

§1 目的

音波の共鳴現象を利用して音速を測定する。

§2 実験の原理

音波は気体・液体・固体の弾性体に生じた振動が、振動方向と同じ方向に波として伝播していくものである。音波は媒質（空気など）の構成粒子が振動し、それが次々と近傍の粒子の振動を起こしていくために生ずる波である。このため、媒質中に粒子が密集した部分と、その密集した部分に向かって粒子が大きく変位するために、粒子の密度が低くなった部分とが交互に生じている。このような現象から疎密波などと呼ばれる。粒子が密集した空間では、粒子同士が盛んに衝突しており、圧力が高くなっている。反対に、粒子密度が低いところでは圧力も低い。この音波の形成によって生じた圧力を音圧と呼ぶ。

気柱管の一端に固定されたスピーカーは、コーンを振動させて空気の分子を弾き飛ばす。空気分子は互いに衝突を繰り返すので、スピーカーコーンの振動は空気の振動となって、気柱管の反対の端に伝わっていく。媒質中に形成された疎密の繰り返しパターンでは、密-疎-密（あるいは疎-密-疎）のパターンが一つの波の単位であり、これが空間的に並列している。密-疎-密の空間パターンの長さを波長 λ [m]と呼ぶ。そして、空間のある位置で密-疎-密が時間的に反復して交互にあらわれる。この反復が1回起きる時間周期を音波の周期 T [s]と呼ぶ。

スピーカーコーンが空気を「圧縮」-「膨張」-「圧縮」するとき、上の周期の波が形成される。これが媒質空気を伝わっていくときの速度が音速 C_s である。1周期の波のパターンを考えると、波長 λ の距離を周期 T の長さの時間で移動すると捉えられるので、音速は次のように表わされる。

$$C_s = \frac{\lambda}{T} = v\lambda \quad (1)$$

ここで、 v [Hz] は振動数である。すなわち、一秒間に繰り返される波の数である。したがって、 $vT=1$ の関係がある。

さて、気柱管の他端をピストンの壁で閉じている場合を考える。空気分子はこの壁に衝突して反対方向に運動し、また他の空気分子と衝突を繰り返す。これが、スピーカーからの入射波に対して、ピストン壁に反射され、反対方向に伝播する反射波となる。スピーカーから入射波を送り続ける限り、管内には入射波と反射波とが重ねあわさり、干渉した波が形成される。さらに、管の長さが $\lambda/2$ の整数倍の長さのとき、管内の干渉波の強さが最大になり、強い音が発生する。これを音波の共鳴と呼ぶ。共鳴状態のとき干渉波は管内に規則的に疎密部を形成する「定在波」の状態になっている。ピストンの位置を動かして音波の共鳴状態を見つけることにより、音波の波長を測定することができる。

§3 実験方法

スピーカーには発振器から正弦波の電圧を入力する。この発振振動数 v を次のようにして $v=2000$ [Hz]付近の値とする。発振器をスピーカーに接続せずに、出力端子をデジタルオシロスコープにのみ接続してオシロスコープに安定波形を得る。この状態で発振器の出力周波数をオシロスコープの周波数測定器を利用して直接測定しながら2kHzに最も近い状態に調節する。そのまま、発振器の周波数測定値の揺らぎを10回記録し発振周波数の平均値及び測定誤差を見積もる。

次に閉管内の音波の共鳴点の測定を行う。ピストンの位置を1cmずつ移動させながら、ピストンの中央に付けられたレーザーの出力ピークとピーク電圧をオシロスコープで測定する。レーザー出力電圧はピストン壁の位置での音圧の目安となる。出力電圧のピークが4個所出るまで測定を続ける。さらに、ピークの位置付近について、ピストンの位置を1mmずつ移動させながら出力電圧が最大となる位置を正確に求める。ピストンの壁面の位置は、気柱管内に固定された1[mm]目盛りのスケールを用いて計測する。

レーザー出力電圧が最大となるピストン壁の位置の間隔から音波の波長 λ を算出する。

[ここに装置図と説明文を挿入する]

