

物理チャレンジ 2018
実験問題
2018 年 8 月 19 日（日）

諸注意	13 : 40 ～ 13 : 45
実験問題にチャレンジ	13 : 45 ～ 18 : 30
実験器具確認・準備課題	13:45 ～ 14 : 10 頃
実験器具後片付け	18 : 30 ～ 18 : 40

実験問題にチャレンジを始める前に下記の＜注意事項＞をよく読むこと。

＜注意事項＞

1. 開始の合図があるまでは、机の上の問題冊子、実験問題別冊、解答用紙、下書き用紙、実験器具箱を開けてはいけない。
2. 監督者の指示があったら解答用紙の全てのページの所定の箇所にチャレンジ番号と氏名を記入しなさい。
3. チャレンジ開始後、次ページに記載の**注意事項**をまず読むこと。続いて実験で**使用する器具・部品一覧**により、全ての物品を確認すること。本実験問題ではオシロスコープを活用する。試験のはじめにオシロスコープの動作を確認し基本操作を知るための準備課題があるので、はじめにこの課題を行うこと。なお、この課題は装置の動作確認も兼ねているので、正常に動作しなかったり、操作がわからない場合は番号札を使って監督員を呼ぶこと。
4. 実験結果や計算結果、式の導出など、採点して欲しい事項は解答用紙の所定の場所に記入すること。下書き用紙は回収・採点しないので、解答はすべて解答用紙に記入すること。
5. 解答用紙にグラフを書くときは方眼または両対数のグラフ用紙を使用すること。グラフ用紙は解答欄に合わせてはさみで切り、粘着テープあるいは両面テープでしっかり貼ること。万一はがれたときのために、表面あるいは裏面に、必ずチャレンジ番号と氏名を書くこと。グラフ用紙が不足した場合は番号札を通路側に出して監督者に申し出ること。
6. 持参した筆記用具と、与えられた実験装置、部品、定規、電卓以外は使用してはならない。
7. 実験中に部品を壊した場合には、1 回だけ新しいものと交換できるので、番号札を通路側に出して監督者に申し出ること。2 回以上同じ部品を壊した場合には、さらに新品と交換できるが、減点となる。ただし、数には限りがあるので、交換できない場合もある。
8. チャレンジ開始後から 17 : 10 まではチャレンジを終了（放棄）することはできない。
9. チャレンジ時間中に気分が悪くなったときやトイレに行きたくなったとき、あるいは質問があるとき、チャレンジを終了するときには、番号札を通路側に出して監督者に知らせること。
10. 終了の合図があれば、解答をやめ、解答用紙を机の上に置き、監督者による回収がおこなわれるまで静かに待つこと。その後、本冊子の最後にかかれている手順に従って実験器具を片付けること。

目次

注意事項	1
実験で使用する器具・部品一覧	2
準備課題　オシロスコープの基本操作の確認	6
実験課題 1　金属棒のたわみ振動の振動数の測定	8
実験課題 2　棒を伝わる縦波の速さの測定	12
実験課題 3　管に沿って伝わる音の管の端での反射	21
付録　電子はかりの使用方法	28
実験の終了手順	29
デジタルオシロスコープ利用手引き	別冊

注意事項

本年の実験問題は音に関する3つの課題から成り立っており、そのいずれの課題もオシロスコープとマイクロフォン（マイク）を使用する。はじめに準備課題を全て行い、オシロスコープとマイクの動作とその取扱方法を確認すること。

使用するマイクはエレクトレットコンデンサー型と呼ばれるマイクであり、ヒトの耳と同様に、気体の圧力（密度）変化を検出する。無指向型に分類され、音波の進行方向による感度の違いは小さい。マイク部品には4本のリード線がつながっており、その中の2本は電源である乾電池につながっている。残りの2本はオシロスコープにつなぎ、出力波形を観察する。このマイクは、正の圧力変化に対して、出力電圧が負に変化するような回路になっている。これが気になる場合は、オシロスコープで波形を反転（Invert）するのがよいだろう。

マイクは全ての実験課題で使用し、そのたびに両面テープで固定する。繊細な器具であるので壊さないように注意して取り扱いなさい。マイク裏面の厚紙は電気絶縁を兼ねているので、剥がしてはいけない。

物理量の記法に関する注意事項

物理量の値は、単位とする大きさを表す記号と、その何倍であるかを表す数値の積として表記される。今回の物理チャレンジの実験課題では、国際単位（SI）推奨の記法に従い、以下のような記法を用いる。

物理量の値を表すときには単位をつける。この時、単位をカッコなどで囲わない。例えば、「自転車の速さは $v = 18 \text{ m/s}$ である。」と書き、 $v = 18 (\text{m/s})$ とか $v = 18 [\text{m/s}]$ などとは書かない。表など、多くの数字を書くときにいちいち単位を書くのは煩わしい。この場合は以下のようにする。

単位 U で表した物理量 X の数値を表やグラフに表す場合、欄や座標軸には、 X/U と記し、そこに現れる数値が単位 U で表した物理量 X の数値であることを明示する。例えば、表やグラフに電流 I を mA 単位で表したい場合には、見出し欄や座標軸に I/mA と書けばよい。なお、一般に物理量を表す記号は斜体（イタリック体）、単位を表す記号は立体（ローマン体）で表記する。

実験で使用する器具・部品一覧

机上の物品を点検し、表の後にある写真も参考にしながら、以下の器具・部品があることを確かめなさい。この段階では袋を開ける必要はない。オシロスコープ、ポリカーボネート管、直径 5.0 mm 長さ 1 m の試料棒 4 本（鉄、アルミニウム、銅、アクリル）は箱の外にある。

部品が不足していることがわかった場合は番号札を使って監督者を呼ぶこと。

実験終了後、器具・部品はそれぞれの専用箱、小箱、ビニール袋の中に戻してもらうので、これらの梱包材は箱の蓋になどの中にまとめておくこと。オシロスコープの使用しない部品類はオシロスコープの箱の中に入れておくこと。使用済みテープなどのゴミはゴミ用のビニール袋に入れること。

表 1 実験で使用する器具・部品等一覧

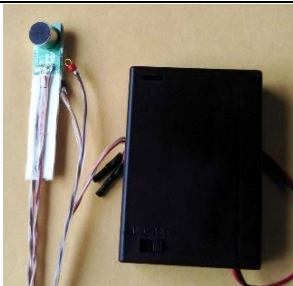
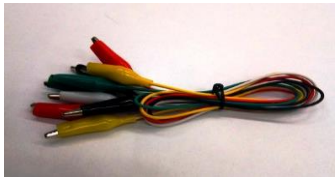
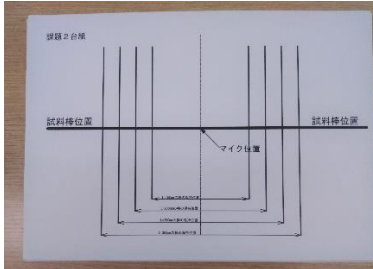
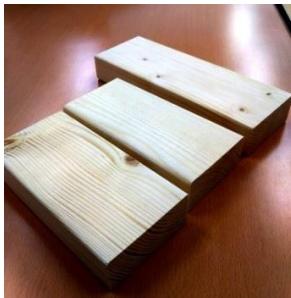
#	品名	内容	数量	包装	検
共-1	オシロスコープ	OWON 社, SDS5032E 型, プローブ 2 本付属	1 台	専用箱	
共-2	マイク	アンプ, 電池ボックス付	1 台	小箱	
共-3	巻き尺	3m	1 個		
共-4	クリップ付コード	45cm, 5 本入	1 組	袋 A	
共-5	乾電池	単 3	7 個	袋 B	
共-6	はさみ		1 本	袋 A	
共-7	粘着テープ		1 個	袋 A	
共-8	両面テープ		1 個	袋 A	
共-9	輪ゴム		8 本	袋 A	
共-10	方眼紙	A4, 1mm 方眼	10 枚		
共-11	両対数グラフ用紙	A4	1 枚		
共-12	油性マーカーペン	細字	1 本	袋 A	
A-1	木製支持台	15×30×50 mm ³ , ウレタンフォーム付	2 個	袋 C	
A-2	黄銅棒	直径 5.0 mm, 長さ : 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm	各 1 本		
A-3	丸ゴム樹脂たたき棒	両頭 : 黒 (硬), 灰 (軟)	1 本		
A-4	台紙	A4 厚紙, 支持位置図印刷	1 枚		
B-1	木製ブロック	38 mm×89 mm×180 mm 2 個 38mm×89 mm×250 mm 1 個	1 組		
B-2	銅棒	直径 5.0 mm×約 1 m	1 本	箱外	
B-3	鉄棒	直径 5.0 mm×約 1 m	1 本	箱外	
B-4	アルミ棒	直径 5.0 mm×約 1 m	1 本	箱外	

