物　　理

学　部	学　科(コース)	配　点
理工学部	化学・生命理工学科(化学コース)	450 点
	化学・生命理工学科(生命コース)，物理・材料理工学科，システム創成工学科(機械科学コース，社会基盤・環境コース)	300 点
	システム創成工学科(電気電子通信コース)	250 点
	システム創成工学科(知能・メディア情報コース)	400 点
農学部	植物生命科学科，応用生物化学科，森林科学科，食料生産環境学科，動物科学科	300 点
	共同獣医学科	200 点

注　意　事　項

1. 問題は，$\boxed{1}$ から $\boxed{5}$ までの計 5 問です。
2. $\boxed{1}$ から $\boxed{5}$ までのすべてを解答しなさい。
3. 解答用紙は，(5 の 1)から(5 の 5)までの計 5 枚です。解答は，すべて解答用紙の指定欄に記入しなさい。
4. 必ず解答用紙のすべてに，本学の受験番号を記入しなさい。
5. 印刷不鮮明およびページの落丁・乱丁等に気づいた場合は，手を挙げて監督者に知らせなさい。
6. 問題冊子の余白等は適宜利用してよい。
7. 試験終了後，問題冊子および計算用紙は持ち帰りなさい。

1 次の〔Ⅰ〕と〔Ⅱ〕について，説明を読みながら，問い(1)～(6)に答えよ。ただし，重力加速度の大きさをg〔m/s^2〕とする。

〔Ⅰ〕 図1のように，長さl〔m〕，質量m〔kg〕の一様な棒ABの左端Aを，鉛直に立てた摩擦のある壁に押し当てた。棒の右端Bには糸1をつけて糸の他端を天井の点Cに固定した。さらに棒の右端Bに糸2をつけて質量M〔kg〕のおもりをつり下げた。棒と糸1のなす角度はθ〔rad〕$\left(0 < \theta < \dfrac{\pi}{2}\right)$で，棒は水平を保ち静止している。棒と壁との間の静止摩擦係数をμとし，糸は軽くて伸びないものとする。

(1) 棒の左端Aのまわりの力のモーメントがつり合うことを考慮して，糸1の張力の大きさT〔N〕をg，m，M，θを用いて表せ。

(2) 棒が壁から受ける静止摩擦力の大きさF〔N〕をg，mを用いて表せ。

(3) 糸2の位置を棒の右端Bから左向きにゆっくり移動させたところ，右端Bからx〔m〕離れた位置で棒の左端Aがすべり始めた。すべり始める直前の棒が壁から受ける垂直抗力の大きさN〔N〕をg，l，m，M，μ，xを用いて表せ。

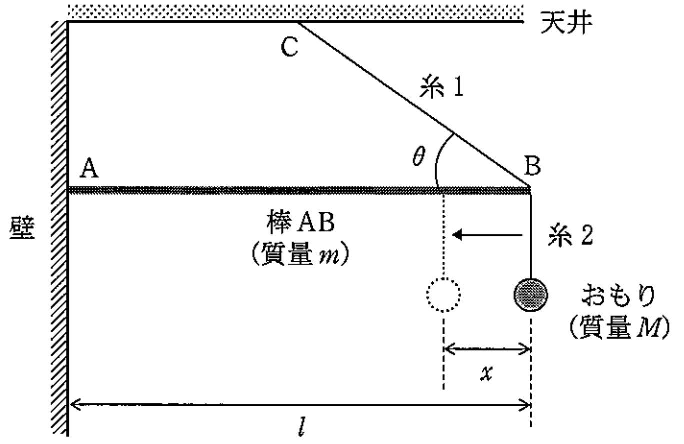

図1

〔II〕 図2のように，摩擦のない水平な床と階段がつながっている。階段の一段の高さと幅はともにl〔m〕である。床の上には一端を壁に固定したばね定数k〔N/m〕の軽いばねと，質量m_1〔kg〕の小物体および質量m_2〔kg〕の小球($m_2 > m_1$)が置かれている。小物体をばねに押し付け，自然長からx〔m〕縮めて静かに放したところ，ばねが自然長に戻ったところで小物体はばねから離れ，床の上を右向きに速さv_1〔m/s〕で運動した。その後，小物体は離れた場所に静止していた小球と非弾性衝突し，左向きにはね返った。ここでは小物体と小球の間の反発係数(はね返り係数)eとし，小物体と小球の大きさおよび空気抵抗は無視できるものとする。

