物　　理

1 図1に示すように，中心Oを軸として角速度ω($\omega \geqq 0$)で矢印の方向に回転している水平円板上に質量mの小物体がある。円板には小物体と同じ幅のガイドが取りつけてあり，小物体の運動を円板といっしょに回転する立場で考えると，小物体はガイドに沿って直線運動をする。小物体の両側には，ばね1とばね2が取りつけられている。ばね1とばね2は，ばね定数kの同じばねであり，それぞれのばねのもう一端は中心から自然長だけ離れた位置に固定されている。したがって，2つのばねがともに自然長となっている状態で小物体は円板の中心Oにある。ばね1の長さの自然長からの変位をrとし，ばね1が伸びる方向を正とする。小物体の大きさ，空気抵抗，およびばねの質量は無視できるものとし，重力加速度の大きさをgとして，以下の問いに答えよ。解答は解答用紙の所定の場所に記入せよ。また，結果だけなく，考え方や計算の過程も記せ。

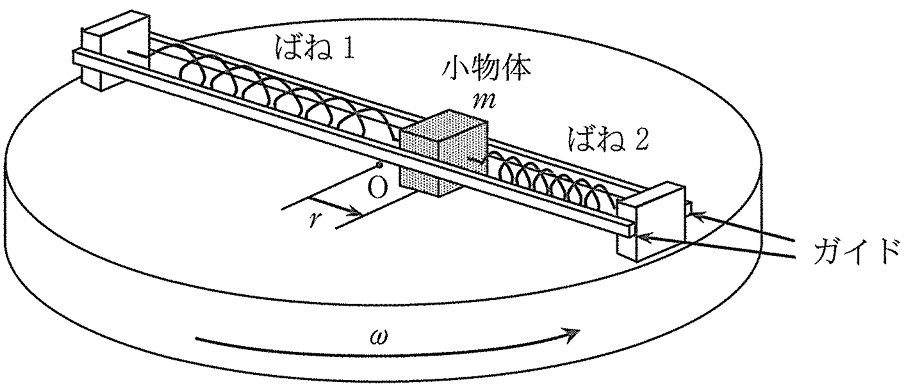

図1

問(1)　小物体とガイドの間，および小物体と円板の間に摩擦がない場合を考える。

(a)　ばね1の自然長からの変位が r のとき，小物体に働いている力のうち，ばね1に沿う方向の成分 F を，ω，g，k，m，r の中から必要なものを用いて表せ。ただし，力 F はばね1が伸びる方向を正とする。

(b)　ばね1を自然長から r_0($r_0 > 0$)だけ伸ばして小物体を固定した。その後，静かに固定をはずしたところ，円板の角速度 ω が ω_{max} より大きいときと小さいときでは小物体は異なる運動をし，小さいときには単振動を始めた。ω_{max} を，g，k，m，r_0 の中から必要なものを用いて表せ。また，円板の角速度が ω($\omega < \omega_{\mathrm{max}}$) のときの単振動の周期 T を，ω，g，k，m，r_0 の中から必要なものを用いて表せ。

問(2)　小物体とガイドの間に摩擦はないが，小物体と円板の間には摩擦があり，静止摩擦係数がμ，動摩擦係数がμ'である場合を考える。ただし，$0 < \mu' < \mu$とする。

(a)　ばね1を自然長からr($r \geqq 0$)だけ伸ばして小物体を固定した。その後，静かに固定をはずしたところ，変位rがある最大値以下の場合には小物体はそのまま静止していた。問(1)(b)で求めた$\omega_{\max}$を用いて円板の角速度ωが$0 \leqq \omega < \omega_{\max}$と$\omega > \omega_{\max}$の場合に分けて考え，それぞれの場合に小物体が静止しているrの範囲を，ω，μ，μ'，g，k，mの中から必要なものを用いて表せ。

(b)　図2は円板の角速度ωとばね1の変位rの関係を表したグラフであり，$r \geqq 0$の領域において固定をはずした小物体が静止している範囲を斜線で塗りつぶしてある。もっとも適切なものをグラフ(ア)～(カ)の中から1つ選び，記号で答えよ。

