

物理

●工学部（電子情報工学科／電気工学科）
●情報工学部（情報工学科／情報通信工学科／システムマネジメント学科）

（3教科型・2月9日実施分）

（解答：66ページ）

（解答はすべて、別紙解答用紙の解答欄に記入せよ。）

解答用紙の**計算**と書かれた枠内には、解答の導出過程で用いた計算や考え方を書くこと。

1 質量 m で長さ d の辺を持つ直方体の積み木が、水平な床の上に置かれている。積み木は一樣な剛体で、積み木の重心を通る鉛直線を、ここでは中心線と呼ぶことにする。以下の図中ではこの中心線を破線（-----）で表す。重力加速度の大きさを g として、以下の問いに答えよ。

(1) 床から積み木にはたらく垂直抗力の大きさを求め、 m 、 d 、 g のうち必要なものを用いて答えよ。

この積み木の上面の右端の中点 P（図1）を、大きさ mg の力で鉛直下向きに押した。

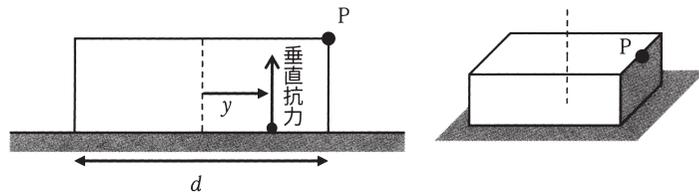


図1

(2) 床から積み木にはたらく垂直抗力の大きさを求め、 m 、 d 、 g のうち必要なものを用いて答えよ。

(3) 力のモーメントのつり合いの式を立てて垂直抗力の作用点を調べると、その作用点は中心線から距離 y だけ離れていることが分かる。 y を求め、 m 、 d 、 g のうち必要なものを用いて答えよ。

次に、この積み木をずれないように2段重ね、図2のように上段の積み木を距離 $\frac{d}{2}$ だけ右にずらして静止させた。

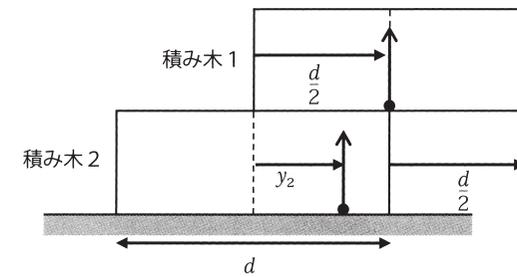


図2

(4) 積み木2から積み木1にはたらく垂直抗力の大きさ N_1 を求め、 m 、 d 、 g のうち必要なものを用いて答えよ。

(5) 床から積み木2にはたらく垂直抗力の大きさ N_2 と、その作用点の積み木2の中心線からの距離 y_2 を求め、それぞれ m 、 d 、 g のうち必要なものを用いて答えよ。

さらに、この積み木を n 段重ね、図3のようにそれぞれの積み木を右方向にずらし
て静止させた。図に示すように、上から k 段目の積み木 k の右端面とその下の積み
木 $(k+1)$ の右端面の間の距離を x_k とする。また、積み木 k の底面にはたらく垂
直抗力の作用点の、積み木 k の中心線からの距離を y_k とする。ここでは、積み木
1 の重心が積み木 n の重心から最も遠くなるように、すべての積み木をそれぞれ
右方向に適当な距離だけずらした状況を考える。