(4) v_1をk，m_1，xを用いて表せ。

(5) 前述のように，衝突後に小物体が左向きにはね返るためには，eがある値より大きい必要がある。その値をm_1，m_2を用いて表せ。

衝突された小球は，床の上を右向きに速さv_2〔m/s〕で運動後，床から飛び出した。

(6) 階段の二段目に小球が直接到達したとする。そのために必要なv_2の範囲と，床を飛び出してから二段目に到達するまでの時間t〔s〕を，それぞれg，lを用いて表せ。

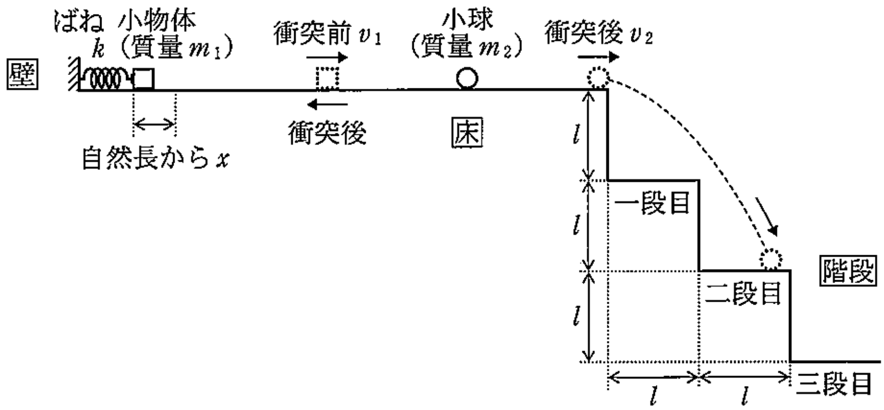

図2

2 次の文中の $\boxed{(ア)}$ ～ $\boxed{(ス)}$ に入る適切な式または値を，また，$\boxed{①}$ ～ $\boxed{⑧}$ に入るA～Fの記号を答えよ。なお，$\boxed{}$ はすでに $\boxed{}$ で与えられたものと同じものを表す。

