

# 1 音速の測定

## 1 目的

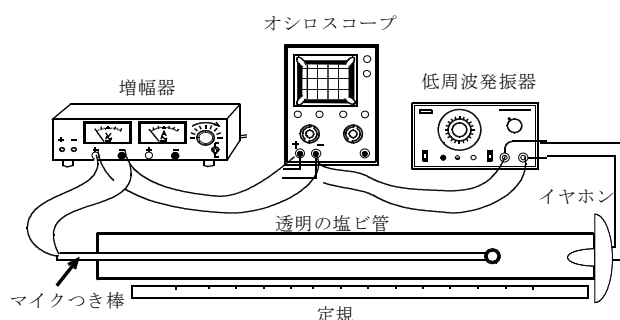
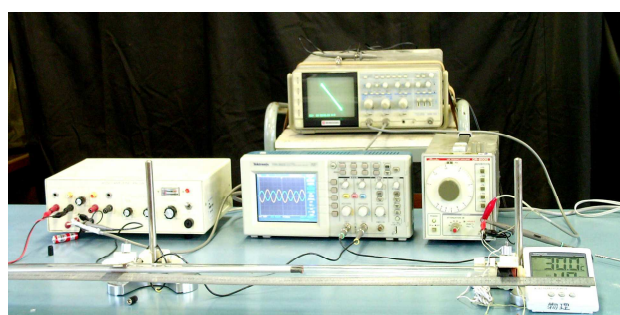
音源と同じ振動をしているところをマイクでさがし、音源の波形とマイクの波形によるリサージュ図形により音速を測定する。

## 2 準備

低周波発振器、イヤホン（小型スピーカー）、マイクつき棒（コンデンサーマイク）、増幅器、オシロスコープ、1 m塩ビ管（透明）、ゴム栓、ビニール袋、気柱固定スタンド、温度計、1 m定規、長さ1 m以上の径の太い塩ビ管、水素、酸素、二酸化炭素

## 3 実験装置

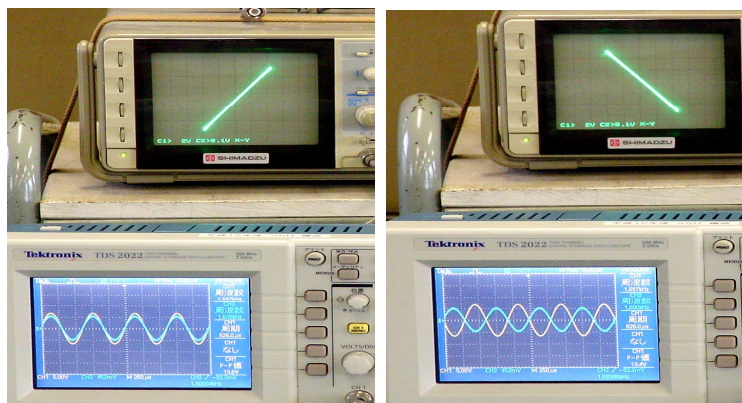
- (1) 低周波発振器からイヤホン（小型スピーカー）とオシロスコープのチャンネル1に接続する。
- (2) マイクから増幅器を経てオシロスコープのチャンネル2に接続する。
- (3) オシロスコープの、チャンネル1を縦軸に、チャンネル2を横軸にしてリサージュ図形が現れるようにする。
- (4) 塩ビ管の両側は、気体ができるだけ出入りしないようにしておく。



## 4 実験

- (1) 室温における空気中の音速測定  
ア 低周波発振器から 1600Hz 前後の音波を出す。

イ マイクつき棒を動かして、オシロスコープを見ながらリサージュ図形が一直線になるところをさがし、目盛りを読む。初めはマイクつき棒を塩ビ管から引いておく（長い気柱から行う）。  
温度を測定する。



- ウ マイクつき棒を押し進め、傾きが反対の一直線になるところ（位相差  $180^\circ$ ）をさがし、目盛りを読む。
- エ マイクつき棒を押し入れ、イと同じ傾きの一直線になるところの目盛りを読む。
- オ マイクつき棒を押し入れ、ウと同じ傾きの一直線になるところの目盛りを読む。
- カ さらにマイクつき棒を押し入れ、イと同じ傾きの一直線になるところの目盛りを読む。
- キ イ～カを繰り返し、3回以上のデータを取る。それぞれ温度測定する。
- ク 目盛りの差を求め、平均を取る。この値が半波長の長さとなるので、2倍して波長を求め、周波数との積を計算する。
- ケ 周波数を 1600Hz 前後、1700Hz 前後と変え、イからキと同様の測定を行う。