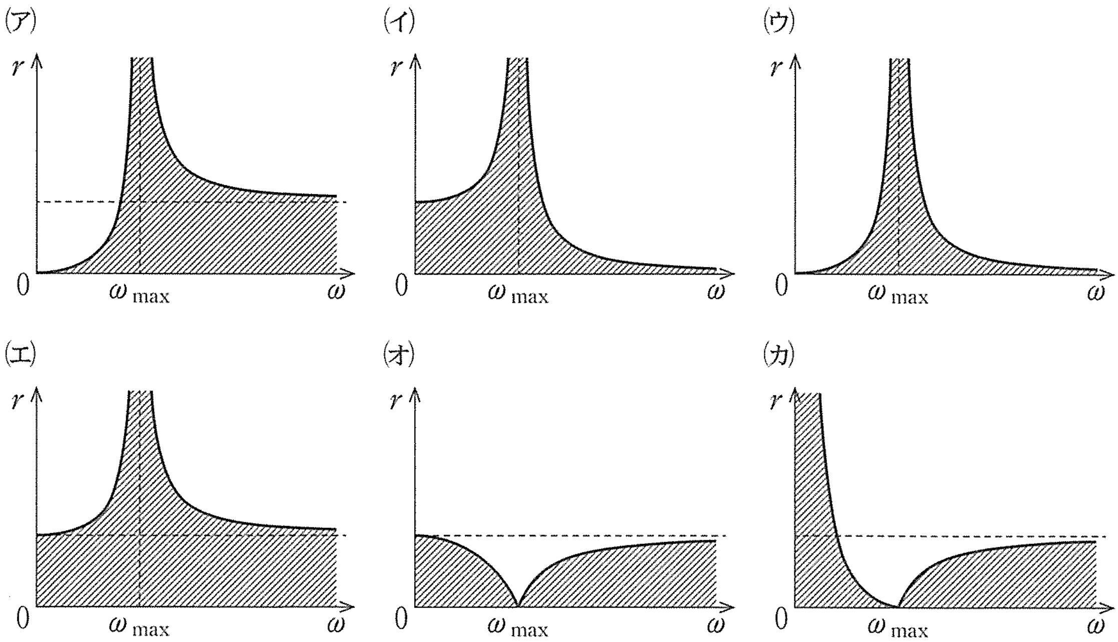

図2

問(3)　問(2)と同じ摩擦がある場合に，ばね1を自然長から r_0（$r_0 > 0$）だけ伸ばして小物体を固定した後に静かに固定をはずした。小物体は初め静止していたが，円板の角速度を小さくしていったところ角速度が ω_0 になったときに小物体が中心Oに向けて動き始めた。その後の小物体の運動を，円板の角速度を ω_0 に固定して観測した。

(a)　小物体が動き始め，その後ばね1の変位が r になった瞬間を考える。このとき小物体に働いている力のばね1に沿う方向の成分 F' を，ω_0，μ，μ'，g，k，m，r，r_0 の中から必要なものを用いて表せ。ただし，力 F' はばね1が伸びる方向を正とする。