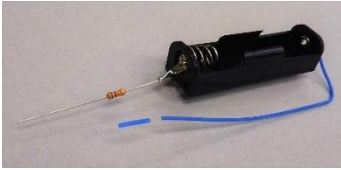
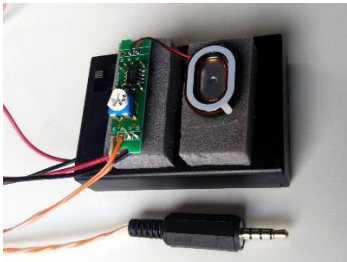
B-5	アクリル棒	直径 5.0 mm×約 1 m	1 本	箱外	
B-6	黄銅丸棒（打撃用）	直径 20mm 棒長さ 35mm	1 個	袋 C	
B-7	電池ボックス	単 3×2 本用，抵抗付	1 個	袋 C	
B-8	リード線	長さ 約 20 cm	1 本	袋 C	
B-9	電子はかり	タニタ，単 4 電池 2 本付	1 台	専用箱	
B-10	ステンレス直定規	30 cm，0.5 mm 目盛り	1 本		
B-11	プラスチックミラー	300 mm×50 mm，使用時は表面の保護シートをとること。	1 枚		
B-12	フック		1 個	袋 D	
B-13	おもり用鉄ワッシャー	内径/mm×外径/mm(個数)： 11×60(1 枚)，11×50(4 枚)， 10×32(8 枚)，8×18(8 枚)	1 組	袋 D	
C-1	ポリカーボネート管	内径 34 mm×長さ約 1.2 m，透明	1 本	箱外	
C-2	蓋用アクリル板	直径 35 mm，厚さ 3 mm	1 個	袋 C	
C-3	木片	30 mm×30 mm×5 mm	1 枚	袋 C	
C-4	スピーカー	電池ボックス，アンプ，ミニプラグ付	1 個	小箱	
C-5	小型コンピュータ	Raspberry Pi 3B，ケース付	1 個	小箱	
C-6	AC アダプター	Raspberry Pi 用	1 個	小箱	
C-7	テンキーパッド	エレコム TKTCM011，USB	1 台	ケース	

※ オシロスコープ，ポリカーボネート管，銅棒，鉄棒，アルミ棒，アクリル棒（各 1 m）は箱の外にある。

※ 単 3 乾電池はマイク，スピーカー，B-7 の電池ボックスに使用する。

※ この他ゴミ用のポリ袋を配布する。

 共-1: オシロスコープ	 共-2:マイクروفオン	 共-3:巻き尺
 共-4:クリップ付コード	共-5:乾電池 共-6:はさみ 共-7:粘着テープ 共-8:両面テープ	共-9:輪ゴム 共-10:方眼紙 共-11:両対数グラフ用紙 共-12:油性マーカーペン
 A-1:木製支持台	 A-2:真鍮棒	 A-3:丸ゴム樹脂たたき棒
 A-4:台紙	 B-1:木製ブロック	B-2:銅棒 B-3:鉄棒 B-4:アルミ棒 B-5:アクリル棒

 B-6:真鍮丸棒(打撃用)	 B-7:電池ボックス (抵抗付き) 写真とは異なります	B-8:リード線
 B-9:電子はかり	 B-10:ステンレス直定規 B-11:プラスチックミラー	 B-12:フック B-13:おもり用鉄ワッシャー
 C-1:ポリカーボネート管 C-2:蓋用アクリル板	 C-3:木片	 C-4:スピーカー
 C-5:小型コンピュータ	 C-6:AC アダプター	 C-7:テンキーパッド

準備課題 オシロスコープの基本操作の確認

本年の実験問題は音に関する3つの課題から成り立っており、そのいずれの課題もオシロスコープとマイクロフォン（マイク）を使用する。第2チャレンジ参加ガイドと共に郵送した「デジタルオシロスコープ利用手引き」は読んであると考えるが、その内容を再確認するために以下の課題をはじめに行いなさい。なお、これはオシロスコープ装置の動作確認も兼ねている。さらに、マイクの準備とその動作テストもこの準備課題に含まれている。もし思ったように動作しない場合や操作法がわからなくなった場合は番号札を通路側に出し監督員を呼ぶこと。

準備課題の時間は20～30分と見込んでいる。20分以内であっても準備課題が終了した場合は本課題に進んでよい。

「デジタルオシロスコープ利用手引き」を問題冊子の別冊として付けた。これを参考にして以下の操作を順番に行い、オシロスコープの操作を理解すると共に、その動作を確認しなさい。

（準備課題1）オシロスコープの起動

- ① 手引きの§1に従って、オシロスコープを起動しなさい。
- ② 次に、リセットを行い、工場出荷時の状態に戻しなさい。

問0-1 手引きの中の図A-2のような表示になったか。

（準備課題2）テスト信号の観測

- ① 手引きの§2に従いプローブのアッテネータを確認しなさい。
- ② 手引きの§3, §4に従い、プローブを用いてCH1にテスト信号をつなぎなさい。

問0-2 図A-8のような表示が得られたか。

- ③ 手動調整あるいはAutosetを行いなさい。

問0-3 図A-11のような表示が得られたか。

（準備課題3）測定

- ① 手引きの§3を読み、CH1のCouplingをACからDCに変えなさい。
- ② 手引きの§6に従い、画面表示を固定させなさい。

問0-4 手引きの§8に従い、カーソルを用いて、テスト信号の周期と最大電圧、最小電圧を読みとりなさい。

（準備課題4）マイクの準備と動作確認

使用するマイクはエレクトレットコンデンサー型と呼ばれるマイクであり、ヒトの耳と同様に、気体の圧力（密度）変化を検出する。無指向型に分類され、音波の進行

方向による感度の違いは小さい。マイク部品には4本のリード線がつながっており、その中の2本は電源である乾電池につながっている。残りの2本はオシロスコープにつながり、出力波形を観察する。このマイクは、正の圧力変化に対して、出力電圧が負に変化するような回路になっている。これが気になる場合は、オシロスコープで波形を反転（Invert）するのがよいだろう。

- ① マイクの乾電池ボックスの蓋を開き、単3乾電池3本を極性に注意してセットした後、蓋を閉めなさい。蓋は▼マークの部分を押しながら横にスライドすると開く。
- ② マイクのリード線の赤端子をCH1のプロープのフックに、黒端子をCH1のプロープのワニ口クリップに接続し、電池ボックスのスライドスイッチをONにしない。
- ③ CH1のCouplingをDCからACに変えなさい。
- ④ 手引きの§5を参照して、時間軸をM:10 msにしない。

問0-5 手引きの§5を参照して、CH1の縦軸（電圧軸）スケールを調整し、周囲の騒音によってマイク出力が変動することを確認しない。騒音が小さすぎる場合は、マイクを口に近づけ小さな音を出して確かめなさい。

【注意】 このマイクは全ての課題で使用するもので、壊さないようにていねいに扱うこと。マイクを固定するために粘着テープや両面テープを使うので、その取り外しの時には特に気をつけること。マイク裏面の厚紙は電気絶縁を兼ねているので、剥がしてはいけない。

（準備課題5）トリガー

- ① CH1の縦軸スケールを1 V/divにしない。
- ② 手引きの§7および§9-④、⑤を参照し、トリガーメニューを表示し、トリガーのSourceをCH1にし、さらに「H5」ボタンを押してModeをNormalにしない。
- ③ 「TRIG LEVEL」つまみでトリガーレベルを約+0.5Vにしない。A-3:丸ゴム樹脂たたき棒とC-3:木片をとりだしなさい。

問0-6 マイクを机の上に置き、その近くで木片を丸ゴム樹脂たたき棒で軽くたたく。打撃音がしたときのみトリガーがかかり、表示波形が更新されることを確認しない。もし周囲の騒音でトリガーがかかってしまう場合は、トリガーレベルを調整して確かめなさい。

- ③ 以上が終了したら、もう一度リセット操作を行いなさい。

以上で準備課題は終了である。終了した人は次ページ以降の本課題に取りかかってよい。

実験課題 1 金属棒のたわみ振動の振動数の測定

金属棒を長さ方向に対して垂直にたたくと、棒がたわんで振動が生じる。ここではこの振動をたわみ振動とよぶことにする。この課題では、このたわみ振動によって出た音の振動数を測定し、金属棒の長さとの関係を探ろう。なお、たたき方やたたく位置などによって、棒にはいくつかの振動モードが生じる。ここでは、振動モードの中でもっとも**振動数の小さい**振動モード（基本振動という）について測定する。