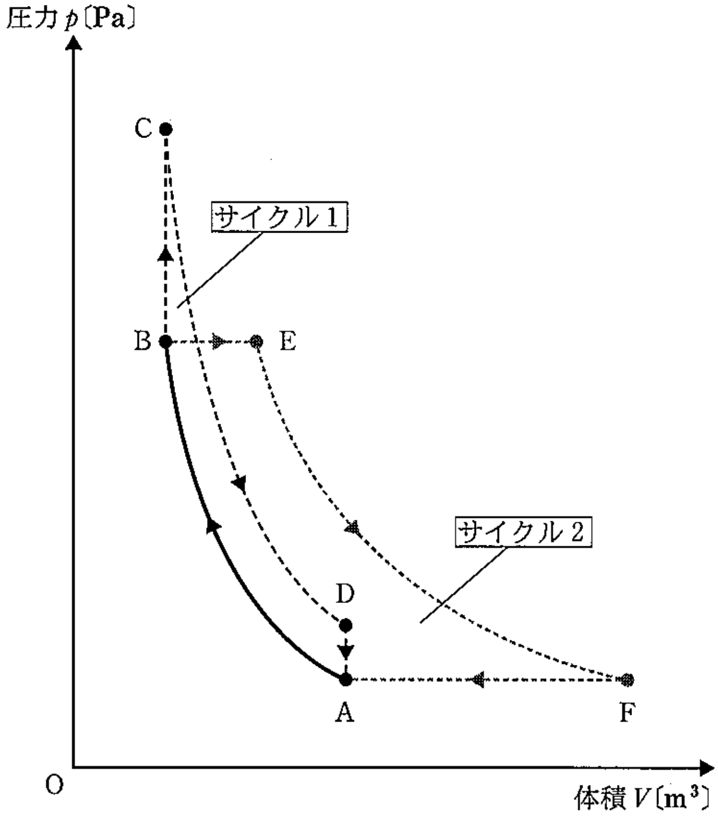

図3

単原子分子理想気体1 molの状態を図3のように，A→B→C→D→Aの順にゆっくりと変化させる場合(サイクル1)と，A→B→E→F→Aの順にゆっくりと変化させる場合(サイクル2)を考える。A→B，C→D，E→Fは断熱変化，B→C，D→Aは定積変化，B→E，F→Aは定圧変化である。気体定数を R〔J/(mol·K)〕，状態A，B，C，D，E，Fの温度をそれぞれ T_A〔K〕，T_B〔K〕，T_C〔K〕，T_D〔K〕，T_E〔K〕，T_F〔K〕とする。なお，単原子分子理想気体の定積モル比熱 C_V〔J/(mol·K)〕，定圧モル比熱 C_p〔J/(mol·K)〕はそれぞれ $\frac{3}{2}R$，$\frac{5}{2}R$ である。

A→B(断熱)，B→C(定積)，B→E(定圧)の各過程において気体が受け取った熱量 Q〔J〕，内部エネルギーの変化 ΔU〔J〕，および気体がした仕事 W〔J〕を，R，T_A，T_B，T_C，T_E のうち必要なものを用いてそれぞれ表すと，表 1 のように整理できる。

表 1

	気体が受け取った熱量 Q〔J〕	内部エネルギーの変化 ΔU〔J〕	気体がした仕事 W〔J〕
A→B(断熱)	(ア)	(イ)	(ウ)
B→C(定積)	(エ)	(オ)	(カ)
B→E(定圧)	(キ)	(ク)	(ケ)

ここでサイクル 1 について考える。A→B，B→C，C→D，D→A の中で気体が熱を受け取る過程は ① → ② ，気体が熱を放出する過程は ③ → ④ なので，サイクル 1 の熱効率 e_1 を T_A，T_B，T_C，T_D を用いて表すと $e_1 =$ (コ) となる。ここで，断熱過程では圧力 p〔Pa〕，体積 V〔m³〕，比熱比 $\gamma = \dfrac{C_p}{C_V}$ の間に「$pV^{\gamma} =$ 一定」という関係が成り立つことを用いると，T_D は T_A，T_B，T_C を用いて $T_D =$ (サ) と表すことができる。$e_1 =$ (コ) と $T_D =$ (サ) より，e_1 は T_A，T_B だけを用いて $e_1 =$ (シ) と表すことができる。つまり，サイクル 1 の熱効率は状態 A と状態 B が決まれば一意に定まることがわかる。

次にサイクル 2 について考える。A→B，B→E，E→F，F→A の中で気体が熱を受け取る過程は ⑤ → ⑥ ，気体が熱を放出する過程は ⑦ → ⑧ なので，サイクル 2 の熱効率 e_2 を T_A，T_B，T_E，T_F を用いて表すと $e_2 =$ (ス) となる。ここでも断熱過程では「$pV^{\gamma} =$ 一定」の関係を用いると，e_2 は T_A，T_B だけを用いて $e_2 =$ (シ) と表すことができる。すなわち，サイクル 2 の熱効率も状態 A と状態 B が決まれば一意に定まることがわかる。

以上より，サイクル 1 のような断熱過程と定積過程から成るサイクル(オットーサイクル)とサイクル 2 のような断熱過程と定圧過程から成るサイクル(ブレイトンサイクル)を比較すると，図 3 のように断熱圧縮過程 A→B が同じであれば両者の熱効率が等しいことがわかる。