§4 実験結果

表1に閉管のスピーカーへの入力周波数の測定値、及びその平均値・標準偏差を示す。

入力周波数 ν [Hz]	□□□□
	以下データを書く
平均値 $\bar{\nu}$ ± 標準偏差 $\Delta \nu$ [Hz]	□□□□ ± □□

表1. スピーカー入力周波数の測定値

発振器をスピーカーに接続していない状態での発振器の出力周波数をオシロスコープで測定したもの。

表2には、ピストンを移動したときの閉管の長さやレーザー出力電圧の測定値を示した。出力電圧が最大となる共鳴点付近では、ピストンの移動距離を1mmとしている。

閉管の長さ [cm]	出力電圧 [mV]
□□.□□	□□.□□□
以下、データを続ける	

表2. 閉管の長さとしレーザー出力電圧の測定値

閉管内のピストンを移動することにより閉管の長さを変えて、ピストンに設置したレーザーの出力電圧を測定したもの。(表の長さは自分の測定個数によって変わります)

さらに、表2の測定値をプロットしたものが図1である。図より、ほぼ等間隔に出力電圧が最大となる共鳴点が表われていることが確認できる。

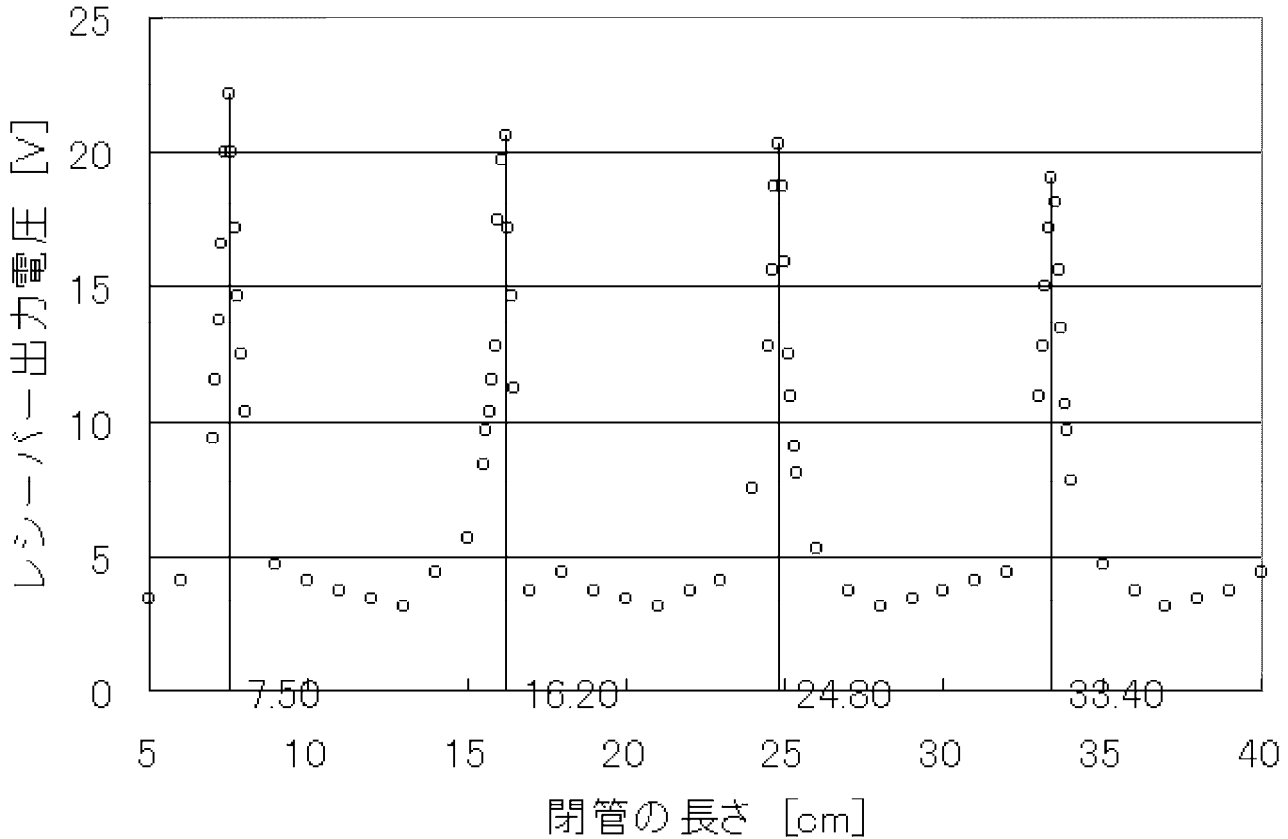


図1. 閉管の長さとしレーザー出力電圧

○は測定値。実線の直線は共鳴点の位置を示す。直線の右に示した数字は、共鳴点の位置での閉管の長さを示す。共鳴点の間隔は図の左から□.□□, □.□□, □.□□, □.□□cmである。

得られた共鳴点の位置座標と、共鳴点の間隔から求めた音波の波長の測定値を表3にまとめた。

共鳴点の位置 [cm]		音波の波長 [cm]	
x_1	□□.□□		
x_2	□□.□□	$\lambda_1 = x_3 - x_1$	□□.□□
x_3	□□.□□	$\lambda_2 = x_4 - x_2$	□□.□□
x_4	□□.□□		

表3. 共鳴点の位置座標と、共鳴点の座標の差から求めた音波の波長

音波の波長 λ_1 、 λ_2 は、それぞれ、第3共鳴点と第1共鳴点の間隔、第4共鳴点と第2共鳴点の間隔の大きさに相当する。

表3より、音波の波長 λ の測定値は λ_1 、 λ_2 の平均値として求められ、次の値である。

$$\lambda = \square.\square\square\square \times 10^{-\square} \text{ m}$$

波長の測定誤差 $\Delta\lambda$ は、 $\lambda_1 \neq \lambda_2$ の場合には $\Delta\lambda = |\lambda_1 - \lambda_2|$ とし、 $\lambda_1 = \lambda_2$ の場合には $\Delta\lambda = 0.01\text{cm}$ (即ち巻尺の測定感度) として見積もる。従って、