(b)　小物体が動き始めた時刻を0としたとき，次に小物体が止まる時刻 T_1 を，ω_0，μ，μ'，g，k，m，r_0 の中から必要なものを用いて表せ。

(c)　時刻 T_1 におけるばね1の変位 r_1 を，μ，μ'，r_0 を用いて表せ。

(d)　小物体が動き始めてからのばね1の変位 r の時間変化を表したグラフとして，もっとも適切なものを図3の(ア)～(カ)の中から1つ選び，記号で答えよ。

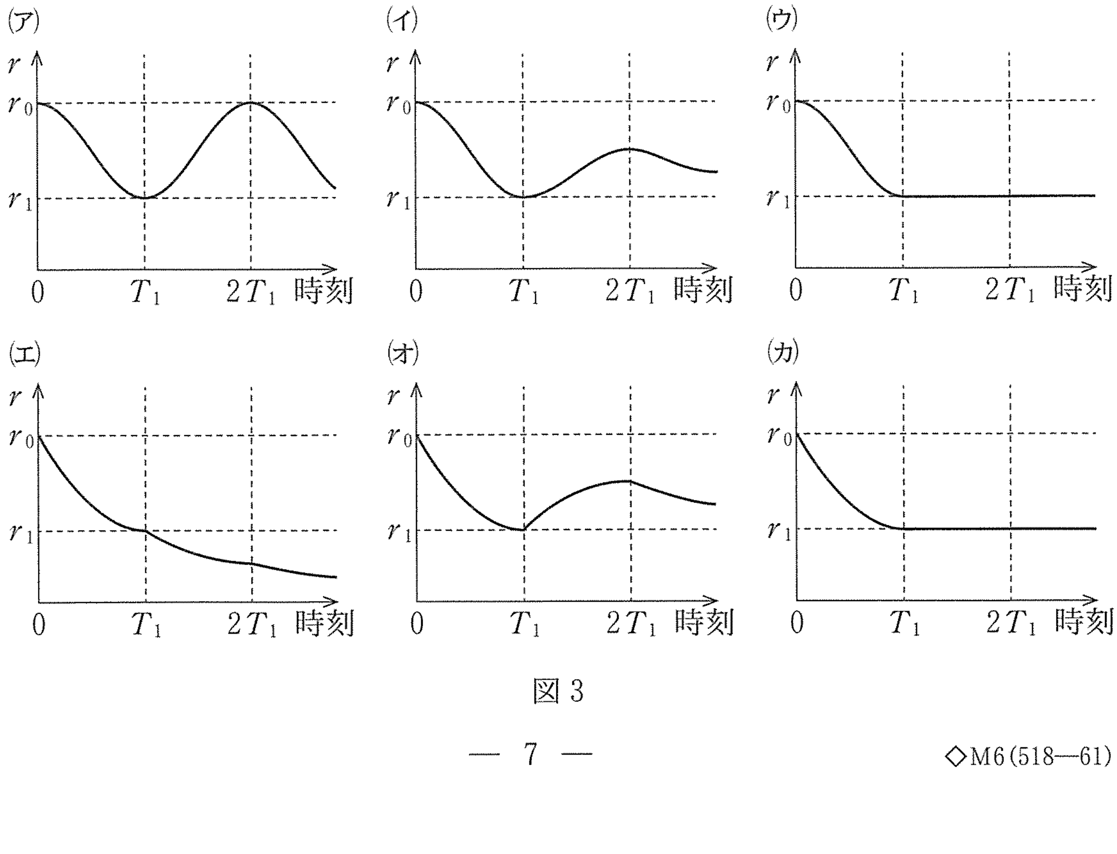

図3

2 図1のように，横方向の長さが$2l$，奥行き方向の長さがbである極板2枚を，間隔dだけ離して平行に設置したコンデンサー1がある。コンデンサー1は，スイッチS_1を端子AまたはBに切りかえることにより，起電力Vの直流電源または電気容量がC_2であるコンデンサー2と接続することができる。コンデンサー1の極板間には，横方向の長さがl，奥行き方向の長さがb，厚さがdである誘電体を挿入した。図のように，コンデンサー1の横方向に平行で，右向きを正とする座標を考え，極板中央を原点，誘電体左端の位置をxと定義する。誘電体は座標軸に沿って$-2l \leqq x \leqq l$の範囲を横方向にのみ移動できるものとし，誘電体に働く力は右向きを正とする。なお，コンデンサーは真空中にあるものとして，真空および誘電体の誘電率は，それぞれε_0，$\varepsilon_1(\varepsilon_0 < \varepsilon_1)$とする。

計算の過程において，極板と誘電体の間の摩擦および極板の端における電場の乱れは無視できるものとして，以下の問いに答えよ。解答は，解答用紙の所定の場所に記入せよ。また，結果だけでなく，考え方や計算の過程も記せ。

