

(2) 単元「波」の指導実践事例

事例 1 演示実験「気柱の振動の可視化」

1 実験の概要

気柱の振動は実際に目で見ることはできないので、以前から可視化の試みが数多くなされてきた。その中でも有名なものがクントの実験である。クントの実験は、ガラス管の中にコルク等の粉末を入れ、気柱が共鳴したとき、つまり管内に定在波が生じたときに、その腹の部分と節の部分で、粉末が振動する様子が異なることから気柱の振動を観察できるようにしたものである。実験用のコルク粉末なども販売されているが、その代用品として小さな発泡スチロール球や発泡ビーズなどを用いることができる。また、管内に水を張って、水しぶきがあがる様子から気柱の振動の様子を観察したりする例も見られる。ここでは、手軽な実験例として、透明なアクリル管内に発泡ビーズを入れる場合について紹介する。

2 ねらい

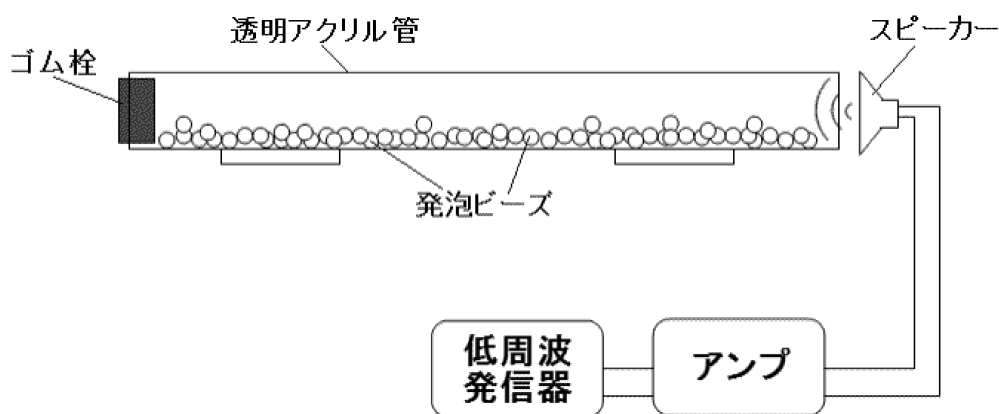
気柱にできる定在波（定常波）を可視化することにより、音波の共鳴現象に関する理解を深める。

3 準備物

低周波発信器、アンプ、スピーカー、発泡ビーズ（直径 5.0mm のものを使用）、スタンド 1 台、透明アクリル管（長さ約 102cm、外径 60mm、厚さ 6.0mm を使用）、管を支える台

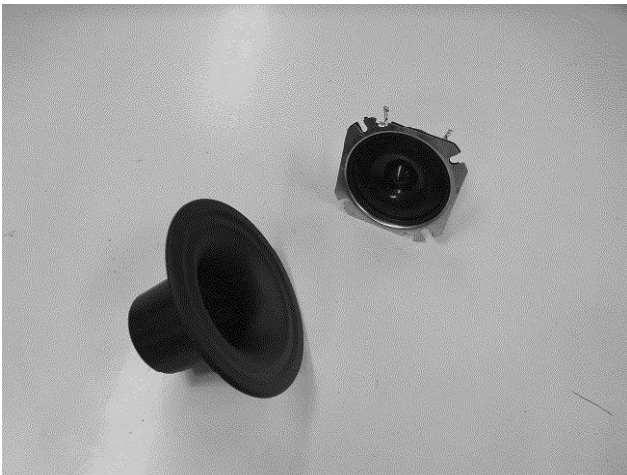
4 発泡ビーズを用いた実験の手順

(1) 図 1 のように実験装置を準備する。発泡ビーズは、あまり多く入れる必要はなく、図 1 のように管の下面に均一に広がる程度で十分である。スピーカーはスタンドで固定する。アクリル管は机などに直接触れないように、小さな台で支えて宙に浮かすようにする。