この課題で取り上げたように、たたいたときに生じるたわみ振動の振動数が長さによって決まる関係は、木琴や鉄琴などの楽器にも利用されている。これらの楽器では、長さの違う板が音階の順番に並べられている。実際の楽器では板の裏側を少し削るなどして、たたいたときに生じる振動モードの出方を整えたり、板の下に共鳴パイプをつけるなどして豊かな音色を作っている。

【使用する実験装置等のリスト】

#	品名	内容	数量
共-1	オシロスコープ	OWON 社, SDS5032E 型, プローブ 2 本付属	1 台
共-2	マイク	アンプ, 電池ボックス付	1 台
共-3	巻き尺	3 m	1 個
共-4	クリップ付コード	45cm, 5 本入	1 組
共-5	乾電池	単 3	7 個
共-6	はさみ		1 本
共-7	粘着テープ		1 個
共-8	両面テープ		1 個
共-9	輪ゴム		8 本
共-10	方眼紙	A4, 1 mm 方眼	10 枚
共-11	両対数グラフ用紙	A4	1 枚
共-12	油性マーカーペン	細字	1 本
A-1	木製支持台	15×30×50 mm ³ , ウレタンフォーム付	2 個
A-2	黄銅棒	直径 5.0 mm, 長さ : 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm	各 1 本
A-3	丸ゴム樹脂たたき棒	両頭 : 黒 (硬), 灰 (軟)	1 本
A-4	台紙	A4 厚紙, 支持位置図印刷	1 枚
B-10	ステンレス直定規	30 cm, 0.5 mm 目盛り	1 本

【実験の原理】

直径が同じで長さの異なる 4 本の黄銅棒を試料として、棒の中央部分をたたいた時に発生

する音をマイクで検出し、オシロスコープで観察する。黄銅棒の振動によって音が発生したので、オシロスコープで観察した音の振動数が黄銅棒の振動数と考えることができる。マイクはあらゆる音を拾うので、実験中は雑音を出さないようにしなければならない。

【準備】

- ① 以下のようにオシロスコープの設定を行う。
 - (ア) 赤い印の付いたプローブをオシロスコープの CH1 のプラグに接続する。プローブの根元の表示が $\times 10$ になっていることを確認する。
 - (イ) 操作パネルの「CH1」ボタン(赤)を押して、CH1 の Coupling が AC に、Inverted が OFF になっていることを確認する。さらに「H3」ボタンを押し、Attenu が $\times 10$ になっていることを確認する。違う場合には正しく設定する。
「CH2」ボタン(黄)を何回か押し、画面に CH2 (黄色線)が表示されないようにする。
 - (ウ) 画面左下の表示が以下になるように、CH1 の「VOLTS/DIV」および「VERTICAL POSITION」のつまみを回す。
①50.0 mV $\sim$ 0.00div
 - (エ) 画面中央下の表示が以下になるよう、「SEC/DIV」のつまみを回す。
M: 1.0 ms
 - (オ) 「Cursor」ボタンを押し、画面下部に Type と Source が表示されていること、および Type が Time, Source が CH1 になっていることを確認する。Type が Time になっていないときは、「H1」ボタンを押してから「F3」ボタンを押して Time にする。この状態では、画面に縦のカーソル線(紫色)が表示されているとともに、左下に水色の線で囲まれたウィンドウが表示されているはずである。この状態で CH1 および CH2 の「VERTICAL POSITION」のつまみを回すとカーソル線は左右に移動する。ウィンドウ内の Δx の値はこの 2 本のカーソル線間の時間差を、 $1/\Delta x$ の値はこの 2 本のカーソル線間の時間差の逆数を示している。
- ② マイクは準備課題 4 で準備が済んでいるはずである。図 1-1 のように、台紙 (A4 サイズの紙) の中央の位置にマイクを両面テープで取り付ける。マイクのリード線の赤端子を CH1 のプローブのフックに、黒端子を CH1 のプローブのワニ口クリップに接続し、電池ボックスのスライドスイッチを ON にする。

【実験手順】

4 本の金属棒それぞれについて、以下の測定を行いなさい。

- ① 4 本の黄銅棒の長さをそれぞれ測り、記録する。黄銅棒の直径は全て 5.0 mm である。

問 1-1 金属棒の長さを解答用紙の所定の位置に記入しなさい。

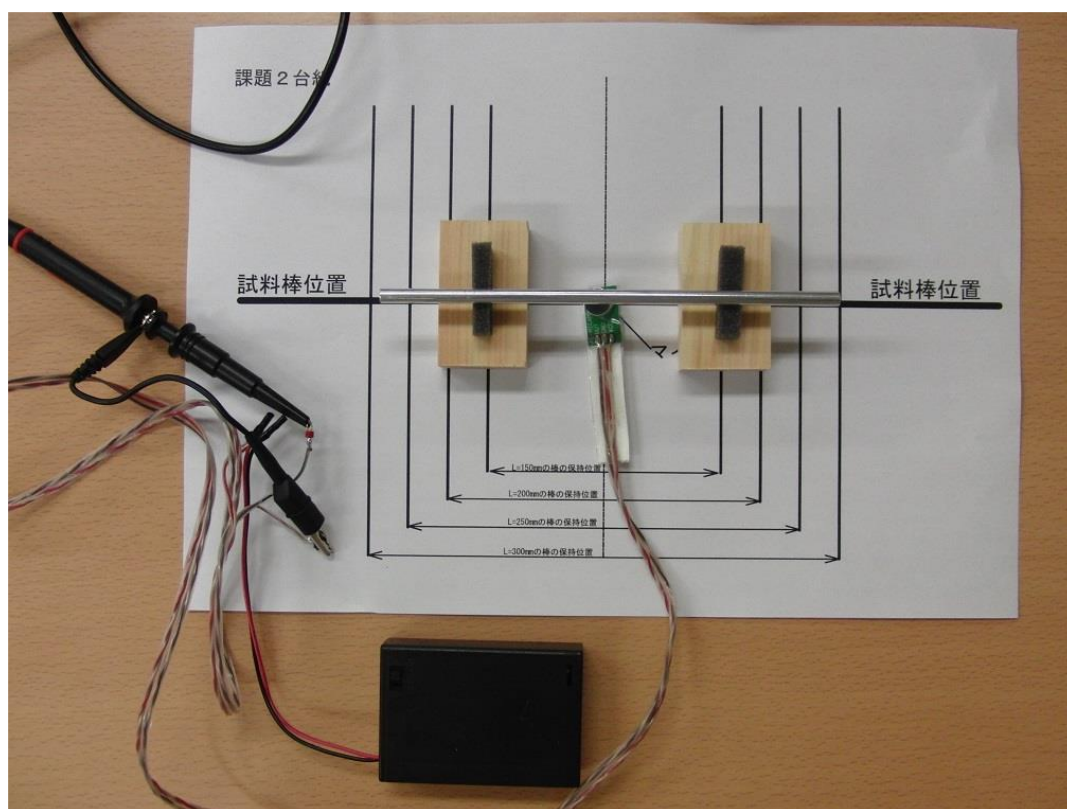


図 1-1 実験課題 1 の装置組立図

- ② 金属棒の長さによって台紙に記された位置に支持台を置く。
- ③ 金属棒を、支持台の上に置く。そのとき、金属棒の中央が台紙の中央線上になるようにする（図 1-1 参照）。金属棒の中央に油性マーカーペンなどで目印をつけるとよい。
- ④ 丸ゴム樹脂のたたき棒の灰色側（軟かい方）で金属棒の中央を軽くたたく。たたいた後、金属棒を指で触れて、金属棒が振動していることを確かめなさい。
- ⑤ 次に、オシロスコープの「RUN/STOP」ボタンを押して緑色に点灯しているのを確認したら、丸ゴム樹脂たたき棒の灰色側で金属棒の中央を軽くたたく。正弦波に近いきれいな波形が観測されたら、もう一度を「RUN/STOP」ボタンを押して画面表示を固定する。たたき方などによっては、初めきれいな波形にならないことがあるが、少し時間がたつと正弦波に近い波形になるので、その場合は少し待ってから「RUN/STOP」ボタンを押すとよい。なお、強くたたきすぎるときれいな波形にならないのでたたき方の加減に注意する。
- ⑥ ⑤の操作を複数回行い、振動の周期が毎回ほぼ同じであることを確認してから、周期の測定を 1 回行いなさい。周期の測定にはオシロスコープのカーソル機能を利用できる。手引き §8 を参照して、表示された振動波形の周期を求めなさい。周期を精度よく決めるためにはどのようにするのがよいか工夫しなさい。場合によっては「SEC/DIV」のつまみを回して一目盛の時間間隔を変えて波形を撮り直してもよい。
- ⑦ 長さの違う 4 本の金属棒それぞれについて、周期の測定を行いなさい。