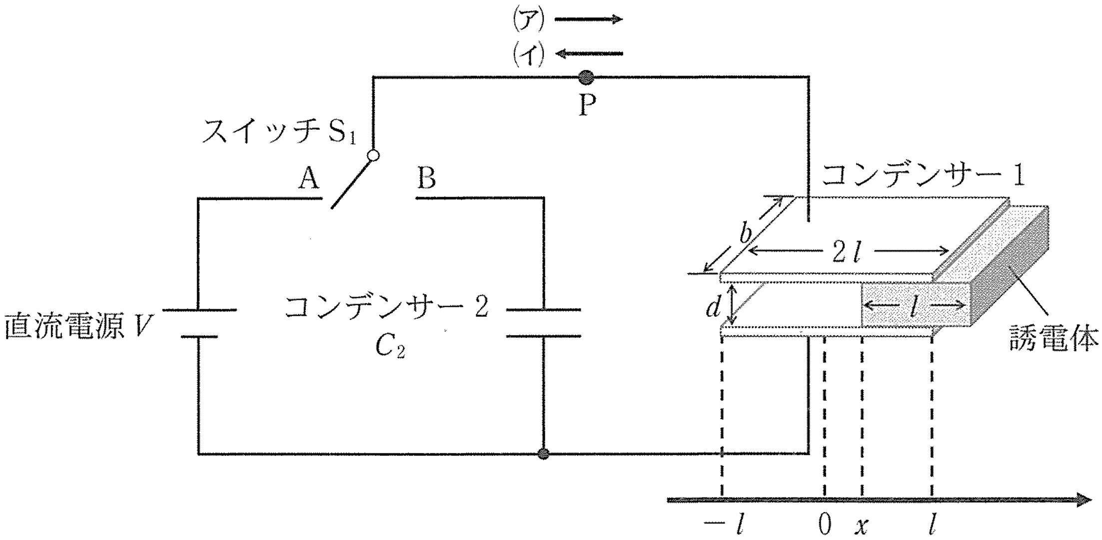

図1

問(1) 誘電体が$x = x_1(0 \leqq x_1 < l)$の位置にあるとき，コンデンサー1の電気容量Cを，l，b，d，x_1，ε_0，ε_1，Vの中から必要なものを用いて表せ。

問(2)　誘電体をある位置で固定したところ，コンデンサー1の電気容量が C_1 となった。この状態でスイッチ S_1 を端子Aにつなぎ十分に時間が経過した後，端子Bに切りかえた。さらに十分に時間が経過した後に，コンデンサー2に蓄えられている電荷の量(電気量) Q_2 を，C_1，C_2，V の中から必要なものを用いて表せ。なお，スイッチ S_1 を端子Aにつなぐ前，コンデンサー1，2には電荷がなかったものとする。

問(3)　スイッチ S_1 を端子Aにつなぎ，誘電体の位置 x を $0 \leqq x < l$ の範囲で固定した。十分に時間が経過した後，誘電体には座標軸に沿った向きに極板から $F(F < 0)$ の力が働いていた。その後，固定をはずし，誘電体に外力 $f(f > 0)$ を加え $\Delta x(\Delta x > 0)$ だけゆっくりと移動させた。この移動の後に，誘電体の位置 x は $0 \leqq x < l$ の範囲にあるものとする。

(a)　この Δx の移動によって，回路内には電流が流れた。図1の点Pにおける電流の向きを(ア)，(イ)から選び，記号で答えよ。

(b)　コンデンサー1の点P側の極板上で，極板間に誘電体が存在していない部分の単位面積あたりの電荷の量を σ_0，誘電体と接している部分の単位面積あたりの電荷の量を σ_1 とする。σ_0 および σ_1 を，l，b，d，ε_0，ε_1，V の中から必要なものを用いて表せ。

(c)　この Δx の移動によって生じるコンデンサー1にたくわえられた電荷の量の変化 ΔQ_1 と静電エネルギーの変化 ΔU を，σ_0 と σ_1 を用いてそれぞれ表せ。必要であれば，l，b，d，Δx，V を用いてもよい。

(d)　この Δx の移動が十分にゆっくりである場合，回路内におけるジュール熱の発生を無視することができる。このとき，外力 f がする仕事，コンデンサー1内の静電エネルギーの変化，および回路内を移動した電荷に対して直流電源が行う仕事の間でエネルギー保存則が成り立つことを考慮し，極板から誘電体に働いている力 F を，l，b，d，Δx，σ_0，σ_1，V の中から必要なものを用いて表せ。

問(4)　図2のように，スイッチS_2を介してコンデンサー1が起電力Vの直流電源につながるようにした。スイッチS_2を閉じた状態で誘電体を$x = x_2$ $(0 \leqq x_2 < l)$の位置に固定し，十分な時間が経過した。その後スイッチS_2を開き，誘電体を$-2l \leqq x \leqq l$の範囲で動かした。このときの誘電体の位置xとコンデンサー1の極板間電圧V_1の関係を表したグラフとして，もっとも適切なものを，図3の(ア)～(ク)の中から1つ選び，記号で答えよ。また，選択したグラフ内のV_Cに相当する値を，l，b，d，x_2，ε_0，ε_1，Vの中から必要なものを用いて表せ。