【図 1】

(2) スピーカーとアクリル管の開口部は、できるだけ近づけ、音が漏れないようにする。ただし、スピーカーとアクリル管を直接接触させると、アクリル管が破損するおそれがあるので、今回はスピーカーの先に図 2-1、図 2-2 のような筒を取り付けて、音を逃がさないように工夫した。また、アクリル管の端にはビニルテープなどを巻き付けて補強をしておくとうい。



【図 2-1】



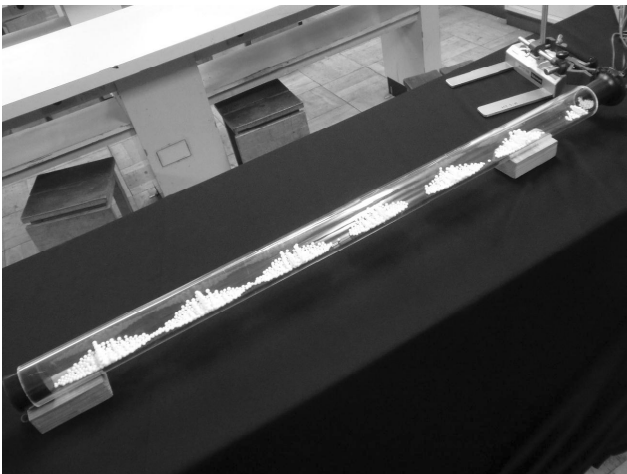
【図 2-2】

(3) 低周波発信器の振動数を変化させて、共鳴するところを探す。音量は、スピーカーを壊さないよう気を付けながら、できるだけ大きくするとビーズがよく振動し観測しやすい。

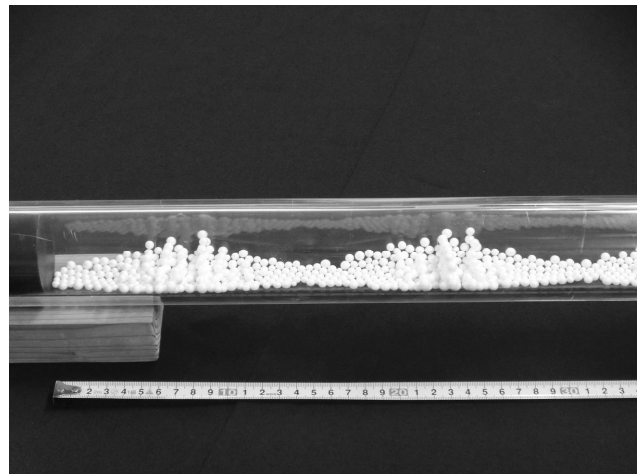
5 発泡ビーズを用いた実験の結果

(1) 発泡ビーズの振動

図 3-1 は、管内に定在波ができている状態である。空気が大きく振動する腹にはビーズが集まり、振動しながら小高くなる。節のところはビーズが疎になる。管の左側はゴム栓でふさがれているので定在波の節になる。定在波の腹と腹、節と節の間隔は半波長であるから、図 3-2 のようにしてこれらを測定することによって波長 λ を求め、 $V = f \cdot \lambda$ の式から音速を求めるなど、気柱の振動を可視化するだけでなく、学習を発展させ深めることも可能である。



【図 3-1】



【図 3-2】

(2) 生徒の感想

- ・振動数を変えていったら、発泡ビーズがヒュッと動いておもしろかった。
- ・共鳴してうるさいときには、あんな空気の振動があったんだと実感できた。
- ・ビーズがぷるぷるしてかわいかった。

等

6 ニクロム線を用いた気柱の共鳴の可視化

さらに、発展例として、ガラス管内でニクロム線を赤熱させ、このニクロム線の色の変化により気柱の振動の様子を可視化する実験を紹介する。ニクロム線には周期的なはっきりとした明暗が現れるので見た目にも美しく、腹と節の判断もしやすい。また非常に大きな音を出して共鳴させるので、ダイナミックな実験でもある。生徒の意欲や興味・関心を高めることにも役立つと考えられる。