問 1-2 周期を精度よく求めるために、どのように測定したか。図を描いて説明しなさい。

問 1-3 測定した周期を記入しなさい。その周期から金属棒に生じた振動数を求めなさい。

問 1-4 金属棒の長さ L とたわみ振動の振動数 f との間には

$$f = kL^n$$

で表される関係式が成り立つことが知られている (k は比例定数)。この関係式の n (冪 (べき) 指数) はいくらか、測定されたデータをもとにして求めなさい。解答用紙には n を求めた方法を説明し、解答の根拠となるグラフや表も付けなさい。必要ならば、与えられたグラフ用紙を自由に使ってよい。

問 1-5 たわみ振動の振動数と長さの関係は気柱振動 (気柱共鳴) の振動数と長さの関係と同じだろうか。

実験課題 2 棒を伝わる縦波の速さの測定

棒の端を長さ方向にたたくと、たたかれた部分が圧縮されて変位が生じる。この圧縮によって生じた変位は、縦波のパルス波として棒を伝わっていく。実験課題 2 では、金属やプラスチックの棒を伝わる縦波の速さを測定するとともに、縦波の伝わる速さと棒の物理的性質との関係を探る。

【使用する実験装置等のリスト】

	品名	内容	数量
共-1	オシロスコープ	OWON 社, SDS5032E 型, プローブ 2 本付	1 台
共-2	マイク	アンプ, 電池ボックス付	1 台
共-3	巻き尺	3 m	1 個
共-4	クリップ付コード	45 cm, 5 本入	1 組
共-5	乾電池	単 3	4 個
共-6	はさみ		1 本
共-7	粘着テープ		1 個
共-8	両面テープ		1 個
共-9	輪ゴム		8 本
共-10	方眼紙	A4, 1 mm 方眼	10 枚
共-11	両対数グラフ用紙	A4	1 枚
共-12	油性マーカーペン	細字	1 本
B-1	木製ブロック	板 A: 38 mm×89 mm×180 mm 2 個 板 B: 38mm×89 mm×250 mm 1 個	1 組
B-2	銅棒	直径 5.0 mm×約 1 m	1 本
B-3	鉄棒	直径 5.0 mm×約 1 m	1 本
B-4	アルミ棒	直径 5.0 mm×約 1 m	1 本
B-5	アクリル棒	直径 5.0 mm×約 1 m (銅箔テープ付)	1 本
B-6	黄銅製丸棒 (打撃用)	直径 20 mm×長さ 35 mm	1 個
B-7	電池ボックス	単 3×1 本用, 10 kΩ 抵抗付	1 個
B-8	リード線	長さ 約 20 cm	1 本
B-9	電子はかり	タニタ, 単 4 電池 2 本付	1 台
B-10	ステンレス直定規	30 cm, 0.5 mm 目盛り	1 本
B-11	プラスチックミラー	300 mm×50 mm 使用時は表面の保護シートをとる	1 枚
B-12	フック		1 個

B-13	おもり用鉄ワッシャー	内径/mm×外径/mm (個数) : 11×60(1 枚), 11×50(4 枚), 10×32(8 枚), 8×18(8 枚)	1 組
------	------------	---	-----

課題 2-1 棒を伝わる縦波の速さの測定 (1)

【目的と測定の原理】

鉄, アルミニウム, 銅, アクリルの棒を伝わる縦波の速さを測定する。試料棒の一端を金属ブロック(黄銅製丸棒を使う)でたたき, 他端においたマイクで伝わったパルス波を検出する。棒と金属ブロックの接触の有無を電流によって検出し, 接触が生じた時刻を時間原点として利用する。

【準備】

① 以下のように, オシロスコープの設定を行う。

(ア) 赤い印の付いたプローブをオシロスコープの CH1 のプラグに, 黄色い印の付いたプローブを CH2 のプラグに接続する。プローブの根元の表示が CH1, CH2 とともに $\times 10$ になっていることを確認する。

(イ) 操作パネルの「CH1」ボタン(赤)を押して, CH1 の Coupling が AC に, Inverted が ON に, Probe の Attenu が $\times 10$ になっていることを確認する。「CH2」ボタン(黄)を押して, CH2 の Coupling が DC に, Inverted が OFF に, Probe の Attenu が $\times 10$ になっていることを確認する。なっていない場合には正しく設定する。

(ウ) 画面左下の表示が以下になるよう, CH1 および CH2 の「VOLTS/DIV」のつまみを回す。

①500mV~ ②500mV~

(エ) 画面中央下の表示が以下になるよう, 「SEC/DIV」のつまみを回す。

M: 50us

(オ) 本体右側のトリガー「Menu」ボタンを押し, 画面下に表示される設定が Edge, CH2, AC, , Single & Hold off になっていることを確認する。なっていない場合には正しく設定する。右端中央の「TRIG LEVEL」のつまみを回して, トリガーレベルを 2 V 程度にする。(トリガーレベルは画面右外に紫の ◀ で表示されるほか, 画面下右端に数値で表示される。)

(カ) トリガーの位置を示す画面上部の  のマーク(紫)がほぼ中央に来るように, 「HORIZONTAL POSITION」のつまみを回す。マークが見えないときには, 画面の外に出ている可能性がある。「HORIZONTAL POSITION」つまみを軽く押すと中央に設定される。

(キ) Cursor ボタンを押し, 画面下部に Type と Source が表示されていること, および Type が Time になっていることを確認する。Type が Time になっていないときは, 「H1」ボタンを押してから「F3」を押して Time にする。この状態では, 画面に縦の 2 本のカーソル線(紫色)が表示されるとともに, 左下に水色の線で囲まれたウィンドウが表示されているはずである。この状態で CH1 および CH2 の「VERTICAL POSITION」のつまみを回すとカーソル線は左右に移動する。ウィ

ンドウ内の Δx の値は、この2本のカーソル線間の時間差を示している。Sourceの設定はCH1, CH2 どちらでもよい。

(ク) 「CH1」または「CH2」ボタンを押す。この状態でCH1 およびCH2 の

「VERTICAL POSITION」のつまみを回すと、それぞれの波形が上下に動く。

- ② 図 2-1 のように、板 B (38 mm×89 mm×250 mm) の中央部付近、長辺から 3.5 cm の位置にマイクを両面テープ (または粘着テープ) で取り付ける。実験課題 1 の【準備】②に記されているように、マイクのリード線の赤端子を CH1 のプローブのフックに、黒端子を CH1 のプローブのワニ口クリップに接続し、電池ボックスのスライドスイッチを ON にする。

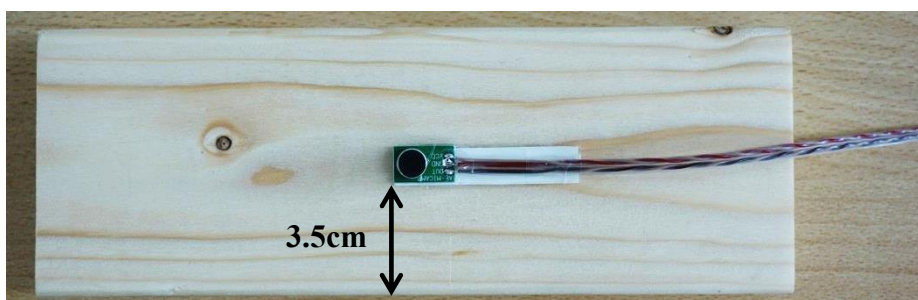


図 2-1 マイクの取り付け

- ③ 電子はかりの準備と動作確認を行う。

本冊子 28 ページの「付録：電子はかりの使用方法」に従って、電子はかりを準備し、正常に動作することを確認しなさい。

【実験手順】

実験は鉄、アルミニウム、銅、アクリルの順に行いなさい。

- ① 棒の長さを測り、記録する。
- ② 板 A (38 mm×89 mm×180 mm) に輪ゴムをかけて、その上に棒を載せ、さらにその上を別の輪ゴムで止める (図 2-2 参照)。2 枚の板 A に固定した棒を、マイクから 1 cm 程度離して設置する (図 2-3 参照)。

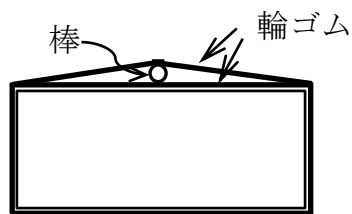


図 2-2 板 A に棒を輪ゴムで留める（断面図）



図 2-3 棒とマイクの設置

- ③ 図 2-4～図 2-6 を参考にして、棒、電池、抵抗、金属ブロック（黄銅製丸棒）をクリップ付きコードで接続し、さらに抵抗の両端をオシロスコープの CH2 につなぐ。アクリル棒の場合は銅箔テープが巻かれている部分をみのむしクリップではさむ。