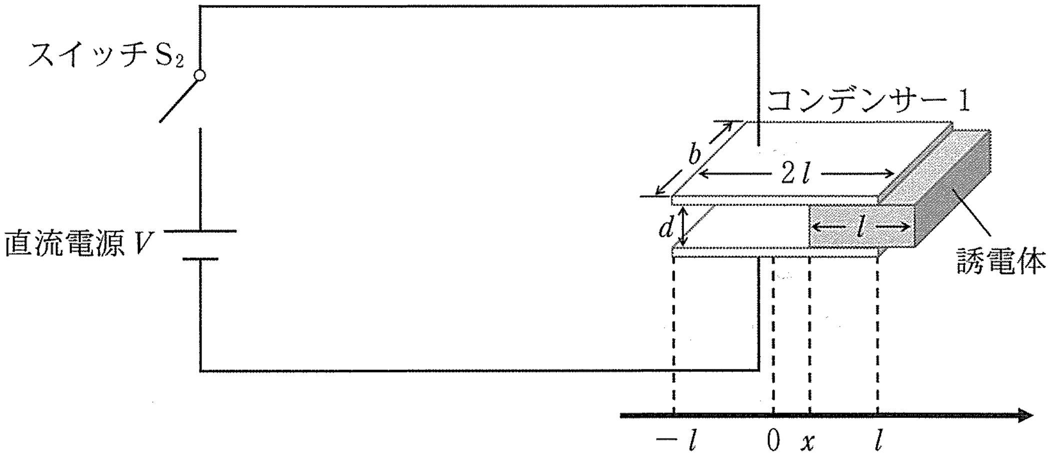

図2

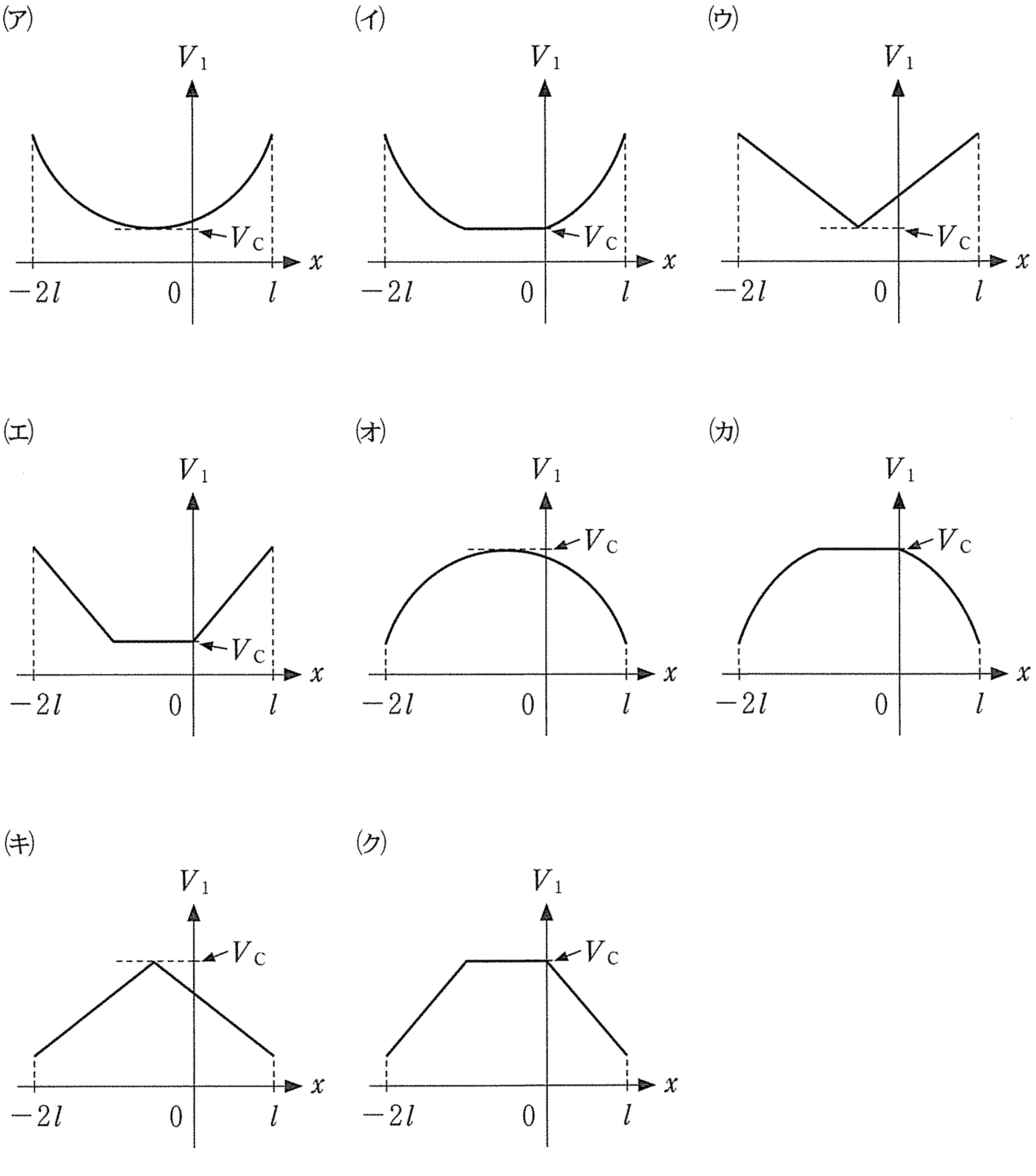

図3

3 水面を伝わる波について考える。水槽に深さ一定の水を用意し，波を作り出すことのできる波源と，水を仕切る板からなる装置を考える。図1はこの装置を上から見た図である。波源Aは常に一定の周波数で直線波(平面波)を出すことができる。波の波長はλで，速さvで進む。水平面内にx軸，y軸をとり，初め波源Aを$x = -L(L > 0)$の位置に取り付けておき，板Bは原点Oを通りx軸に垂直に取り付けられるようにしておく。また，板の厚さは無視できるほど薄く，水槽の枠や波源自体による波の反射は無視できるものとする。