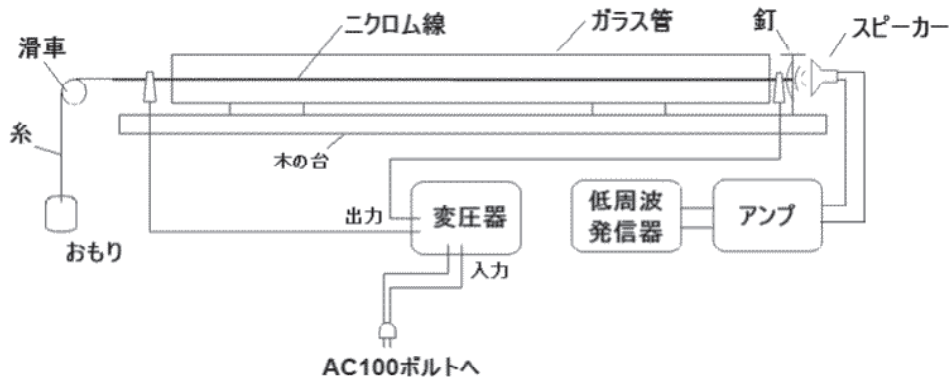
◇準備物

低周波発信器、アンプ、スピーカー、ニクロム線（径 0.50mm を使用）、リード線 6 本、変圧器（スライダック）、ガラス管（長さ約 150cm、外径 40mm、厚さ 2.0mm を使用）
スタンド 2 台、釘（ニクロム線を固定する）、滑車、たこ糸、おもり（約 500g）、C 型クランプ

◇実験の手順

（1）実験装置について

図 4 のように実験装置を準備した。



【図 4】

図 5 は、実際に図 4 の回路を組んだ様子の写真である。低周波発信器とアンプ、スピーカーをつなぎ、気柱を共鳴させる仕組みは発泡ビーズの実験と同様である。先述の実験と異なる点は、管中に発泡ビーズを入れる代わりに、管の中心軸を通るようにニクロム線を張り、それに電流を流して赤熱させることである。このとき、管も高温になるので、アクリル管ではなくガラス管を用いた。

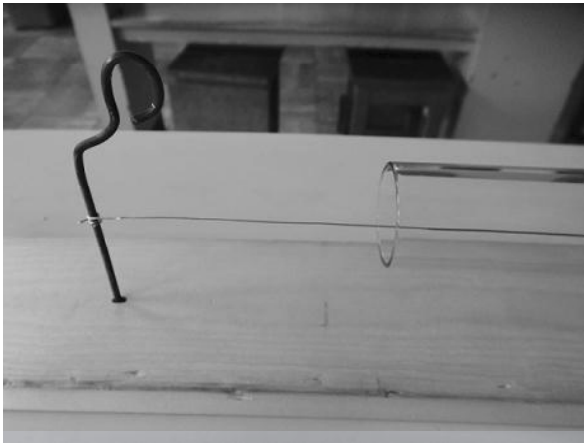
※注意※ 赤熱したニクロム線がガラス管に触れていなくても、ガラス管やその周囲は非常に高温になるので、やけどなどに十分注意しなければならない。また、ガラス管にリード線や他の物が触れないよう気を付けるようにする。