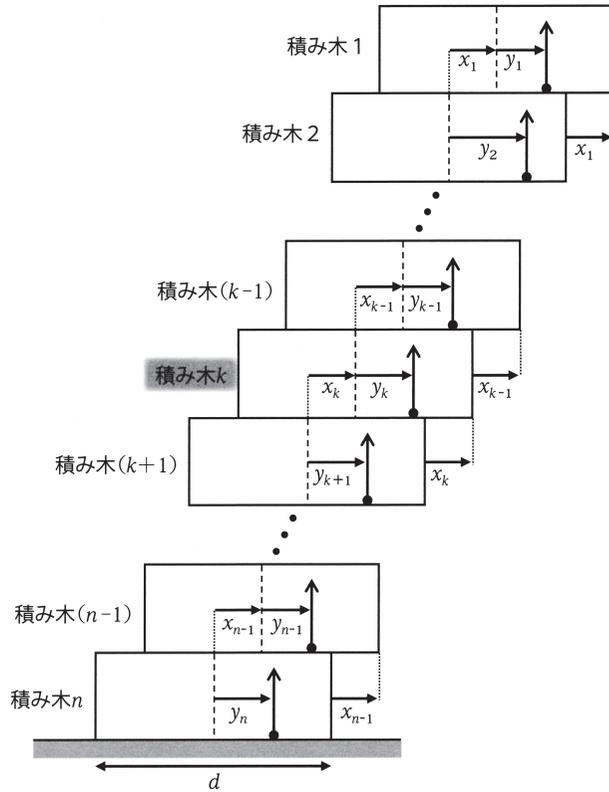
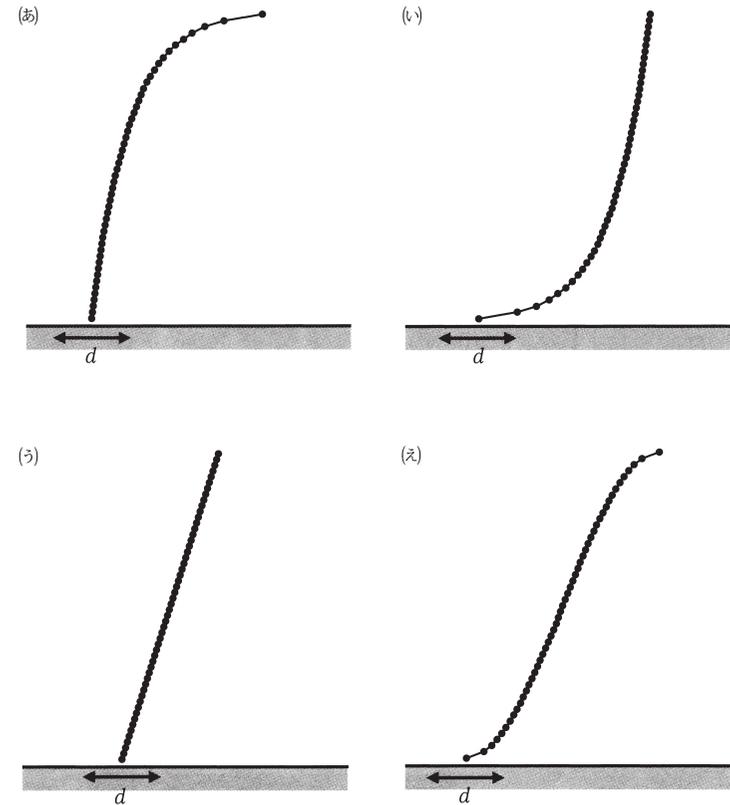


図3

(6) 上から k 段目の積み木 k の底面にはたらく垂直抗力の大きさ N_k を求め、 m , d ,
 g , k のうち必要なものを用いて答えよ。

(7) x_k を求め、 m , d , g , k のうち必要なものを用いて答えよ。ただし、次のこと
に注意するとよい。ある段の積み木 k が落下しないためには、積み木 k の底
面にはたらく垂直抗力の作用点が、その下の積み木 $(k+1)$ の上面内になけ
ればならない。今考えているような積み木 k が落下しない限界では、この作用
点が、その下の積み木 $(k+1)$ の上面のちょうど右端に位置することになる。
このことから、 $x_k + y_k = \frac{d}{2}$ の関係が成立する。

