

2025 年 4 月入学
九州工業大学大学院工学府博士前期課程
一般選抜 第 2 回（一般型）

工学専攻 分野 5・6
(機械宇宙システム工学・電気宇宙システム工学)

物 理

2024 年 11 月 23 日 (土)
13:00～15:00

注意事項

- 開始の合図があるまで，この面を上にして本紙を閉じておくこと
- 開始の合図後，解答用紙が問題数分揃っているかを確認し，不備があれば
挙手して監督者に速やかに伝えること
- すべての解答用紙の所定欄に受験番号を記入すること
- 問題ごとに指定の解答用紙に解答すること
- 終了後，解答用紙のみを回収するので，指示に従うこと
- 本紙は持ち帰ってよい

図 1-1 に示すように、半径 a 、質量 M の薄い円板が水平面に対し θ の傾斜をもつ台の上に置かれているとする。座標系 xy は図に示すように設定したとき、以下の設問に解答せよ。なお導出の過程は省略せず、明瞭に記述すること。

- (1) 円板の重心軸周りの慣性モーメント I を微小領域の慣性モーメントの積分を用い求めよ。
- (2) 円板が斜面からの抗力 R 、摩擦力 F を受ける。回転角を ψ としたときの円板の、 x, y, ψ に対する運動方程式をそれぞれ記述せよ。なお重力加速度は g とすること。
- (3) 円板が滑らずに転がる時、円板が転がった距離と回転角の関係から、円板の x 軸方向の加速度と円板の角速度の関係を示せ。
- (4) 静止摩擦係数を μ として、設問 (2) で求めた運動方程式と設問 (3) で求めた関係を用いて、円板が滑らないための θ の条件を求めよ。

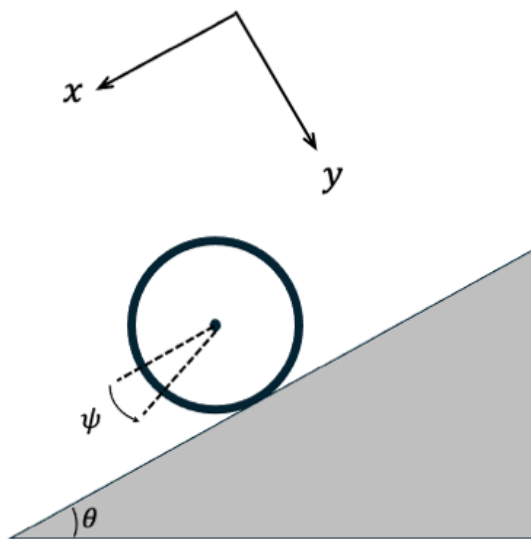


図 1-1

摩擦のないピストンのついたシリンダー中の理想気体の状態を変化させた。その際に行った熱力学的操作に関する以下の各設問に解答せよ。気体の量を n [mol]、気体定数を R [J / mol K]、定積モル比熱を C_v とし、これらの記号および圧力、体積、温度を表す添字付きの V [m³]、 T [K] を用いて単位をつけて解答せよ。導出過程において他の記号を必要とする場合は、定義を行った上で使用し、導出結果には用いないこと。

- (1) n [mol] の理想気体について、状態 A (P_1 [Pa]、 T_1 [K]、 V_1 [m³]) から状態 B (P_2 [Pa]、 T_2 [K]、 V_2 [m³]) へ準静的に断熱膨張させたとき、この気体がした仕事 W_1 を導出せよ。解答の導出は、ピストンの面積を a 、 x 軸方向に移動するピストンの移動の始点を b_1 、終点を b_2 とした以下の式から開始し、 a 、 x 、 b_1 、 b_2 の各記号は導出結果には用いないこと。

$$\int_{b_1}^{b_2} P a \, dx$$

- (2) n [mol] の理想気体について、温度を T_2 [K] に保ったまま、状態 B (P_2 [Pa]、 T_2 [K]、 V_2 [m³]) から状態 C (P_3 [Pa]、 T_2 [K]、 V_3 [m³]) へ準静的に膨張させたとき、この気体がした仕事 W_2 を導出せよ。解答の導出は、ピストンの面積を a 、 x 軸方向に移動するピストンの移動の始点を b_2 、終点を b_3 とした以下の式から開始し、 a 、 x 、 b_2 、 b_3 の各記号は導出結果には用いないこと。

$$\int_{b_2}^{b_3} P a \, dx$$

- (3) 設問 (1) における気体の内部エネルギー変化 ΔU_1 を求めよ。
- (4) 設問 (2) における気体の内部エネルギー変化 ΔU_2 を求めよ。
- (5) 状態 A → B → C の過程で理想気体が吸収する熱量 ΔQ を求めよ。導出過程において、 ΔQ を W_1 、 W_2 、 ΔU_1 、 ΔU_2 を用いた式で記述すること。