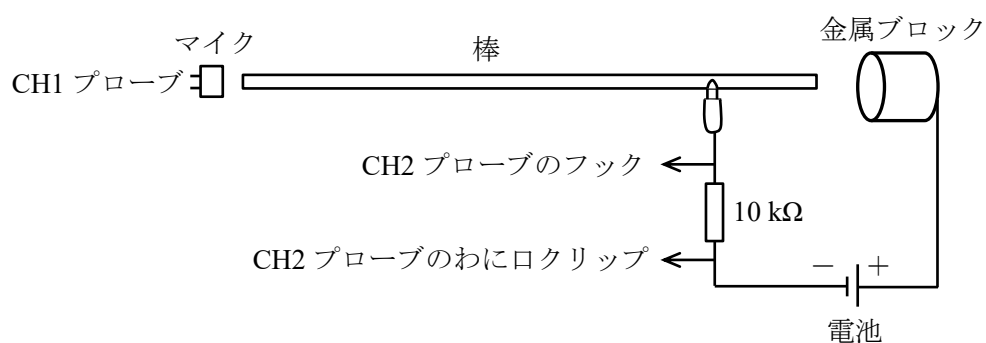


図 2-4 棒、電池、抵抗、金属ブロックの接続

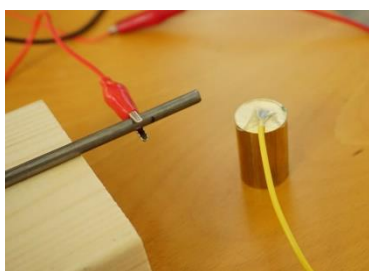


図 2-5 棒をみのむしクリップではさむ。金属ブロックにリード線を粘着テープで貼り付ける。



図 2-6 抵抗にみのむしクリップ、プローブを接続する。

- ④ オシロスコープの「Single」ボタンを押してから、棒がマイクにぶつからない程度の強さで棒の端を金属ブロックでたたく。オシロスコープの画面には図 2-7 のような波形が表示されるはずである。CH1 の赤色の波形はマイクからの信号（反転したもの）を、CH2 の黄色い波形は抵抗の両端の電圧を示している。CH1 の信号が見えない場合、信

号が弱すぎる可能性があるので、たたく強さを変えてみる。アクリル棒の場合は、「SEC/DIV」のつまみを時計方向に回して M: 100us にしてから実験する。

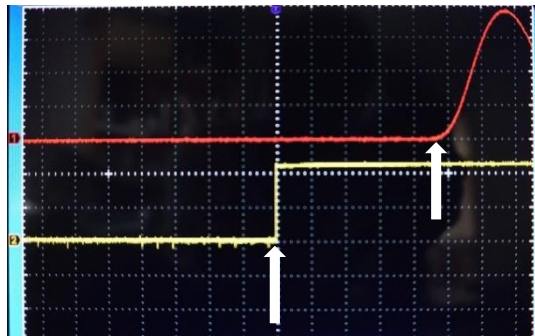


図 2-7 棒をたたいたときの波形（白矢印は立ち上がり時刻を示すために書き入れた）

- ⑤ 画面下部に Type と Source が表示されていればカーソル線による測定が可能である。表示されていなければ「Cursor」ボタンを押す。2本のカーソル線を使って、それぞれの波形の立ち上がった時刻（図 2-7 の 2 本の白矢印）の間隔を測定する。
- ⑥ 以上の測定を棒ごとに 4 回行う。

問 2-1 4 種類の棒について、次の問に取り組みなさい。

- (1) 棒の長さを表に記入しなさい。
- (2) CH1, CH2 の波形が立ち上がった時刻の間隔 Δt を表に記入し、4 回の測定値の平均を求めなさい。

問 2-2 棒を伝わる縦波の速さを求める方法を簡単に記述し、それぞれの棒を縦波が伝わる速さを求めなさい。空気中の音速が必要ならば、340 m/s としなさい。

課題 2-2 棒を伝わる縦波の速さの測定 (2)

【目的と測定の原理】

課題 2-1 と同様に試料棒の一端を金属ブロック（黄銅製丸棒）でたたいて縦波の速さを測定する。この課題ではマイクで検出した波形のみから速さを求める。

【実験手順】

実験は鉄、アルミニウム、銅、アクリルの順に行いなさい。

- ① マイク、棒等の設置は課題 2-1 と同じままとする。
- ② 「SEC/DIV」のつまみを回して時間軸を M: 200us 程度に設定する。
- ③ 「HORIZONTAL POSITION」のつまみを反時計方向に回して、画面上部の **T** のマーク（紫）が左端に来るようにする。

- ④ 課題 2-1 と同様に、「Single」ボタンを押してから棒を金属ブロックで軽くたたき、図 2-8a のように画面に 5～6 個程度のピークが現れるようにする。ピークが多すぎたり少なすぎたりする場合は「SEC/DIV」のつまみを回して調節する。図 2-8b のように、波形の上部がつぶれている場合は信号が強すぎるので、より軽くたたくか、棒とマイクとの間隔を広くする。

注：CH2 の信号は、今回はトリガーのためだけに使用している。

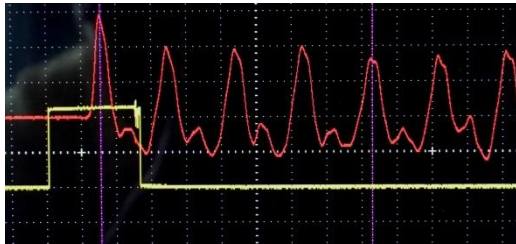


図 2-8a 適切な波形

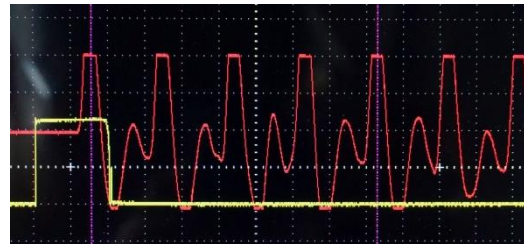


図 2-8b 上がつぶれた波形

- ⑤ 2 本のカーソル線を使い、最初のパルス波のピークを 0 s としたときの 2 番目以降のパルス波のピークの時刻を測定する。

問 2-3 4 種類の棒について、次の問に取り組みなさい。

- (1) 棒の長さを問 2-1 から転記しなさい。
- (2) 複数のパルス波が繰り返し現れる理由を説明しなさい。
- (3) 最初のパルス波のピークの時刻を 0 s としたときの、2 番目以降のパルス波のピークの時刻 t を表に記入しなさい。この表を見て 2 番目以降のピークの時間間隔はほぼ等しいことを確認しなさい（※注）。

※注 第 1 のピークと第 2 のピークの間隔は、それ以降のピークの間隔とは異なる場合がある。

- (4) (3)で作成した表から、パルス波の周期（隣接するピークの時間間隔） T を求めなさい。

問 2-4 棒を伝わる縦波の速さを求める方法を簡単に記述し、それぞれの棒を縦波が伝わる速さ v を求めなさい。

問 2-5 課題 2-1 と課題 2-2 の測定方法を比較しなさい。どちらがより正確な測定方法であるといえるか述べなさい。

*課題 2-2 が終了したら、次の課題 3 のためにマイクを板 B から取り外しなさい。

課題 2-3 棒の材質の物理的性質と縦波の伝わる速さとの関係の考察

【目的と測定の原理】

本課題で使用した 4 種類の試料棒はいずれも直径が 5.0 mm であり、長さも約 1 m とそろっている。試料棒の密度および弾性を測定し、縦波の伝わる速さの違いが棒の物理的性質、弾性と密度、とどのような関係にあるかを考察する。

【実験手順】

- ① 棒の質量を測定する。
- ② フックおよび特大(外径 60 mm), 大(50 mm), 中(32 mm), 小(18 mm)の 4 種類のワッシャーの質量を測定する。
- ③ 棒の中央およびその左右 48.0 cm に、油性マーカーペンで印をつける。
- ④ 板 A を 2 個立て、棒の左右につけた印が板の内側の端になるように棒を載せる (図 2-9)。
- ⑤ プラスチックミラーと定規を重ねて、板 B に輪ゴムで留める (図 2-10)。この定規を棒の中央部分後方に立てて置き、棒中央部の高さを測定する。プラスチックミラーは視差を防ぐために用いる。使用するときには表面の保護フィルムを取りのぞくこと。

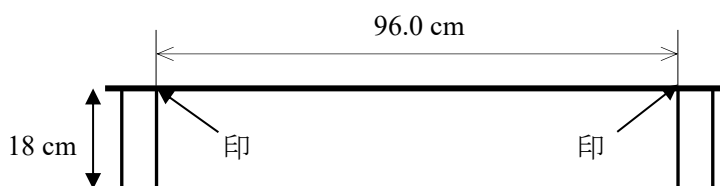


図 2-9 棒の設置



図 2-10 定規の取り付け

- ⑥ 棒の中心にフックやワッシャーをつり下げて、中央部のたわみ量 x を測定する (図 2-11, 2-12)。ワッシャーの枚数については、次ページの注意をよく読むこと。