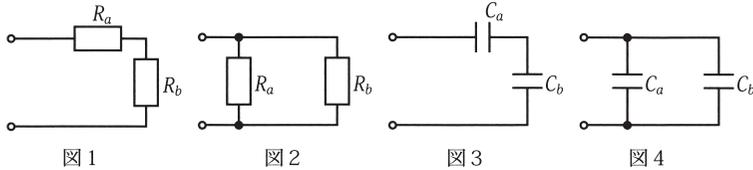
(8) 最上段の積み木の重心が最下段の積み木の重心から最も遠くなるように、すべ
ての積み木をそれぞれ適当な距離だけずらして重ねたとき、すべての積み木の
重心(●)を結んだ図として、最も適当なものを次の(あ)~(え)の中から選び、記
号で答えよ。



2 合成抵抗や合成容量に関する次の問いに答えよ。ただし、記号 R_a , R_b , R は抵抗を、 C_a , C_b , C は電気容量を表すものとし、導線の抵抗や電池の内部抵抗を無視する。また回路を作る前のコンデンサーには電荷は蓄えられていないものとする。

(1) 図1～4の回路の合成抵抗や合成容量について正しいものをそれぞれ選び、記号で答えよ。

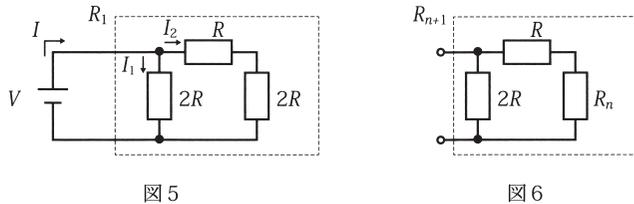
- (ア) $R_a + R_b$ (イ) $\frac{R_a R_b}{R_a + R_b}$ (ウ) $C_a + C_b$ (エ) $\frac{C_a C_b}{C_a + C_b}$



(2) 図5のように3つの抵抗を起電力 V の電池につないだ。図5の電流 I_1 , I_2 をそれぞれ V , R を用いて答えよ。

(3) 図5において起電力 V を電流 $I = I_1 + I_2$ で割ることで、図の点線部における合成抵抗 $R_1 = \frac{V}{I}$ を定義する。 R_1 を R を用いて答えよ。

(4) 次に、図5の抵抗を一つだけ抵抗値 R_n の抵抗に変えた図6の回路における合成抵抗 R_{n+1} を R と R_n を用いて答えよ。



(5) 図7のように抵抗 R , $2R$ からなる回路をくりかえし接続していくことを考える。このように回路を非常に長くすると合成抵抗はある値 r に近づく。この回路全体の合成抵抗 r は抵抗 R_{n+1} と R_n が等しいとした方程式を解くと求められる。具体的には問(4)において、 $R_{n+1} = r$, $R_n = r$ とした方程式を r について解くと求められる。その答えを R を用いて記せ。ただし合成抵抗が正、つまり $r > 0$ であることに気をつけよ。

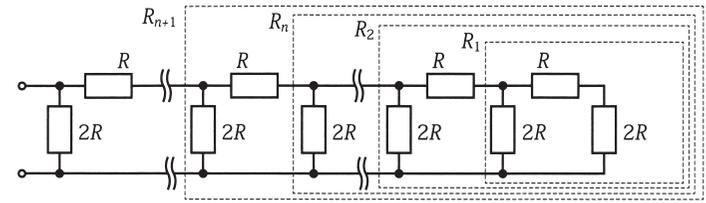


図7

次に図7の抵抗を図8のようにコンデンサーに置き換える。

(6) 図8のように回路を非常に長くすると合成容量はある値に近づく。この回路全体の合成容量は、問(5)の合成抵抗の場合と同じ考え方で解くと求められる。その答えを選択肢から一つ選び、記号で答えよ。

- (あ) C
 (い) $\sqrt{3}C$
 (う) $(\sqrt{3}-1)C$
 (え) $(\sqrt{3}+1)C$

(7) 図8の端子に電池をつないだときに電気容量 $2C$ の各コンデンサーに蓄えられる電荷は、どのような分布になるか。最も適切なものを以下の選択肢から選び、記号で答えよ。