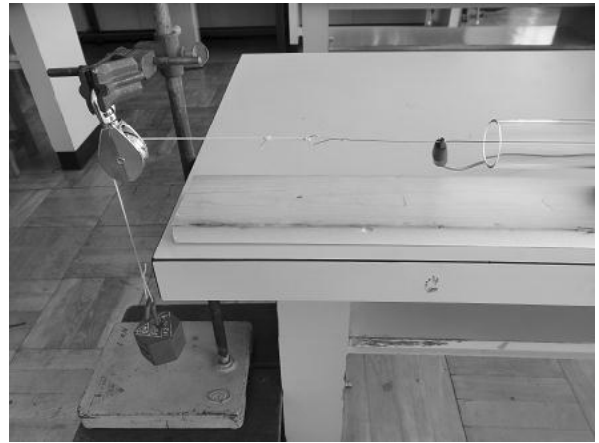
【図 5】

(2) ニクロム線の張りを一定に保つ工夫について

赤熱したニクロム線は、線膨張によって長さが変化する。この実験を行う上では、ニクロム線がたるまないようにする工夫が必要である。



【図 6】



【図 7】

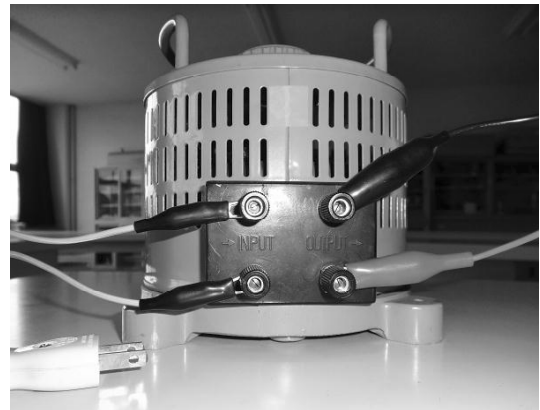
最初は、図6のように、ギターの弦を巻き取るようなペグ式で実験を行った。それでも実験自体は上手くいったが、ニクロム線が高温になってたるむたびに、ペグを回して張りを保ち、電流を流すのを止めてニクロム線が縮むたびに緩める必要があった。このような調整を頻繁にしなければならなかったため、赤熱させたニクロム線の状態変化にあまり集中できなかった。

いろいろ試してみた結果、最終的には図7に示した形が最良であった。ニクロム線にたこ糸をつなぎ、滑車を介しておもりを取り付けるという方法である。ニクロム線が伸び縮みしても一定の張りを保つことができるため、張力の調整が不要になり、ニクロム線の観察に集中できるようになった。

(3) 変圧器 (スライダック) の扱いについて



【図 8-1】

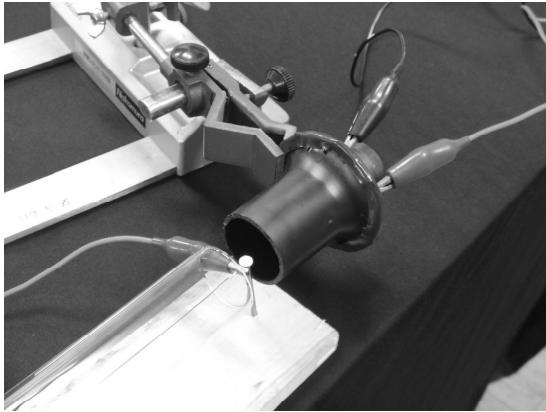


【図 8-2】

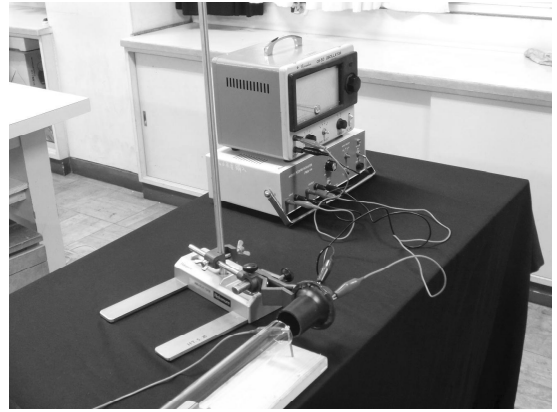
※注意※

- ・はじめに電圧調整つまみが0Vになっていることを確認して接続する。【図 8-1】
- ・OUTPUT (出力) 側からニクロム線の両端に接続し、INPUT (入力) 側をコンセント AC100V に接続する。接続する端子を間違えないようによく確認する。【図 8-2】
- ・プラグをコンセントに差し込んだまま、INPUT 側の端子をつないだり外したりすると、電圧調整つまみが0Vの位置にあっても、ショートする危険性が高いので十分に注意する。
- ・感電や、やけどの危険性があるので、端子部分や接続部分には手を触れないようにする。