図 2-11 フックとワッシャー
のつり下げ

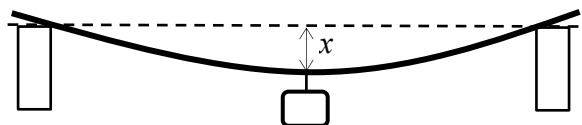


図 2-12 たわみ量の測定

注意：棒に大きな力を加えると棒が塑性（そせい）変形して元に戻らなくなってしまうので、ワッシャーの枚数の最大値は以下に示す通りとする。特にアルミニウムや銅は塑性変形しやすいので注意する。

鉄：特大(60 mm)1 枚+大(50 mm)4 枚 アルミニウム：中(32 mm)6 枚

銅：中(32 mm)8 枚 アクリル：小 3 枚(18 mm)

問 2-6 4 種類の棒の長さ（問 2-1 から転記）と質量を表に記入し、密度 ρ を求めなさい。棒の直径はすべて 5.0 mm である。アクリル棒に巻いてある銅箔テープの質量は、無視できる程度に小さい。

問 2-7 フックおよびワッシャーの質量を表に記入しなさい。

問 2-8 作用反作用の法則より「おもりが棒に加えた力」＝「棒がおもりに加えた力（弾性力）」となる。4 種類の棒について次の問に答えなさい。

- (1) 弾性力 F とたわみ量 x の関係を表に記入しなさい。ただし、重力加速度は $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ とする。
- (2) この表をもとに、弾性力ーたわみ量のグラフ（ F - x グラフ）を作成し、弾性力 F はたわみ量 x に比例することを確認しなさい。
- (3) 弾性力 F とたわみ量 x の関係を $F = kx$ と表現した場合の比例定数 k （※注）の値を求め、表に記入しなさい。

※注 棒が下に凸にたわんでいるとき、棒の上半分は押し縮められ、下半分は引き伸ばされているので、このたわみにくさを表す比例定数 k はばね定数と同様、物体の変形のしにくさを表す量になっている。測定された比例係数は、同じ材質の丸棒でも、直径や、支点間隔が変われば変わってしまう。ここでは、共通の直径と支点間隔で実測しているので、得られた比例係数は、棒の形状・サイズに依らない、各材質固有の変形のしにくさを表す量に比例する量になっている。

問 2-9 測定したデータをもとに、縦波の伝わる速さ v と、棒の物理的性質 ρ , k との間にはどのような関係があるといえるか考察しなさい。データを表に整理し、グラフにプロットするなどして関係性を考えなさい。考察に当たっては、次のようなモデルを参考にするとよい。

縦波が棒を伝わるしくみを図 2-13 のような、複数の台車がばねでつながれたモデルで考える。このモデルでは、台車は原子を、ばねは原子どうしをつなぐばねを表している。右端の台車をたたくと、台車は左向きに変位してばねを圧縮する。圧縮されたばねはとなりの台車に力をおよぼし、押された台車は左向きに変位する。このようにして台車の変位は次々に伝わっていく。

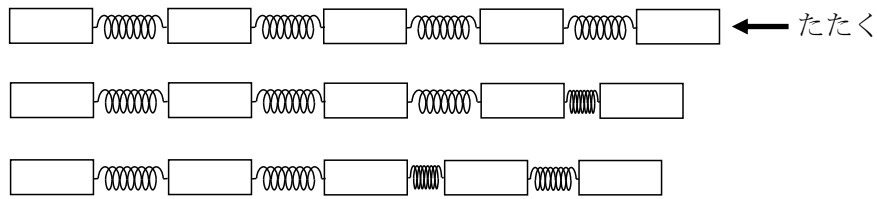


図 2-13 縦波が伝わるモデル

このモデルで振動が伝わる速さ v に影響するのは、台車の間隔 a 、台車の質量 m 、台車をつなぐばねのばね定数 K などの台車の材質や形状であり、他のパラメータ、例えば温度や台車の材質は直接影響しないと考えられる。つまり v は a 、 m 、 K を使って書き表すことができる。

$$v = f(a, m, K)$$

これらの量はいずれも単位（次元）を持っているが、両辺が等号で結ばれるためには両辺の次元は同じでなければならない。この当然のルールからこれらの物理量に関する関係を推測することができる。これを次元解析という。

問 2-10 図 2-13 のモデルで、振動の伝わる速さ v と、台車の間隔 a 、台車の質量 m 、台車をつなぐばねのばね定数 K との間の関係が、

$$v = A a^x m^y K^z \quad (A \text{ は無次元の比例係数})$$

であるとして両者の次元を比較することによって、 v と a 、 m 、 K の関係についてどのようなことが言えるか考察しなさい。

実験課題3 管に沿って伝わる音の管の端での反射

音は空気中を伝わる疎密波である。細い管に入射した音は管に沿って伝わり、管の端（以下、管端）に至ると反射する。一定の割合で反射された音は、今度は管内を逆方向に進む。本課題では、この音の反射と空気の疎密の対応をパルス状の音を用いて調べてみよう。

【使用する実験装置等のリスト】

C-1	ポリカーボネート管	内径 34 mm×長さ約 1.2 m, 透明	1 本
C-2	蓋用アクリル板	直径 35 mm×厚さ 3 mm	1 個
C-3	スピーカー	電池ボックス, アンプ, 3.5 mm ミニプラグ付	1 個
C-4	小型コンピュータ	Raspberry Pi 3B, ケース付	1 個
C-5	AC アダプター	Raspberry Pi 用	1 個
C-6	テンキーパッド	エレコム TKTCM011, USB	1 台
C-7	木片	30 mm×30 mm×5 mm	1 枚
A-3	丸ゴム樹脂たたき棒	両頭：黒（硬）, 灰（軟）	1 本
共-1	オシロスコープ	OWON 社, SDS5032E 型, プローブ 2 本付属	1 台
共-2	マイク	アンプ, 電池ボックス付	1 台
共-3	巻き尺	3 m	1 個
共-4	クリップ付コード	45 cm, 5 本入	1 組
共-5	乾電池	単 3	7 個
共-6	はさみ		1 本
共-7	粘着テープ		1 個
共-8	両面テープ		1 個
共-9	輪ゴム	# 14	8 本
共-10	方眼紙	A4, 1 mm 方眼	10 枚
共-11	両対数グラフ用紙	A4	1 枚
共-12	油性マーカーペン	細字	1 本

【実験の方法】

直径 34 mm, 長さ約 1.2 m のポリカーボネート製の管の中にマイクを設置する。管端の近くで外に置かれた音源から発生するパルス音をマイクで検出し、その出力波形をオシロスコープ上で観察する。音の入射側と反対の管端を開放した場合と蓋をした場合の反射音の波形の違いから音の反射と空気の疎密の対応関係を考察する。

【準備】

パルス音源

この課題ではパルス音源を必要とする。以下の 2 つの音源が利用できる。

- ・パルス音源Ⅰ：スピーカーを電気パルスで駆動することによりパルス音を発生する。
- ・パルス音源Ⅱ：木片を丸ゴム樹脂たたき棒でたたく。このときパルス音が発生する。

実験ではどちらの音源を用いてもよい。ただし、音源Ⅱではパルス音発生タイミングをオシロスコープに伝える手段(トリガー信号)がない。一方、音源Ⅰはスピーカーの駆動電圧でオシロスコープをトリガーでき、音の繰返し発生も可能である。以下ではもっぱら音源Ⅰを使う場合の準備と使用方法について述べ、音源Ⅱについては必要に応じて説明を加える。

スピーカーの準備 (図 3-1, 3-2, 3-3)

- ①スピーカー (図 3-1) 下の黒い箱は電池ボックスである。裏面にある蓋を外してから単 3 乾電池 3 本を極性に注意してセットした後、蓋を閉める。蓋は▼マークの部分を押しながら横にスライドすれば開く。
- ②スピーカーに加えるパルス電圧は小型コンピュータで発生させる。スピーカーにつながつている 3.5 mm ミニプラグを小型コンピュータのフォーンジャックにしっかりと差し込む (図 3-2)。
- ④ スピーカーにつながつているもう一対のリード線 (赤、黒) をオシロスコープの CH2 につなぐ。リード線の赤端子を CH2 のプローブのフックに、黒端子を CH2 のプローブのワニ口クリップにつなぐ。以上が済んだら、電池ボックス上面にあるスライドスイッチを ON する。
- ④制御用のテンキーパッドを小型コンピュータの USB 端子のひとつに接続する (図 3-3)。