図 3-1 に示すように、 x 軸の正方向に一様な磁場 $\vec{B}$ 中に矩形導線 $CDEF$ を配置した。矩形導線の辺 CD と辺 EF の中点を通る中心軸 PQ は z 軸と平行である。辺 CD と x 軸方向（及び磁場方向）との成す角が θ であるとき、以下の設問に解答せよ。導出の過程は省略せず、明瞭に記述すること。

設問(2)と(3)については、辺 CD (辺 EF) の長さ a 、辺 DE (辺 CF) の長さ b 、電流 i 、角度 θ 、磁場 B のいずれかのみ（導出過程において変数・係数を定義してもよいが、最終解答には使用しないこと）を用いて答えること。

- (1) 微小電流線素 $i d\vec{l}$ と磁場 $\vec{B}$ を用いて、微小電流線素が受ける力 $d\vec{F}$ を書き表しなさい。
- (2) 設問(1)の答えを用い、積分することによって矩形導線の辺 CD 、辺 DE 、辺 EF 、および辺 CF が受ける力の大きさとその方向（図 3-1 中に示す x 軸・ y 軸・ z 軸の正・負方向）を求めよ。
- (3) 矩形導線が中心軸 PQ 回りに受けるモーメントの大きさ N と方向を設問(2)の答えを用いて求めよ。ただしモーメントの正方向は図 3-1 中に示す方向とする。

