもりを除いたアームのみの原点回りの慣性モーメントI_Pを計算せよ．ただし，上記定義式に当てはめた式から計算し，計算過程を含めること．

［2］図２－１のシステムを鉛直面内に設置した場合，次の各場合において，アームが左右に揺れる時のθに関する運動方程式を書き，θが微小な場合の周期を計算せよ．重力加速度はz軸負方向に大きさgであるとし，摩擦や粘性抵抗は無視してよい．答えに用いてよい文字は θ，M，m，L，r，I_P，g とする．

（２－１）おもりが無く（$m = 0$）ばねを取り外してある場合

（２－２）おもり付きアームと駆動リンクがばねで接続され，駆動リンクが$\theta_m = 0$に固定されている場合

［3］図２－１のシステムを水平面内に設置し，おもり付きアームと駆動リンクがばねで接続され，かつ，アームの角速度に比例した抵抗トルク（比例定数はc）がある場合，次の問いに答えよ．おもり付きアームの原点回りの慣性モーメント I_A を用いてよい．

（３－１）駆動リンクの角度 θ_m からアームの角度θまでの伝達関数を求めよ．

（３－２）駆動リンクを$\theta_m(t) = \theta_a \cos \omega t$で動かした場合，$\theta$の振幅と位相遅れを求めよ．

（３－３）アームの角度を目標値 θ_r にしようと，駆動リンクの角度を$\theta_m = K_p(\theta_r - \theta)$として比例制御するとき，目標値からアーム角度までの伝達関数を求めよ．

受験番号	MC -

3

図 3-1 に示すように，空間に固定した半径Rの十分に長い円管内に，粘度ηで密度ρの非圧縮性ニュートン流体が満たされている．円管断面の中央には，円管の直径に比べて無視できるほど小さい直径dで密度が7ρの球体が重力を受けている．重力加速度gの向きは円管の軸（長手）方向である．流れが定常状態の層流である状況を考える．また，球体表面でも円管の壁面でも滑りはないものとする．このとき，下の設問[1],[2]のすべてに答えよ．なお，円周率をπとし，解答は解答用紙の所定欄内に記入すること．

[1] 円管の両端が閉じていて，すべての壁面から球体が十分に遠い位置にあるため壁面の影響を無視できる場合を考える．

(1-1) 浮力を受けた球体が重力で下降する際の両者の合力の大きさを，π，η，ρ，d，gのうち必要な記号を用いて表せ．

(1-2) 下降速度vに比例する抵抗力$3\pi\eta dv$が球体に作用している場合の球体の終端速度の大きさを，π，η，ρ，d，gのうち必要な記号を用いて表せ．

[2] 円管の両端は開いており流体が鉛直下方から上向きに流れていて，管内断面における平均速度の大きさがUのポアズイユ流が形成されている場合を考える．

(2-1) 流速分布に対して球体の影響が無い場合の，円管内における流体の最大速度の大きさを，π，ρ，g，U，Rのうち必要な記号を用いて表せ．

(2-2) 管内流れにより球体が管内断面中央で静止している場合を考える．検査体積の設定により流体の管軸方向の圧力差が十分に小さい条件において，球体との相互作用による単位時間あたりの流体の運動量の減少が，速度の次元を持つVという量を用いて$\pi\rho d^2V^2$と表せたとする．このとき，球の直径dを，π，ρ，g，V，Rのうち必要な記号を用いて表せ．

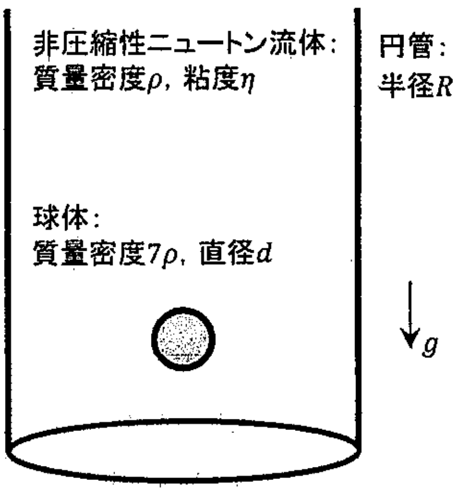

図 3-1

受験番号	MC -

4

理想気体を対象として，次の4つの可逆過程より構成されるオットーサイクルについて考える．ただし，mは気体の質量[kg]，Vは気体の体積[m^3]，εは圧縮比（$\equiv V_1/V_2$），Tは気体の絶対温度[K]，c_vは気体の定積比熱[J/(kg・K)]，γは$1<\gamma<2$を満たす気体の比熱比[−]，下付き数字は状態を表す（例えばV_1は状態1での体積を示す）．また，m，c_v，およびγは定数とする．以下の問いに答えよ．

状態1→状態2の過程A：断熱圧縮
状態2→状態3の過程B：等積加熱
状態3→状態4の過程C：断熱膨張
状態4→状態1の過程D：等積冷却

［1］　過程Bにおいて，気体が受け取る熱量Q_B (>0)を$m, \varepsilon, T_1, T_3, c_v, \gamma$の中から必要な文字を用いて表せ．答えのみで良い．

［2］　過程Dにおいて，気体が失う熱量Q_D (>0)を$m, \varepsilon, T_1, T_3, c_v, \gamma$の中から必要な文字を用いて表せ．答えのみで良い．

［3］　本サイクルにおいて，気体が外部になす正味の仕事量W (>0)を$m, \varepsilon, T_1, T_3, c_v, \gamma$の中から必要な文字を用いて表せ．答えのみで良い．

［4］　本サイクルにおいて，T_1，およびT_3が定数のとき，Wを最大にする圧縮比εをm, T_1, T_3, c_v, γの中から必要な文字を用いて表せ．導出過程も示せ．

［5］　［4］で求めた圧縮比εのとき，T_2，およびT_4をm, T_1, T_3, c_v, γの中から必要な文字を用いて表せ．答えのみで良い．