- (A) 電池に近いコンデンサーに、より多く電荷が蓄えられる。
 (B) 電池から遠いコンデンサーに、より多く電荷が蓄えられる。
 (C) 各コンデンサーに蓄えられる電荷は、電池からの距離によらない。

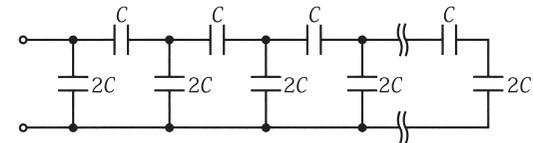


図8

3 なめらかに動く軽いピストンがついたシリンダー内に単原子分子理想気体を閉じ込めたところ、圧力 P_0 、体積 V_0 になった。これを初期状態 A とする。図 1 の圧力 P と体積 V の関係を示すグラフのように、等温変化、定圧変化、定積変化、断熱変化のいずれかにより、状態 A から体積が V_1 である状態 B, C, D にゆっくりと変化させた。以下の問いに答えよ。

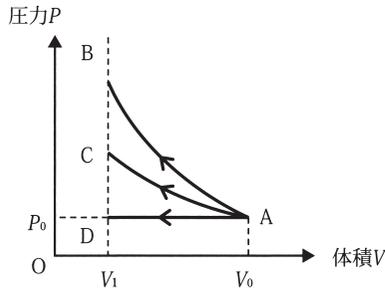


図 1

- (1) 内部エネルギーが変化しない過程として、次の選択肢から最も適切なものを選び、記号で答えよ。
 (あ) 等温変化 (い) 定圧変化 (う) 定積変化 (え) 断熱変化
- (2) A → B の過程, A → C の過程, A → D の過程において、気体が外部からされる仕事の大小関係を考える。この仕事が最大の過程, 2 番目に大きな過程, 最小の過程として、次の選択肢から最も適切なものをそれぞれ選び、記号で答えよ。
 (あ) A → B の過程 (い) A → C の過程 (う) A → D の過程
- (3) A → B の過程, A → C の過程, A → D の過程として、次の選択肢から最も適切なものをそれぞれ選び、記号で答えよ。
 (あ) 等温変化 (い) 定圧変化 (う) 定積変化 (え) 断熱変化

次に単原子分子理想気体を等温変化、定圧変化、定積変化、断熱変化のいずれかにより、図 2 のように A → B → C → A の順序でゆっくりと変化させた。状態 A では圧力 P_0 、体積 V_0 、状態 B では圧力 $3P_0$ 、体積 V_0 、状態 C では圧力 P_0 になった。また、B → C の過程において気体が $3.3P_0V_0$ の熱量を吸収したとする。理想気体に対する状態方程式 $PV = nRT$ から単原子分子理想気体の内部エネルギー U の式は $U = \frac{3}{2}nRT = \frac{3}{2}PV$ となることに注意して以下の問いに答えよ。ここで、 P , V , n , R , T はそれぞれ気体の圧力、体積、物質質量、気体定数、絶対温度である。

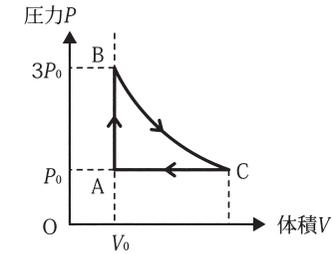


図 2

- (4) 状態 C での体積を V_0 を用いて答えよ。
- (5) A → B の過程において、気体の内部エネルギーの変化と気体が吸収した熱量を P_0 と V_0 を用いて答えよ。
- (6) B → C の過程において、気体の内部エネルギーの変化と気体が外部にした仕事を P_0 と V_0 を用いて答えよ。
- (7) C → A の過程において、気体の内部エネルギーの変化と気体が吸収した熱量を P_0 と V_0 を用いて答えよ。
- (8) サイクル A → B → C → A の熱効率 e として最も適切なものを、以下の選択肢より選び記号で答えよ。
 (あ) 0.1 (い) 0.2 (う) 0.3 (え) 0.4 (お) 0.5