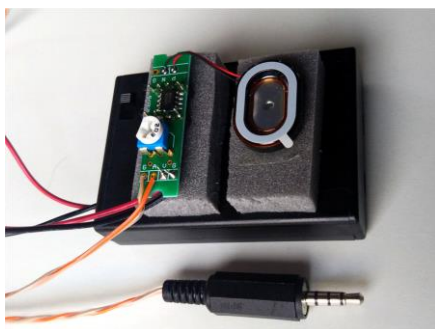


図 3-1 スピーカー



図 3-2 小型コンピュータの結線図



図 3-3 スピーカー音源

- ⑤以上の準備ができれば、AC アダプターを小型コンピュータのアダプター端子につなぎ、AC アダプターを 100 V テーブルタップに差し込む。なお、小型コンピュータには電源スイッチはなく、電源電圧が供給されると同時にコンピュータは起動を始める。
- ⑥コンピュータの起動には約 1 分かかる。1 分半後にテンキーの[7]キーを押し、スピーカーから断続的な音がすることを確認する。（ただし、[NUM]ボタンの LED が消灯していると動作しない。その場合には[NUM]ボタンを押して LED を点灯させること。）音が聞こえない場合や小さすぎる場合は[+]キーを複数回押す。逆に大きすぎる場合は[-]キーを複数回押す。確認がすんだら[0]キーを押し、音を止めておく。**音が確認できない場合は監督員に連絡すること。**

【注意】いきなり AC アダプターを抜くと小型コンピュータが壊れる可能性がある。電源を抜く場合は以下の手順に従うこと。①（[NUM]ボタンの LED が点灯した状態で）テンキーパッドの[BS]キーを 5 秒以上押す。②[BS]キーから手を放し、約 15 秒間待つ。③小型コンピュータの側面にある黄緑 LED が消灯したのを確認してから AC アダプターを取りはずす。

課題 3-1 オシロスコープによるパルス音の観測

課題 1、課題 2 にならって、マイクをオシロスコープの CH1 に接続し、電池を ON にする。CH2 はスピーカーにつながっている。オシロスコープは、下の手順に従い、設定すること。

- ① 赤い「CH1」ボタンを押し、画面下の設定が、Coupling は AC, Inverted は ON となっていることを確認する。なっていない時は正しく設定する。
- ② CH1 の波形（赤）が周囲の雑音によって変動していることを確認する。変動が小さいとき、あるいは大きすぎる場合は CH1 「VOLTS/DIV」つまみを回し調節する。
- ③ 「SEC/DIV」のつまみを回し、1 目盛あたりの時間間隔を 1ms/div に設定する。
- ④ 黄色い「CH2」ボタンを押し、CH2 の波形を表示させると共に、画面下の設定が、Coupling は DC, Inverted は OFF となっていることを確認する。違う場合には正しく設定する。
- ④ 本体右側のトリガー「Menu」ボタンを押し、Source が CH2, Coupling が DC であることを確認する。異なるときには正しく設定する。さらに「H5」ボタンを押し、Mode を Normal に設定する。これによってスピーカー駆動電圧が一定値を超えた瞬間にトリガーがかかることになる。
- ⑤ マイクをスピーカーの近くに置き、テンキーパッドの [7] キーを押し、パルス音をスピーカーから発生させる。トリガーレベルを調整し、パルス音に同期して波形が更新されることを確かめる。波形の表示を凍結させたいときは右上の「Run/Stop」ボタンを押す。これによって波形の表示の更新が停止され、ボタンの明かりが緑から赤に変わる。更新を再開するときにはもう一度「Run/Stop」ボタンを押せばよい。

※ 木片を使ってパルス音源とする場合の設定

この場合、音源でオシロスコープをトリガーすることができない。そこで CH1 のマイク信号そのものでオシロスコープをトリガーし単発（1 回きり）の信号を捕捉する。

- ① 課題 1, 課題 2 にならって、マイクをオシロスコープの CH1 に接続し、電池を ON にする。CH2 には何もつながらない。
- ② 赤い「CH1」ボタンを押し、画面下の設定が、Coupling は AC, Inverted は ON となっていること、さらに、Probe の下の「H3」ボタンを押して画面の右側の設定が、Attenu は×10, MeasCurr は NO となっていることを確認する。その後、黄色い「CH2」ボタンを押し、CH2 を非表示にする。
- ③ CH1 「VOLTS/DIV」つまみを回し、1 目盛あたりの電圧値を設定する。音波を観察しながら調整せよ。
- ④ 「SEC/DIV」のつまみを回し、1 目盛あたりの時間間隔を設定する。
- ⑤ 本体右側のトリガー「Menu」ボタンを押し、「H2」ボタンを押し Source を CH1 に設定する。さらに、「H5」ボタンを押し Mode を Normal に設定し、右端中央の「TRIG LEVEL」つまみを回してトリガーレベルを調節する。以下のテストを複数回行い、周囲の雑音ではトリガーがかからず、木片をたたいたときのみ直接波によってトリガーがかかるように調整せよ。
- ⑥ 波形が表示できたら、CH1 の電圧と時間の設定つまみを調整する。波形の最大値が飽和しない程度の適当な大きさで、かつ数パルス分のみが画面に表示されるようにせよ。
- ⑦ 雑音によるトリガーのせいで頻繁に波形が更新されてしまう場合には、「Run/Stop」ボタンを押して波形の表示を一旦固定するとよい。
- ⑧ 木片からの音はたたき方や保持の仕方で波形が大きく変わる。この実験では孤立した短パルス音が好ましい。図 3-4 のように、30 mm×30 mm×5 mm の薄い木片の対辺を指でしっかり抑え、丸ゴム樹脂たたき棒で板の中央をごく軽くたたくとよいことが経験的にわかっている。たたき棒の黒（硬い方）を使うと短いパルス音を作れるが、たたき方によって振動を伴いやすい。一方、灰（軟かい方）では振動は発生しにくいがパルス幅がやや広がる傾向がある。



図 3-4：木板によるパルス音の発生方法

問 3-1 マイクの近くでパルス音を発生させ、マイクの波形をオシロスコープで観察する。得られた波形を図示しなさい。時間軸、電圧軸の数値も記すこと。

オシロスコープの時間設定、電圧設定は上記の目的のために適した値に設定すること。トリガーレベルも適切に調節すること。スピーカー音源の操作はテンキーパッドのキーを押

して行う。キーと機能の対応は表 3-1 のとおりである。なお、数字キーは[Num]ボタンの LED 点灯時のみ動作する。

表 3-1：テンキーと音源操作機能の対応

7	パルス音の開始	1	停止	0	中断・再開
+	音量アップ	－	音量ダウン	BS 長押し	終了

音源 II の場合、たたき方により観察される波形が変わる。たたき方を工夫して、パルスの幅が 1 ms 程度となるようにし、電圧設定やトリガーレベルは波形が観察しやすいように設定せよ。また、パルス波形の観察においては大まかな（平均的な）波の形にのみ注目し、細かい変動は気にせず図示すればよい。

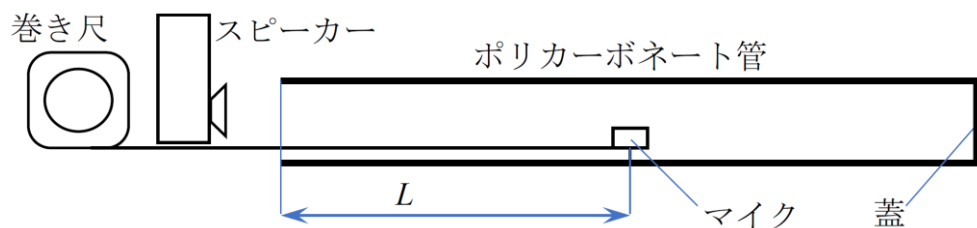


図 3-5 片端が閉じられたポリカーボネート管を用いた測定

課題 3-2 片端が閉じられたパイプ端面でのパルス音の反射の測定

この実験では、片端が閉じられた管を用意し、パルス音の”こだま”（反射エコー）の観測を試みる。閉じられていない管端の近傍に置かれた外部音源からパルス音を発生し、これを管内のマイクで検出する。(i)直接マイクに到達するパルス音、(ii)閉じられた管端で反射してマイクに伝わるパルス音、(iii)反射が複数回繰り返された後にマイクで検出されるパルス音の波形をオシロスコープで観察する。

- ① 内径 34 mm、長さ約 1.2 m のポリカーボネート管のひとつの端にアクリル円板を密着させ、すき間がないように粘着テープで固定して蓋をする。
- ② 図 3-5 のように、マイクを巻き尺の先端部に粘着テープあるいは両面テープで固定する。巻き尺を伸ばし、マイクをポリカーボネート管の中に導入する。閉じられていない方の管端の付近にパルス音源を置き、発生させたパルス音を管内のマイクで検出する。マイクの下に取り付けられている厚紙はマイク専用の回路を絶縁保護するためのものである。これが破損して短絡が起きないように注意すること。