3 次の〔Ⅰ〕と〔Ⅱ〕について，説明を読みながら，以下の問い(1)~(9)に答えよ。

〔Ⅰ〕 図4のように，真空中のxy平面上(座標の単位はmとする)の点P$(-a,\ a)$，点Q$(a,\ a)$，点R$(a,\ -a)$ $(a>0$とする$)$にそれぞれ電気量q〔C〕，$-4q$〔C〕，q〔C〕$(q>0)$の点電荷を固定した。クーロンの法則の比例定数をk_0〔N·m^2/C^2〕とし，電位の基準点は無限遠にとるものとする。また，重力の影響は考えなくてよい。

(1) 点P，Q，Rのそれぞれの点電荷が点S$(-a,\ -a)$につくる電場の大きさE_P〔N/C〕，E_Q〔N/C〕，E_R〔N/C〕を求めよ。

(2) 点Sにおける電場の大きさE_S〔N/C〕を求めよ。

(3) 点Sの電位V_S〔V〕，および原点Oの電位V_O〔V〕を求めよ。

次に，質量m〔kg〕，q〔C〕の点電荷を点Sに置き，静かに手を離したところ，この点電荷は原点Oに向かって移動し始めた。

(4) この点電荷が点Sから原点Oへ移動するとき，静電気力がする仕事W〔J〕をq，V_S，V_Oを用いて表せ。

(5) この点電荷が原点Oを通過するときの速さv〔m/s〕をm，q，a，k_0を用いて表せ。

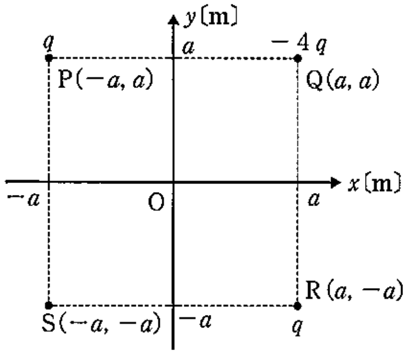

図4

〔Ⅱ〕 図5のように，十分に長い2本の平行導線1，2を，真空中のxy平面上の原点Oと点P(d, 0)に垂直に固定した。導線1には電流I〔A〕が，導線2には電流$2I$〔A〕が，ともに紙面に垂直に表から裏に向かう向き(図中の記号⊗)に流れている。ここで，真空の透磁率をμ_0〔N/A^2〕とし，円周率をπとする。

(6) 点Q$\left(\frac{3}{2}d,\ 0\right)$における磁場の強さ$H$〔A/m〕を求めよ。また，その向きを図中の(ア)～(エ)より選んで記号で答えよ。