物理

●工学部（生命環境化学科／知能機械工学科）
●情報工学部（情報システム工学科）

（3教科型・2月10日実施分）

（解答：68ページ）

（解答はすべて、別紙解答用紙の解答欄に記入せよ。）

解答用紙の計算と書かれた枠内には、解答の導出過程で用いた計算や考え方を書くこと。

1 図1のように、なめらかで水平な床の上に質量 M の箱が固定されており、箱の天井から長さ l の伸び縮みしない糸で質量 m の小球がつるされている。糸が鉛直な状態のとき、小球の箱の底面からの高さを h とする。この状態で小球に大きさ v_0 の初速度を水平方向に与えたところ、小球は鉛直面内で振動した。重力加速度の大きさを g とし、以下の問いに答えよ。ただし、糸はたるまないものとし、糸の質量および空気抵抗は無視できるものとする。

- (1) 初速度を与えた直後の、小球の運動エネルギーを求めよ。
- (2) 小球が最も高い位置にあるときの、小球の箱の底面からの高さを求めよ。

小球の振動中に、図1のように糸が鉛直となった瞬間に糸をそっと切断したところ、小球は箱の底面に落下した。小球は箱の壁に衝突しないものとして、以下の問いに答えよ。

- (3) 糸の切断後から小球が底面に落下するまでの時間を求めよ。
- (4) 糸の切断後から小球が底面に落下するまでの、小球の水平方向の変位の大きさを求めよ。
- (5) 底面に落下する直前の小球の速さを求めよ。

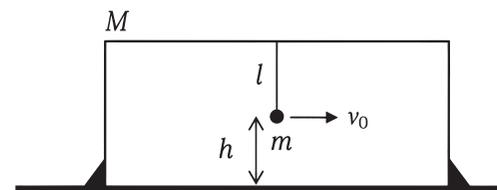


図1

再び図1のように小球を糸でつるした。箱の固定具を外して大きさが F で水平方向の一定の外力を箱に対して加えたところ、箱の運動は床に対して等加速度直線運動となり、図2のように小球と糸は鉛直方向との角度が θ ($\theta > 0$) である状態で箱に対して静止した。以下の問いに答えよ。

- (6) 箱外の床の上に静止した観測者から小球の運動をみたとき、小球の加速度の水平成分の大きさを求めよ。
- (7) $\tan \theta$ を求めよ。

この状態で糸をそっと切断したところ、小球は箱の壁に衝突することなく箱の底面に落下した。

- (8) 糸が切断された瞬間から小球が底面に落下するまでの小球の運動を、箱の中あるいは床の上から観測したときの記述として最も適切なものを以下から選び記号で答えよ。
- (あ) 箱の中から観測したところ、小球は鉛直に落下した。
 - (い) 箱の中から観測したところ、小球は箱の進行方向に向かって落下した。
 - (う) 床の上から観測したところ、小球は鉛直に落下した。
 - (え) 床の上から観測したところ、小球は箱の進行方向に向かって落下した。
- (9) 床の上の観測者が、糸の切断後から小球が底面に落下するまでの間の小球の水平方向の変位を計測した。この変位の大きさを L とするとき、糸が切断された瞬間における、床に対する箱の速さを求めよ。角度 θ を用いてよい。