問 3-2 ポリカーボネート管の全長を測定し、解答用紙の所定の欄に書きなさい。また管端からスピーカーまでの距離を測定し、所定欄に書きなさい。（音源 II を使用した場合でも、

木片と管端のおおよその距離を書き入れること。)

問 3-3 音が入射する管端からマイクの中心までの距離を L とする。 $L=40\text{ cm}$ の時、オシロスコープ上で観測されるパルス音源からの**直接波および反射波(複数あることに注意)**の波形を図示せよ。この際、波形が明瞭に表示されるようオシロスコープの時間軸を「SEC/DIV」, 「HORIZONTAL POSITION」つまみにより適当に選択・調整すること。作図においてはスピーカーにパルス電圧を与えた時刻を時間の原点にとりなさい。(木板を音源に使用した場合は直接波の到達時刻を原点にとること。)

問 3-4 $L=80\text{ cm}$ として問 3-3 と同様の測定を行い、オシロスコープで観測されたパルス音の波形を図示しなさい。

問 3-5 L を徐々に変えながらパルス音の波形の変化を観察しなさい。その観察および問 3-1 から問 3-4 の実験結果をもとに問 3-4 の波形が得られる理由を考察しなさい。なお、問 3-1 から問 3-4 の図中の波形において特徴的な位置に記号を付け、それらを参照しつつ説明してもよい。

問 3-6 $L=80\text{ cm}$ の時、スピーカーにパルス電圧が供給された時刻を $t=0$ とする。直接パルス音や反射エコー(複数の発生が見込まれる)のマイクへの到達時間を測定し、解答用紙の該当欄に書き入れなさい。また、その間にパルス音が走行する距離をそれぞれ該当欄に書きなさい。(木板を音源とした場合は初めてパルス音波がマイクに到達した時刻を $t=0$ としなさい。)

問 3-7 問 3-6 の結果から管内を伝わるパルス音の速さを求めなさい。ただし、開口端補正は無視できるものとする。

課題 3-3 両端が閉じられていない(両開口端)管におけるパルス音の反射の測定

課題 3-2 の蓋を取り外し、管の両端を開口端にする。図 3-6 のように、ひとつの管端の近くに音源を置き、巻き尺を用いてマイクを音源と同じ側の管端から距離 L の位置に設置する。

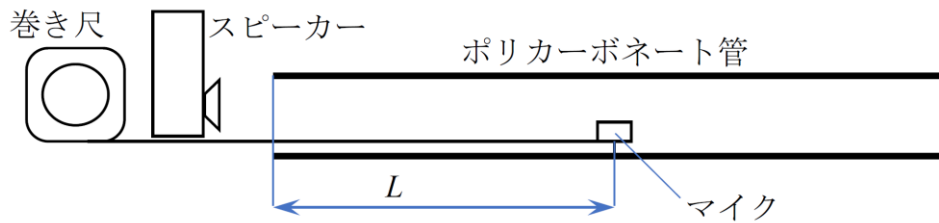


図 3-6 両端が閉じられていない（両開口端の）管を用いた測定

問 3-8 $L = 80 \text{ cm}$ の時，問 3-3 と同様にオシロスコープ上で観測される音源からの直接パルス音と複数の反射エコーの波形を図示しなさい。

課題 3-4 閉口端と開口端でのパルス音の反射についての考察

問 3-9 問 3-4（片側閉口， $L = 80 \text{ cm}$ ）と問 3-8（両側開口， $L = 80 \text{ cm}$ ）で観察した波形を比較し，その類似点と相違点を述べなさい。

問 3-10 問 3-9 で調べた波形の違いから，開口端での反射と閉口端での反射において，入射パルス音の空気の疎密と反射パルス音の空気の疎密がそれぞれどのように対応していると考えられるかを答えなさい。

問 3-11 問 3-10 で答えた入射波と反射波の疎密の関係が生じる理由を考察しなさい。

付録：電子はかりの使用方法

使用する電子はかりは、最大で 2000 g まで測定できるが、通常モードでの分解能は 1 g である。微量モードでは、測定範囲 1000 g 以下では分解能 0.5 g、さらに 200 g 未満では分解能 0.1 g で測定できる。また、電池の節約のために、6 分以上同じ表示が続くと、電源が切れる（オートパワーオフ）ので注意する必要がある。なお、[g/ml] ボタンは使用しない。

- (1) このはかりは電源として単 4 乾電池2個を使用する。乾電池は箱の中のプラスチックケースに入っている。まず、本体裏側中央のふたを外して電池をセットしなさい。もし乾電池がない場合や電源が入らない場合は監督者に知らせること。
- (2) 通常使用時は、[ON/OFF] ボタンを押し電源を入れると、約 4 秒後に、0 を表示して計量できるようになる。最初は通常モードとなり小数点以下は表示されない。このモードでは上部に **1** マークが表示される。
- (3) 電源の入った状態で、計量皿に容器などの測定物がのっていても、[0 表示/微量]のボタンを1回押すと、表示は 0 となり、容器の質量を差しひいた、追加の質量だけを測定できる。また、電源の切れた状態で計量皿に容器などの測定物を乗せた後、電源を入れた場合も同じ状態となる。
- (4) 計量皿にのっている質量が 200 g 未満のとき、もう一度、[0 表示/微量]のボタンを押すと、微量モードとなり、質量表示は 0.0 となる。この微量モードでは上部に **0.1** マークが表示される。この場合、計量皿の上の質量が[0 表示/微量]のボタンを押したときの基準質量より軽くなると、表示はマイナスとなることに注意する。微量モードの場合は、わずかに表示がふらついて安定しないことがある。
- (5) 上記の機能を確認するために、何ものっていない状態で [ON/OFF] ボタンを押して4秒以上待ち、画面の表示テストが終了して表示が 0 となることを確認しなさい。次に鉛筆等をのせた後、[0 表示/微量] ボタンを押して表示が 0 になることを確認しなさい。もう一度 [0 表示/微量] ボタンを押すと表示が 0.0 になることを確認しなさい。
- (6) 次に、電源を切った状態で鉛筆等をのせ、電源を入れた場合は表示が 0 になり、[0 表示/微量] ボタンを押すと表示が 0.0 になることを確認しなさい。表示がおかしいときには監督者を呼ぶこと。

実験の終了手順

終了の合図があったら、解答をやめ、解答用紙を机の上に置き、監督者による回収がおこなわれるまで静かに待つこと。

回収が終了し、監督者の指示があったら、以下の手順で器具をしまうこと。

- (1) 小型コンピュータ：いきなり AC アダプターを抜くと小型コンピュータが壊れる可能性がある。電源を抜く場合は以下の手順に従うこと。① ([NUM]ボタンの LED が点灯した状態で) テンキーパッドの[BS]キーを 5 秒以上押す。②[BS]キーから手を放し、約 15 秒間待つ。③小型コンピュータの側面にある黄緑 LED が消灯したのを確認してから AC アダプターとテンキーパッドを取りはずす。AC アダプターとテンキーパッドは専用箱に入れる。
- (2) スピーカー：ミニプラグを小型コンピュータから外す。スピーカーの下で電池ボックスを開き、乾電池 3 本を取り出した後、再び蓋をし、小箱の中にしまう。
- (3) マイク：電池ボックスを開き、乾電池 3 本を取り出した後、再び蓋をし、小箱の中にしまう。
- (4) トリガー用の単 3 電池 1 本を電池ボックスから取りはずす。
- (5) 取りはずした単 3 電池 7 本は電池用ビニール袋に入れる。
- (6) 電子はかり：裏面の蓋を開き、単 4 電池 2 本を取り出し、再び蓋をする。電子はかりと取り出した電池 2 本は専用紙箱に収納する。
- (7) オシロスコープ：上部の電源スイッチを押し OFF にする。電源コードを外す。入力プローブ 2 本を外し専用ビニール袋に入れる。端子保護プラグがあれば差し込む。専用箱に収納する。収納するものは、オシロスコープ本体（発泡スチロール保護材で保持）、電源コード、入力プローブ 2 本、USB ケーブル、説明小冊子、CD。
- (8) 1m の試料棒（鉄、アルミ、銅、アクリル）は輪ゴムでまとめる。
- (9) 課題 1 用の真鍮試料棒（ $L = 150, 200, 250, 300 \text{ mm}$ ）は輪ゴムでまとめる。
- (10) 実験生じたゴミはビニール袋にまとめ机の上の一カ所に置くこと。机に付いた両面テープは必ずはがすこと。
- (11) オシロスコープ、1 m の試料棒、ポリカーボネートパイプ、問題冊子、解答用紙、ゴミ類以外のものは、段ボール箱に整理して収納し蓋をする。
- (12) 問題冊子（別冊を含む）と下書き用紙は持ち帰ってよい。