(4) スピーカーと低周波発信器



【図 9】



【図 10】

図 9 は、スピーカー付近の写真である。できるだけスピーカーはガラス管に近づけるようにしたいが、ニクロム線やガラス管は高温になっているのでやけどに注意する。特に、スピーカーを近づけるガラス管の口は、空気の振動で破損する可能性が高いので、ビニルテープを巻くなどして危険防止に努める必要がある。(写真は撮影のためにテープ等は巻いていない。)

図 10 の低周波発信器のつまみを回して、気柱が共鳴する周波数を探すが、共鳴する周波数を探するのに手間取ると、ニクロム線を長時間加熱することにもなり危険度が増す。ここでは 8 倍振動をさせようと考えて、あらかじめ発する音の周波数を次のように考えて計算しておいた。

管の両端は開口端であったから、8 倍振動の場合 1.5m の管に 4 波長あることになる。波長を λ とすると、 $4\lambda = 1.5\text{m}$ だから、 $\lambda = 0.375\text{m}$ (ただし、開口端補正は無視している。)

室温が 25.0°C であったので、音速の公式： $V = 331.5 + 0.6t$ より、 $V = 346.5\text{m/s}$

$$V = f\lambda \text{ より } f = \frac{V}{\lambda} = \frac{346.5 \text{ m/s}}{0.375 \text{ m}} = 924 \text{ Hz}$$

ただし、使用した低周波発信器はかなり古く、指し示す周波数の信頼度はかなり低かったので、あくまで 924Hz を一つの目安として共鳴する周波数を探した。

(5) 実験結果

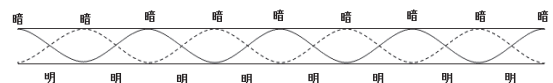
◇明暗の縞模様



【図 11-1】



【図 11-2】



【図 11-3】

ニクロム線に 30 ～ 40V の電圧をかけて一度赤熱させてから、少しずつ電圧を下げていき、わずかに赤くなっているのが確認できる程度に調整する。この状態で、スピーカーから音波を送ると、ニクロム線に図 11-1、図 11-2 に示したような明暗の縞模様が現れる。図 11-1、図 11-2 は、ともに同じ共鳴状態の画像であり、デジタルカメラの撮影モードを変えて撮影したものである。図 11-1 は夜景人物モード、図 11-2 はフラッシュを使わずに普通に撮影したものである。部屋は暗くしてあるので、肉眼で見えるのは図 11-2 に近い。

これらの写真からも分かるように、明るく見える場所が 8 か所あり、その間に暗くなっているところがある。空気が大きく振動する腹では赤熱されたニクロム線が冷やされ暗く見え、空気が振動しない節では冷やされずに明るく見える。今回の実験に使用したガラス管は、両端が開いた状態の開管として用いたので、両端が定在波の腹（目には暗く見える）であることが確認できる。

図 11-3 は、この場合に発生していると考えられる定在波を模式的に示したものである。実験で見られた明暗の縞模様は、このような腹と節の並びと考えられる。発泡ビーズを用いた実験では、ゴム栓をした管口（閉口端）が節になるのに対して、この実験では管口（開口端）が腹になっていることに注意したい。

(6) 生徒の感想

- ・きれいだけどうるさかった。耳がまだキーンとしている。
- ・すごく不思議。なんで??
- ・ちょっと驚いた。すごい!

同様の感想が他多数あった。

《参考文献》

いきいき物理わくわく実験 改訂版 1 愛知・岐阜物理サークル [編著] (日本評論社)