(7) x軸上で磁束密度の大きさが0となる点のx座標を求めよ。

(8) 導線1を流れる電流は，導線2を流れる電流がつくる磁場から力を受ける。導線1の電流の単位長さあたりにはたらく力の大きさF〔N/m〕を求めよ。

(9) (8)ではたらく力は引力か斥力か答えよ。

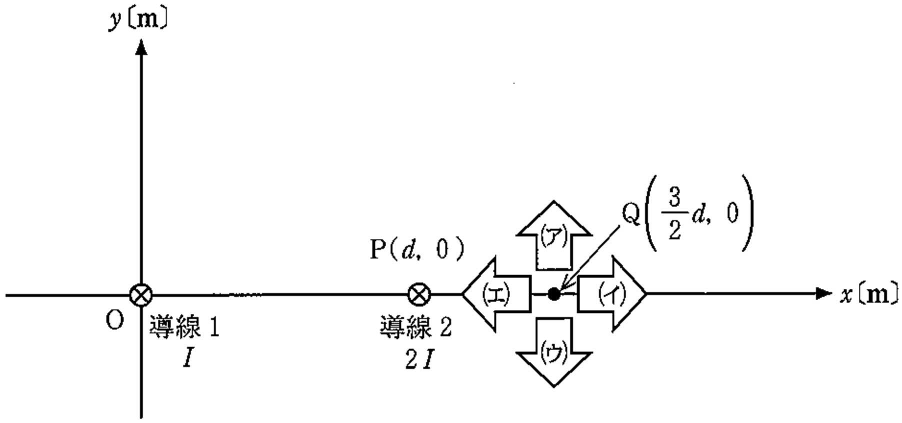

図5

4 次の〔Ⅰ〕と〔Ⅱ〕について，説明を読みながら，以下の問い(1)～(8)に答えよ。

〔Ⅰ〕 x 軸の正の向きに速さ 2.0 **m/s** で進む正弦波がある。図 6 は時刻 $t = 0$ **s** での波形を表しており，横軸は位置 x〔**m**〕，縦軸は媒質の変位 y〔**m**〕を示している。

この波の振幅は $\boxed{\text{(ア)}}$ **m** で，波長は $\boxed{\text{(イ)}}$ **m** である。また，波の周期は $\boxed{\text{(ウ)}}$ **s** で，振動数は $\boxed{\text{(エ)}}$ **Hz** である。

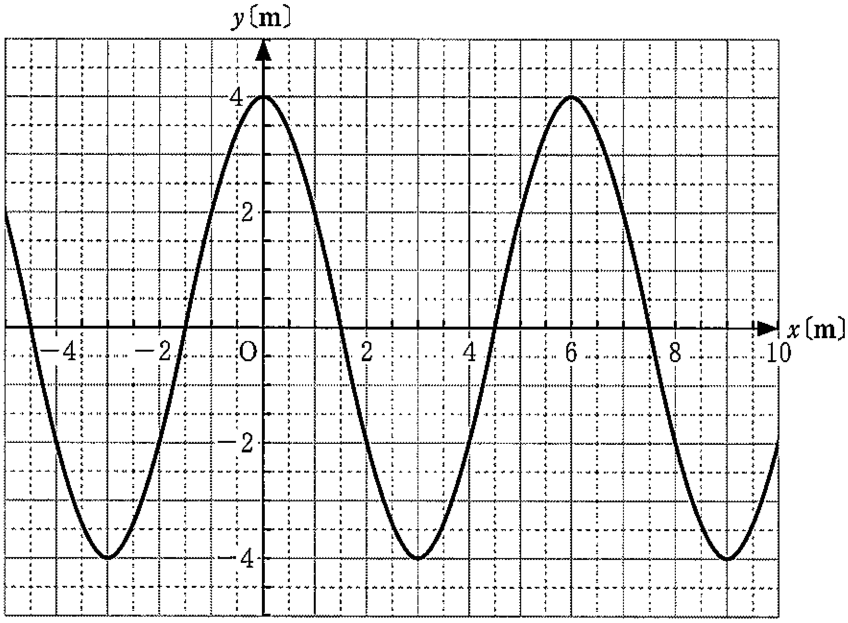

図 6

(1) 空欄 $\boxed{\text{(ア)}}$ ～ $\boxed{\text{(エ)}}$ に適切な数値を入れよ。なお，数値は有効数字 2 桁で示せ。

(2) 位置 x〔**m**〕，時刻 t〔**s**〕における変位 y〔**m**〕を表す式を書け。ただし，円周率を π とする。

(3) 位置 $x = 5.0$ **m** での媒質の変位を $t = 0 \sim 8$ **s** の範囲で $y - t$ 図に描け。

〔Ⅱ〕 回折格子を利用して，箱型の簡易分光器を作製した。図7のように，回折格子に目を当てて箱の中をのぞき込みスリットを光源に向けると，スリットから離れた場所に虚像の明線が見える。

箱の中に光のスペクトルが観察されるこの現象は，障害物の背後に回り込む波の $\boxed{\text{(オ)}}$ という性質，また，波が重なり振動を強め合ったり弱め合ったりするという波の $\boxed{\text{(カ)}}$ といった性質で説明される。つまり，光が波の性質を持つということである。