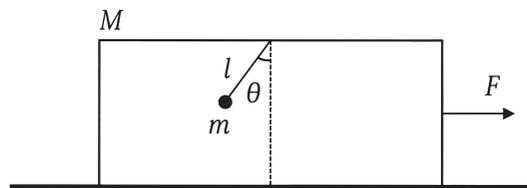


図 2

2

- [1] 図 1 に示すように、真空中に 2 枚の極板が置いてあり、それぞれの極板に電荷を蓄積させて極板間に一様な大きさ E の電場ができています。この状態で、極板間の領域に紙面に垂直に裏から表に向かう磁束密度の大きさが B の一様な磁場を加えた。次に、この極板間に電場と磁場の向きに対して垂直になるように電気量 q の陽イオンを入射したところ、この陽イオンは図 1 に示すように極板間を速さ v で紙面右向きに等速直線運動をした。以下の問いに答えよ。ただし、重力は無視できるものとする。

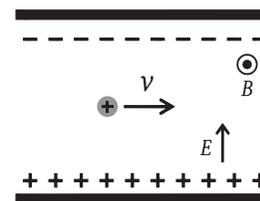


図 1

- (1) 極板間の領域に入った陽イオンには電場により静電気力が働く。この静電気力の向きと大きさを次の選択肢より選び、記号で答えよ。なお、 \odot は紙面に垂直に裏から表への向きであり、 \otimes は紙面に垂直に表から裏への向きである。

選択肢

(あ) \rightarrow (い) \leftarrow (う) \downarrow (え) \uparrow (お) \odot (か) \otimes

(き) qE (く) $\frac{E}{q}$ (け) qvE

- (2) 同時に、陽イオンには磁場によってローレンツ力も働く。ローレンツ力の向きと大きさを次の選択肢から選び、記号で答えよ。

選択肢

(あ) \rightarrow (い) \leftarrow (う) \downarrow (え) \uparrow (お) \odot (か) \otimes

(き) $\frac{B}{v}$ (く) qB (け) vB (こ) qvB

- (3) E を表す式として正しいものを下記の選択肢から選び、記号で答えよ。

選択肢

(あ) $\frac{B}{v}$ (い) qB (う) vB (え) qvB

[II] 図2に示すように直方体（高さ a ，幅 b ，長さ c ）の n 型半導体を水平に置き，両端に導線をつないで電流を流し，鉛直上向きに磁束密度の大きさ B の一様な磁場を加えた。

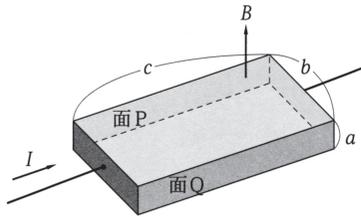


図2

さらに，電流を流す方向に平行で鉛直な両面を面P，Qとして，それぞれの面に電圧計をつないだ。上面から見たこの状態を図3に示す。このとき，かけた電圧によって半導体中の電流の担い手であるキャリアが動き始めるが，磁場によってキャリアにローレンツ力が働いて面PまたはQにキャリアが偏る。この結果，面PQ間に電圧が生じる。十分時間が経ってこの電圧が大きくなり，ある電圧 V となったとき，静電気力とローレンツ力がつりあうことによってキャリアが直進し，結果として定常的に電流 I が生じる。この現象をホール効果といい， V をホール電圧という。このとき，キャリアが一定の速さで移動しているとみなしてその速さを v ，キャリアの数密度を n として以下の問いに答えよ。ただし， n 型半導体におけるキャリアは自由電子であり，その電気量の大きさを e とする。また，電圧計を流れる電流は無視できるものとする。

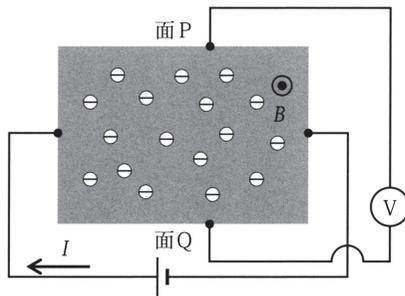


図3

- (4) 面PとQでは，どちらの電位が高いか答えよ。
- (5) 面PQ間に生じる電場の強さ E_{PQ} を V ， a ， b ， c のうち適当なものを用いて示せ。
- (6) キャリアの速さ v を B ， V ， a ， b ， c のうち適当なものを用いて示せ。
- (7) 電流 I を e ， n ， v ， a ， b ， c のうち適当なものを用いて示せ。
- (8) キャリアの数密度 n を I ， B ， V ， a ， b ， c ， e のうち適当なものを用いて示せ。