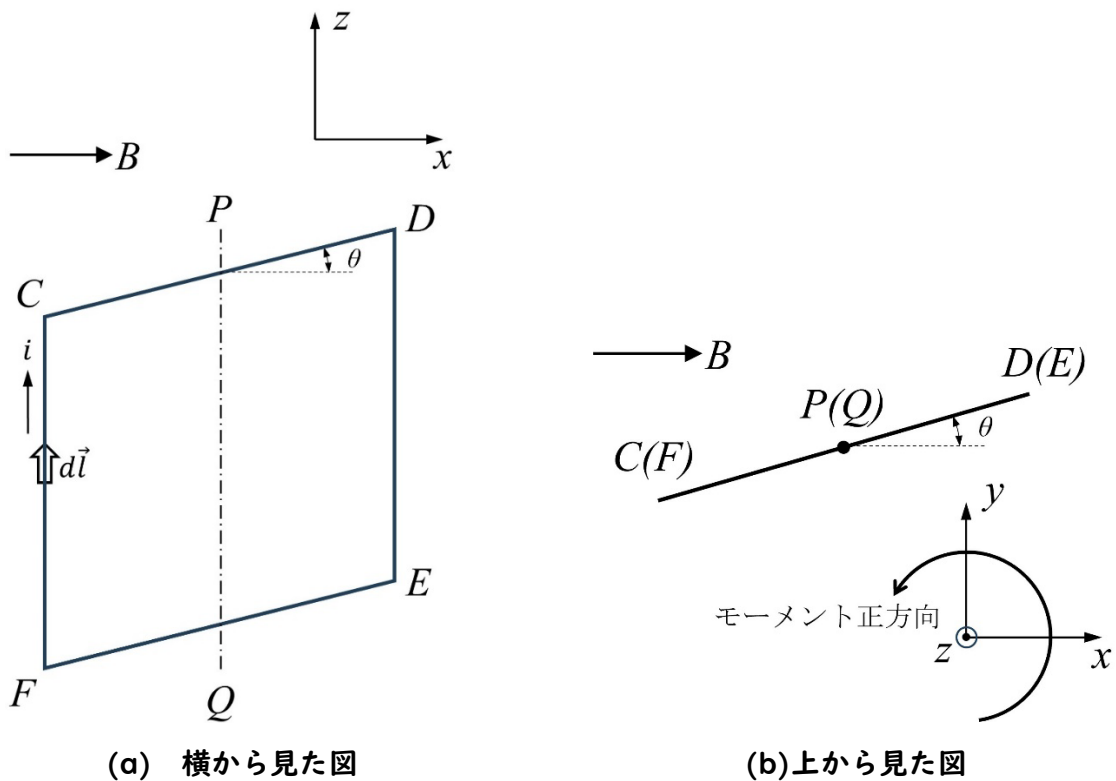


図 3-1



$$(1) \ I = \frac{1}{2}Ma^2$$

$$(2) \ M\ddot{x} = Mg \sin \theta - F$$

$$0 = -R + Mg \cos \theta$$

$$I\ddot{\psi} = \frac{1}{2}Ma^2\ddot{\psi} = Fa$$

$$(3) \ \ddot{x} = a\ddot{\psi}$$

$$(4) \ \tan \theta < 3\mu$$

摩擦のないピストンのついたシリンダー中の理想気体の状態を変化させた。その際に行った熱力学的操作に関する以下の各設問に解答せよ。気体の量を n [mol]、気体定数を R [J / mol K]、定積モル比熱を C_v とし、これらの記号および圧力、体積、温度を表す添字付きの P [Pa]、 V [m³]、 T [K] を用いて単位をつけて解答せよ。導出過程において他の記号を必要とする場合は、定義を行った上で使用し、導出結果には用いないこと。

- (1) n [mol] の理想気体について、状態 A (P_1 [Pa]、 T_1 [K]、 V_1 [m³]) から状態 B (P_2 [Pa]、 T_2 [K]、 V_2 [m³]) へ準静的に断熱膨張させたとき、この気体がした仕事 W_1 を導出せよ。解答の導出は、ピストンの面積を a 、 x 軸方向に移動するピストンの移動の始点を b_1 、終点を b_2 とした以下の式から開始し、 a 、 x 、 b_1 、 b_2 の各記号は導出結果には用いないこと。

$$\int_{b_1}^{b_2} P a \, dx$$

定圧モル比熱を C_p とし、比熱比 $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ とすると

$$\begin{aligned} W_1 &= \int_{b_1}^{b_2} P a \, dx = \int_{V_1}^{V_2} P \, dv = P_1 V_1^\gamma \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{V^\gamma} \, dv = P_1 V_1^\gamma \left[\frac{1}{1-\gamma} V^{1-\gamma} \right]_{V_1}^{V_2} \\ &= \frac{1}{1-\gamma} P_1 V_1^\gamma (V_2^{1-\gamma} - V_1^{1-\gamma}) = \frac{1}{1-\gamma} (P_2 V_2 - P_1 V_1) = \frac{nR}{\gamma-1} (T_1 - T_2) = \frac{nR C_v}{C_p - C_v} (T_1 - T_2) \\ &= n C_v (T_1 - T_2) \text{ [J]} \end{aligned}$$

- (2) n [mol] の理想気体について、温度を T_2 [K] に保ったまま、状態 B (P_2 [Pa]、 T_2 [K]、 V_2 [m³]) から状態 C (P_3 [Pa]、 T_2 [K]、 V_3 [m³]) へ準静的に膨張させたとき、この気体がした仕事 W_2 を導出せよ。解答の導出は、ピストンの面積を a 、 x 軸方向に移動するピストンの移動の始点を b_2 、終点を b_3 とした以下の式から開始し、 a 、 x 、 b_1 、 b_2 の各記号は導出結果には用いないこと。

$$\int_{b_2}^{b_3} Pa \, dx$$

$$W_2 = \int_{b_2}^{b_3} Pa \, dx = \int_{V_2}^{V_3} \frac{nRT_2}{v} dv = nRT_2 [\log v]_{V_2}^{V_3} = nRT_2 (\log V_3 - \log V_2) = nRT_2 \log \frac{V_3}{V_2} \quad [\text{J}]$$

(3) 設問 (1) における気体の内部エネルギー変化 ΔU_1 を求めよ。

$$\Delta U_1 = nC_v \Delta T = nC_v (T_2 - T_1) \quad [\text{J}]$$

(4) 設問 (2) における気体の内部エネルギー変化 ΔU_2 を求めよ。

$$\Delta U_2 = nC_v \Delta T = 0 \quad [\text{J}]$$

(5) 状態 $A \rightarrow B \rightarrow C$ の過程で理想気体が吸収する熱量 ΔQ を求めよ。導出過程において、 ΔQ を W_1 、 W_2 、 ΔU_1 、 ΔU_2 を用いた式で記述すること。

$$\Delta Q = W_1 + W_2 + \Delta U_1 + \Delta U_2 = nC_v (T_1 - T_2) + nRT_2 \log \frac{V_3}{V_2} + nC_v (T_2 - T_1) + 0 =$$

$$nRT_2 \log \frac{V_3}{V_2} \quad [\text{J}]$$

3

(1) $d\vec{F} = i d\vec{l} \times \vec{B}$

(2)

辺 CD が受ける力 $iaB \sin \theta$ z 軸の負の方向

辺 DE が受ける力 ibB y 軸の負の方向

辺 EF が受ける力 $iaB \sin \theta$ z 軸の正の方向

辺 CF が受ける力 ibB y 軸の正の方向

(3) $iabB \cos \theta$ モーメント負方向