また，波の進行や反射による減衰も無視できるとして，以下の問いに答えよ。解答は解答用紙の所定の場所に記入せよ。また，結果だけでなく，考え方や計算の過程も記せ。

装置を上から見た図

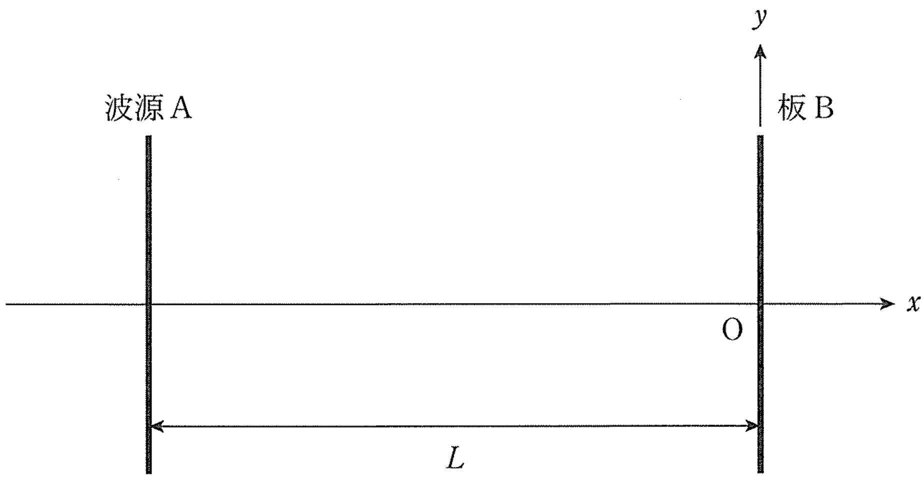

図1

問(1)　初めに，板 B を取りはずした状態を考える。波源 A から x 軸に平行に進行する直線波を出し続けたところ，波源 A から山が出た同時刻 $t = t_0$ に原点 O でも山が観測された。このとき波源 A の山と原点 O の山の間に山の波面が n 本観測された。ここで，n は正の整数である。その後，原点 O にあった山の波面は $x > 0$ に移動し，$t = t_0 + T$ に次の山の波面が原点 O に到達した。