3 図1に示すように、台車に振動数 f の音波を出す音源が固定され、台車から離れた地点に観測者が立っている場合を考える。観測者は静止したままであり、風が吹いていないときの音速を V とする。



図1

[I] 台車が静止している場合について、以下の問いに答えよ。ただし、風は吹いていないものとする。

- (1) 音源から出る波の波長を V と f を用いて答えよ。
- (2) 音源から出る波の周期を2倍にするには、振動数を f の何倍にすればよいか答えよ。
- (3) 音波についてのある物理量を大きくすると音が高くなった。その物理量として最も適切なものを、次の選択肢より選び記号で答えよ。
 (ア) 振幅 (イ) 波長 (ウ) 周期 (エ) 振動数

[II] 台車が一定の速さ v_s で観測者へ向かって移動している図2の場合を考える。ここで、一定の速さ w の風が、地面と平行に台車のある方向から観測者に向かって吹いているとする。また、 v_s と w は V に比べて十分小さいものとする。観測者が観測した音波について、以下の問いに答えよ。ただし、音波の観測の間に音源が観測者を通り越すことはなかったとする。

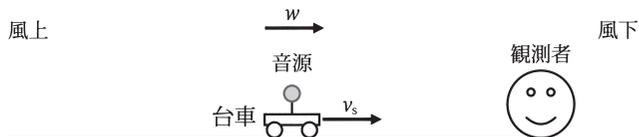


図2

- (4) 音波を伝える媒質が動いている場合、音波の速さが変化する。風上と風下へ伝わる音波の速さを V 、 w を用いてそれぞれ答えよ。
- (5) 時間 t の間に音源から出た波の個数を f 、 t 、 V 、 v_s のうち必要なものを用いて答えよ。ただし、1波長分の音波を1個の波と数えよ。
- (6) 音源から出た音波は、時間 t_1 経過すると観測者の位置まで到達するものとする。音波が観測者に到達したときの、台車と観測者の間の距離を t_1 、 V 、 w 、 v_s を用いて答えよ。
- (7) 観測者が聞く音波の波長を f 、 V 、 w 、 v_s を用いて答えよ。

[III] 大問[II]の状況において、図3に示すように、反射体を観測者と音源に対して一直線上に並ぶように設置した。反射体は静止したままで、風は反射体の方向から観測者に向かって吹いているものとする。観測者が観測した音波について、以下の問いに答えよ。

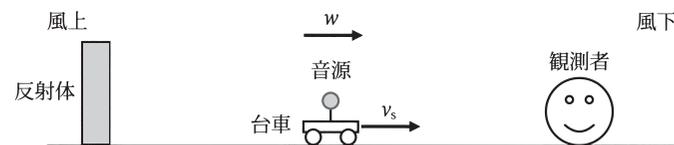


図3

- (8) 観測者が反射体から受け取る反射波の波長を f 、 V 、 w 、 v_s を用いて答えよ。
- (9) 観測者が観測する1秒間のうなりの回数は f の何倍となるか。次の選択肢より選び記号で答えよ。
 (ア) $\frac{2Vv_s}{V^2 - (w - v_s)^2}$ (イ) $\frac{2Vv_s}{V^2 - (w + v_s)^2}$ (ウ) $\frac{2Vv_s}{V^2 + (w - v_s)^2}$ (エ) $\frac{2Vw}{V^2 - (w - v_s)^2}$
 (オ) $\frac{2Vw}{V^2 - (w + v_s)^2}$ (カ) $\frac{2Vw}{V^2 + (w - v_s)^2}$