(2) 室温における他の気体中での音速測定

- ア 酸素  $O_2$  で管内を満たし、(1) のイからクと同様の測定を行う。
- イ 二酸化炭素  $CO_2$ 、水素  $H_2$  で管内を満たし、(1) のイからクと同様の測定を行う。空気より軽い気体のときは、気体注入後、できるだけ速く測定を行うとよい。また、空気より重い気体は気体注入後、十分に時間がたって波形が安定してから測定を行うとよい。

(3) 高温・低温における空気中の音速測定

- ア 塩ビ管全体をビニール袋に包み（水が入らないよう）、径の太い塩ビ管に入れ、温水・氷水で満たす。
- イ (1) のイからクと同様の測定を行う。
- ウ 気体の温度については、まわりの水の温度を計測し、気体の温度とする。



## 5 結果と考察

(1) 室温における空気中の音速測定

気温  $29.9^\circ C$ 、振動数 1600Hz での 3 回の平均値

リサージュ図形	目盛り [mm]	差 [mm]
／	638.0	109.0
＼	529.0	110.0
／	419.0	109.0
＼	310.0	110.0
／	200.0	110.0
平均		109.5

$$\text{測定値 } V = 1600 \times 0.1095 \times 2 = 350.4 \text{ m/s}$$

$$\text{計算値 } (V = 331.5 + 0.60 t) \\ V \approx 349.4 \text{ m/s}$$

$$\text{誤差 } 0.29 \%$$

気温  $29.8^\circ C$ 、振動数 1502Hz での 3 回の平均値

リサージュ図形	目盛り [mm]	差 [mm]
／	667.0	117.0
＼	550.0	117.0
／	433.0	116.0
＼	317.0	117.0
／	200.0	117.0
平均		116.8

$$\text{測定値 } V = 1502 \times 0.1168 \times 2 = 350.9 \text{ m/s}$$

$$\text{計算値 } (V = 331.5 + 0.60 t) \\ V \approx 349.4 \text{ m/s}$$

$$\text{誤差 } 0.43 \%$$

気温 29.7℃、振動数 1704Hz での 3 回の平均値

リサージュ図形	目盛り [mm]	差 [mm]
／	507.0	101.0
＼	406.0	102.0
／	304.0	102.0
＼	202.0	102.0
／	100.0	102.0
平均		101.8

$$\text{測定値 } V = 1704 \times 0.1018 \times 2 = 346.9 \text{ m/s}$$

$$\text{計算値 } (V = 331.5 + 0.60 t) \\ V \approx 349.3 \text{ m/s}$$

誤差 0.69%

予想以上により結果が得られた。

今回の実験では、オシロスコープを 2 台使用し、1 台はリサージュ図形を表示するもの、またもう一つは音源とコンデンサーマイクの 2 種の波形を表示するものにした。リサージュ図形では一直線となるところが、それぞれの波形の山と山、谷と谷が重なる、あるいは山と谷が重なるところとなる。このことが視覚的に理解でき、その移り変わりようからリサージュ図形の描き方も感覚的に理解できる。

## (2) 室温における他の気体中での音速測定

酸素 気温 30.7℃、振動数 1600Hz での 3 回の平均値

リサージュ図形	目盛り [mm]	差 [mm]
／	571.0	104.0
＼	467.0	103.0
／	364.0	105.0
＼	259.0	105.0
／	154.0	105.0
平均		104.3

$$\text{測定値 } V = 1600 \times 0.1043 \times 2 = 333.8 \text{ m/s}$$

$$\text{計算値 } (V = 258.0 + 0.87 t) \\ V \approx 334.7 \text{ m/s}$$

誤差 0.27%

二酸化炭素 気温 30.7℃、振動数 1600Hz での 3 回の平均値

リサージュ図形	目盛り [mm]	差 [mm]
／	453.0	87.0
＼	366.0	88.0
／	278.0	90.0
＼	188.0	90.0
／	98.0	90.0
平均		88.8

$$\text{測定値 } V = 1600 \times 0.0888 \times 2 = 284.4 \text{ m/s}$$

$$\text{計算値 } (V = 258.0 + 0.87 t) \\ V \approx 284.7 \text{ m/s}$$

誤差 0.11%

水素 気温 31.4℃、振動数 1600Hz での 3 回の平均値

リサージュ図形	目盛り [mm]	差 [mm]
／	465.0	414.0
＼	51.0	
／		
平均		414.0

$$\text{測定値 } V = 1600 \times 0.414 \times 2 = 1325 \text{ m/s}$$

$$\text{計算値 } (V = 1269.5 + 2.00 t) \\ V \approx 1332 \text{ m/s}$$

誤差 0.53%

この実験でも予想以上により結果が得られた。

空気以外の気体の実験を行う場合は、水素を除いてはガス注入後しばらく時間をおかないと、コンデンサーマイクで受け取る波形に大変雑音が多く、測定ができない。その理由としては、気体の温度変化（温度上昇）および管内での対流が考えられる。そのためその点を留意して実験を行うとよい。