(a)　この波の波長 λ と波の進む速さ v を，それぞれ L，t_0，T，n の中から必要なものを用いて表せ。

(b)　次に，板 B を水槽に入れたところ，波源 A と板 B の間で，水面が振動しない場所が線状に N 本(これらを節線と呼ぶことにする)，y 軸に平行に現れた。このとき，原点 O では板 B を入れる前よりも大きく水面が振動していた。節線の数 N と，板 B に一番近い節線の x 座標 x_1($x_1 < 0$)を，それぞれ L，t_0，T，n の中から必要なものを用いて表せ。

問(2)　次に，図2のように，板Bに入射する波の波面と板Bとの角度が θ（$0° < \theta < 90°$）となるように波源Aを傾けた。ここで，実線は山の波面，破線が谷の波面をそれぞれ表している。すると，水面が振動しない場所の線（節線）の様子が変化した。

(a)　板Bによって反射した波（反射波）の山の波面と谷の波面を，解答用紙の図にそれぞれ実線と破線で書き加えよ。また，解答には反射波の波面と板Bとの角度を明記せよ。

(b)　節線を一点鎖線で表すことにしたとき，節線の様子を表す図としてもっとも適切なものを，図3の(ア)〜(カ)の中から1つ選び，記号で答えよ。また，節線どうしの間隔 l を，λ，v，θ の中から必要なものを用いて表せ。

(c)　また，水面の高さがもっとも高くなっている位置に注目すると，この位置が節線と平行に移動しているのが観測された。移動する速さ v_θ を，それぞれ λ，v，θ の中から必要なものを用いて表せ。