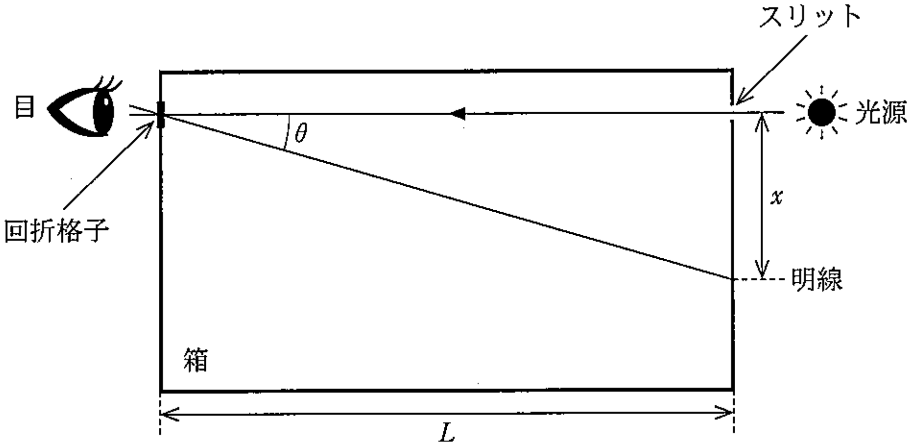

図7

(4) 空欄 $\boxed{\text{(オ)}}$ ， $\boxed{\text{(カ)}}$ に適切な語句を入れよ。

(5) 単色光の弱い光源を観察すると，スリットから距離 x〔cm〕離れた場所に最初の明線（1次の明線）が見られた。格子定数（回折格子の筋と筋の間隔）を d〔cm〕，回折格子から見てスリットと明線がなす角を θ〔rad〕とする。単色光の波長 λ〔cm〕を d，θ，x のうち必要なものを用いて表せ。

(6) 箱の長さ（スリットから回折格子までの水平距離）を L〔cm〕とする。(5)の単色光の波長 λ を d，x，L を用いて表せ。

(7) 1.0 cm あたり 5000 本の溝が等間隔に刻まれている回折格子と，$L = 24$ cm の箱を用いたところ，$x = 6.0$ cm の位置に単色光の最初の明線が観察された。この光の波長は何 cm か数値で求めよ。なお数値は，$|a|$ が 1 に比べて十分に小さいときの近似式 $(1 + a)^n \fallingdotseq 1 + na$ を用いて，$\left(\dfrac{x}{L}\right)^2$ が 1 に比べて十分に小さいとして計算し，有効数字 2 桁で示せ。

(8) 以下の空欄 $\boxed{\text{(キ)}}$ に入る適切な語句を下の(A)～(D)から選び記号で答えよ。

この簡易分光器で蛍光灯を見ると，赤色から紫色まで何本かの光の線スペクトルが観察された。スリットに近い側に見えるのは $\boxed{\text{(キ)}}$ である。

(A) 紫色に比べて波長の長い赤色
(B) 紫色に比べて波長の短い赤色
(C) 赤色に比べて波長の長い紫色
(D) 赤色に比べて波長の短い紫色

5 次の〔Ｉ〕と〔Ⅱ〕について，説明を読みながら，問い(1)～(6)に答えよ。ただし，重力加速度の大きさを g〔$\mathbf{m/s^2}$〕，円周率を π とし，空気抵抗は無視できるものとする。

〔Ｉ〕 図８のように，直方体でモデル化した自動車が半径 r〔m〕の円形の水平なコース上を等速円運動している。自動車と運転者の合計の質量は M〔kg〕で，重心Ｇに集中しているものとする。自動車がコースの外側に押し出されることを妨げる摩擦力の最大値は，自動車と路面の静止摩擦係数 μ と垂直抗力の積で表すことができるものとする。また，自動車は運動中に路面から浮き上がらないものとする。