(3) 低温・高温における空気中の音速測定

水温 0.90 °C、振動数 1608Hz

リサーチ図形	目盛り [mm]	差 [mm]
／	885.0	103.0
＼	782.0	103.0
／	679.0	103.0
＼	576.0	104.0
／	472.0	103.3
平均		103.3

$$\text{測定値 } V = 1608 \times 0.1033 \times 2 = 332.2 \text{ m/s}$$

$$\text{計算値 ( } V = 331.5 + 0.60 t \text{ ) } \\ V \approx 332.0 \text{ m/s}$$

誤差 0.06 %

水温 0.80 °C、振動数 1608Hz

リサーチ図形	目盛り [mm]	差 [mm]
／	883.0	102.0
＼	781.0	104.0
／	677.0	104.0
＼	573.0	102.0
／	471.0	103.0
平均		103.0

$$\text{測定値 } V = 1608 \times 0.103 \times 2 = 331.2 \text{ m/s}$$

$$\text{計算値 ( } V = 331.5 + 0.60 t \text{ ) } \\ V \approx 332.0 \text{ m/s}$$

誤差 0.24 %

水温 0.60 °C、振動数 1608Hz

リサーチ図形	目盛り [mm]	差 [mm]
／	883.0	102.0
＼	781.0	104.0
／	677.0	104.0
＼	573.0	102.0
／	471.0	103.0
平均		103.0

$$\text{測定値 } V = 1608 \times 0.103 \times 2 = 331.2 \text{ m/s}$$

$$\text{計算値 ( } V = 331.5 + 0.60 t \text{ ) } \\ V \approx 331.9 \text{ m/s}$$

誤差 0.21 %

水温 53.2 °C、振動数 1595Hz

リサーチ図形	目盛り [mm]	差 [mm]
／	661.0	114.0
＼	547.0	114.0
／	433.0	115.0
＼	318.0	114.3
平均		114.3

$$\text{測定値 } V = 1595 \times 0.1143 \times 2 = 364.6 \text{ m/s}$$

$$\text{計算値 ( } V = 331.5 + 0.60 t \text{ ) } \\ V \approx 363.4 \text{ m/s}$$

誤差 0.33 %

水温 52.4 °C、振動数 1595Hz

リサーチ図形	目盛り [mm]	差 [mm]
／	662.0	114.0
＼	548.0	113.0
／	435.0	114.0
＼	321.0	113.7
平均		113.7

$$\text{測定値 } V = 1595 \times 0.1137 \times 2 = 362.7 \text{ m/s}$$

$$\text{計算値 ( } V = 331.5 + 0.60 t \text{ ) } \\ V \approx 362.9 \text{ m/s}$$

誤差 0.06 %

水温 51.9 °C、振動数 1595Hz

リサーチ図形	目盛り [mm]	差 [mm]
／	659.0	114.0
＼	545.0	114.0
／	431.0	113.0
＼	318.0	113.0
平均		113.7

$$\begin{aligned} \text{測定値 } V &= 1595 \times 0.1137 \times 2 \\ &= 362.7 \text{ m/s} \end{aligned}$$