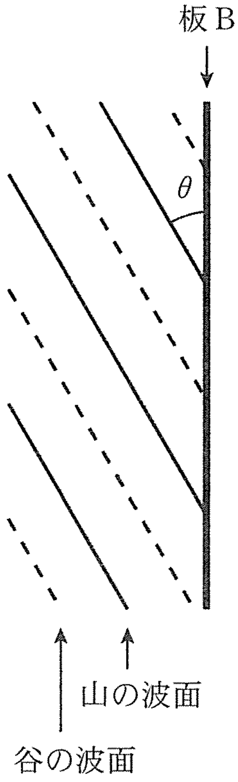

図2

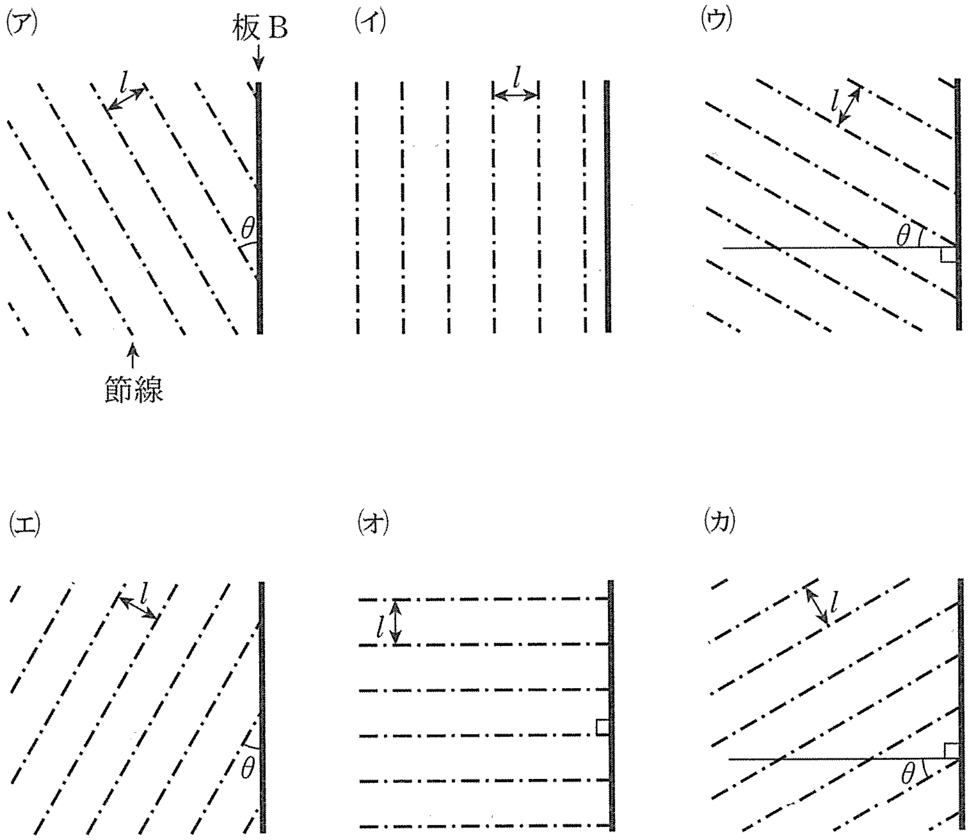

図3

問(3)　図4のように，波源Aの傾きを元に戻して，板Bにすき間を2か所，原点Oと点P(0 , d)($d > 0$)にそれぞれのすき間の中心がくるようにあけた。このとき，波源Aから出た波はこれらのすき間を通って，$x > 0$ の領域で干渉を起こす。点Pの位置を変えていったとき，x 軸上($x > 0$)の波の振幅がどのように変化するかを観察した。ここで，すき間の幅は，それぞれのすき間から出る波が円形波(球面波)とみなすことができるほど小さいとし，2つのすき間が重なって1つになることはないものとする。また，板Bの両端からの回折の影響は無視できるものとする。

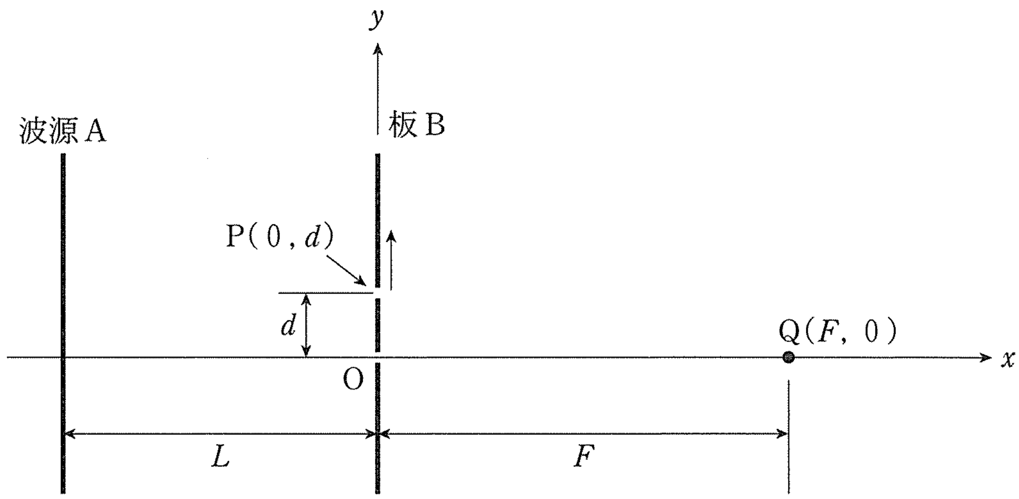

図4

(a) 点Pを，原点Oからごくわずかに離れた位置からy軸正方向に少しずつ移動させていくと，x軸上の点Q$(F,\ 0)$$(F > 0)$における波の振幅は初め小さくなり，その後増減を繰り返した。初めに点Qで振幅が最大となるときの点Pのy座標d_1を，λ，v，L，Fの中から必要なものを用いて表せ。

(b) x軸上$(x > 0)$では，波の振幅が最大となる場所が複数観測された。点Pを移動させていくことによって，これらの位置と数は変化する。x軸上$(x > 0)$の波の振幅が最大となる場所の数がm(mは正の整数)となるdの範囲を，λ，v，L，F，mの中から必要なものを用いて表せ。

平成２６年度東北大学個別学力試験

解答用紙の訂正（前期）　理科（物理）

１３時３０分開始　理科【物理】

解答用紙の訂正

理科【物理】

$\boxed{1}$ 問（２）（ａ）　の解答欄

（誤）

結果：$0 \leqq \omega \leqq \omega_{max}$ のとき

（正）

結果：$0 \leqq \omega < \omega_{max}$ のとき

平成２６年２月２５日