$$\Delta\lambda = \square.\square\square\square \times 10^{-\square} \text{ m}$$

と求められる。

以上と表1の結果から(1)式をもとに音速 C_s の値を算出する。

$$C_s = \nu \cdot \lambda = \square\square\square\square \text{ Hz} \times \square.\square\square\square \times 10^{-\square} \text{ m} = \square\square\square.\square \text{ m/s}$$

次に下式に上で求めた値を代入して音速 C_s の測定誤差 ΔC_s の値を求める。

$$\frac{\Delta C_s}{C_s} = \frac{\Delta \nu}{\nu} + \frac{\Delta \lambda}{\lambda}$$

以上から、音速は次のように求められた。

$$C_s = \square\square\square.\square \pm \square.\square \text{ m/s} \quad (1)$$

§5 考察

図1より、気柱管内部には音波の定常波が形成され、音圧の高い部分が等間隔に現れていることが確認できた。

音圧の最大値はスピーカーから離れるに従って、やや減少する傾向が見られた。これはピストンを引いて気柱管を長くするほど、管壁などを通じて空気の振動のエネルギーが外部に散逸するためではないかと思われる。

一般に、 0°C 、1気圧のもとでの音速は 331.5m/s であることが知られている。これを基準として、 $\theta^\circ\text{C}$ 1気圧における音速を与える次のような関係式が知られている。

$$C_\theta \approx 331.5 - 0.61\theta$$

実験時の室温 $\theta = \square\square.\square^\circ\text{C}$ をもとに上の値を求めると次のようになる。

$$C_\theta = \square\square\square.\square \text{ m/s} \quad (2)$$

これと本実験で測定した音速 $C_s = \square\square\square.\square \pm \square.\square \text{ m/s}$ とを比較すると、測定誤差の範囲で実験結果は(2)の値と_____する。

§5 結論

室温 $\theta = \square\square.\square^\circ\text{C}$ での音速の値は $C_s = \square\square\square.\square \pm \square.\square \text{ m/s}$ と求められた。