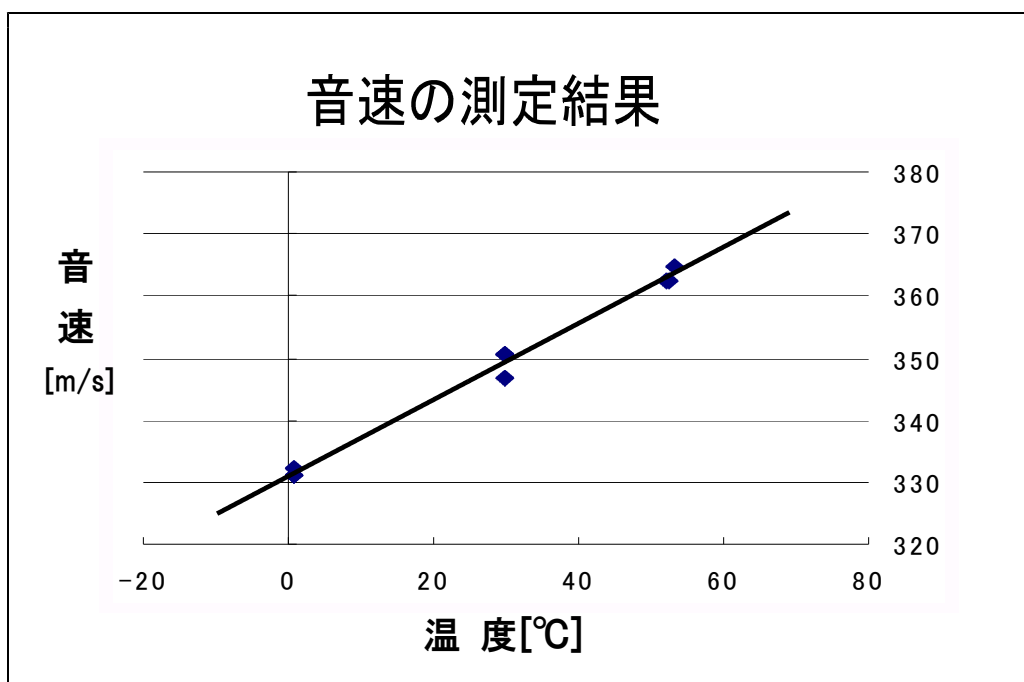
$$\begin{aligned} \text{計算値 ( } V &= 331.5 + 0.60 t \text{ )} \\ V &= 362.6 \text{ m/s} \end{aligned}$$

誤差 0.03 %

この実験でも充分時間をおかないと、気体の状態が安定しなかった。その理由としては、気体の温度変化による管内での対流が考えられる。

苦勞した点といえはいかにして防水加工を施すかということであった。防水をしっかりとっておかないと、水が管内に漏れ入ってからはデータに変化が現れ、異常な数値が出てしまう。さらにはスピーカーやコンデンサーマイクまで壊れてしまうことも考えられる。防水技術、または空気の温度を、低温・高温とも安定させる方法が今後の課題である。

次に、(1) と (3) より空気の温度と音速の関係のグラフを作成した。



この結果より、 $V = 331.02 + 0.61 t$  というグラフが得られた。

また、0 °C の時の音速および温度係数は非常によい値が得られた。

## 6 発 展

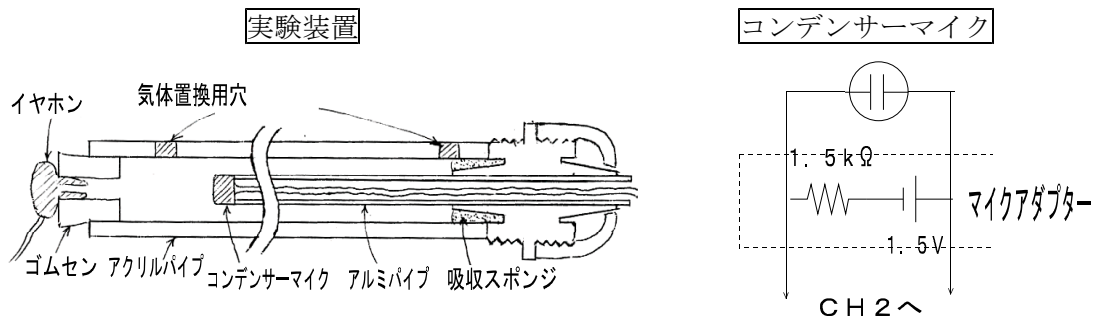
空気以外の気体については、今回は酸素、二酸化炭素、水素を行ったが、生徒実験では水素は危険なため扱わない方がよいであろう。その他、手に入りやすい気体としてはヘリウム、ブタン

などが考えられる。ブタンの温度係数を求める実験などは非常に発展性がある。(理科年表に掲載されていない)

また、酸素や二酸化炭素に関しては入手しやすいので、温度係数を求めることもできる。

## 7 参考文献

なお、実験に使用した装置、コンデンサーマイクのアダプターの回路を下図に示す。



東京理科大学 『SUT BULLETIN 1994.7』、東京理科大学出版、1994年

国立天文台 『理科年表 2003年度版』、丸善株式会社、2003年