(1) 角速度を ω〔rad/s〕としたとき，自動車の速さ v_0〔m/s〕とコースを１周するために必要な時間 t〔s〕を，それぞれ g，r，M，ω のうち必要なものを用いて表せ。

(2) (1)のとき，重心Ｇに作用する遠心力の大きさ F_1〔N〕を，g，r，M，v_0 のうち必要なものを用いて表せ。

(3) 自動車が回転半径 r の円運動を維持するための速さの上限 v_1〔m/s〕を，g，r，M，μ のうち必要なものを用いて表せ。

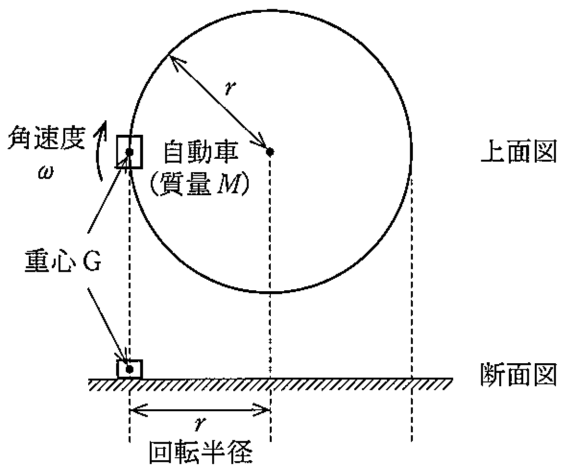

図８

〔II〕 図9のように，水平に対してθ〔rad〕$\left(0 < \theta < \frac{\pi}{2}\right)$だけ傾いたすりばち状の路面があり，〔I〕と同じ自動車が半径r〔m〕のコース上を等速円運動している。路面の材質は〔I〕と同じで，自動車にはたらく摩擦力の最大値も〔I〕と同じように考えることができるものとする。また，$\mu \tan\theta < 1$の条件が成り立ち，自動車は運動中に路面から浮き上がらないものとする。ここで，図のように重心Gを原点としてx軸とy軸をそれぞれ斜面に平行と垂直にとり，矢印の向きを正方向とした座標軸を考える。

(4) 重心Gに作用する遠心力の大きさをF_2〔N〕($F_2 > 0$)とする。重心Gに作用する遠心力と重力のx軸およびy軸方向の成分と，自動車が路面から受ける垂直抗力の大きさN〔N〕を，g，M，θ，F_2のうち必要なものを用いて表せ。

(5) x軸の正方向に摩擦力が生じるためにはF_2がある値より大きい必要がある。その値を，g，r，M，θのうち必要なものを用いて表せ。

(6) 回転半径rの円運動を維持するための速さの上限をv_2〔m/s〕とする。すりばち状と水平な路面での速さの上限の比$\frac{v_2}{v_1}$を，g，r，M，μ，θのうち必要なものを用いて表せ。

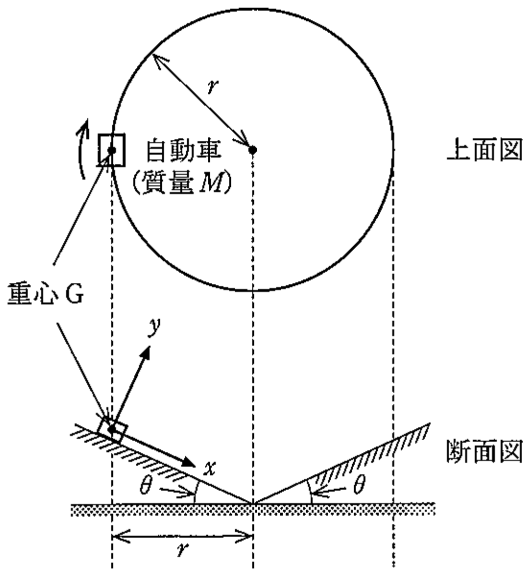

図9