

## 音と電波の共鳴分離の実験の装置の作成

北海道札幌南陵高校 菅原 陽

音と電波の共鳴を直感的に説明できる装置として音分離器と携帯電話の「光るアンテナ」を物理実験に利用する例を紹介し、作成を試みました。直接目で見ることの難しい音波と電波の「共鳴」の現象を直感的に理解できるものと思います。

## 1. はじめに

私たちの使用する携帯電話は850メガHz付近の領域と1.5ギガHz付近に各社の電波の使用領域が割り当てられています。この周波数の電波の共鳴を利用して、私たちは発信局からの信号を受け取り、さらに音（空気振動）に変換して、耳で聞きとります。音も電波も同じ原理（共鳴）によって遠くの情報を伝えることをこれらの装置は直感的に分かりやすく理解できると考えます。

## 2. 電波の共鳴器（光るアンテナタイプ1）の作成

準備するもの

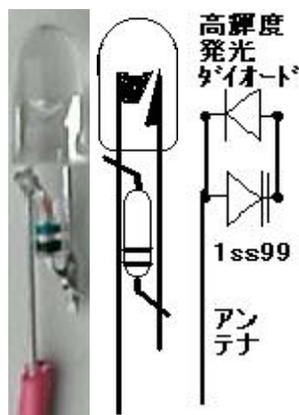
- ア 高輝度発光ダイオード（数百mcdと輝度の高いもの）
- イ ショットキーダイオード（高周波用1SS99など）
- ウ はんだゴテ、はんだ、
- エ アンテナ（細い被膜電線コード10cm）
- オ 携帯電話、（PHSは出力が弱いので見えにくい）
- カ 定規（30cm）

## 光るアンテナタイプ1の回路・実体配線図・実物写真

図1に回路図と実体配線図および写真を掲載しました。

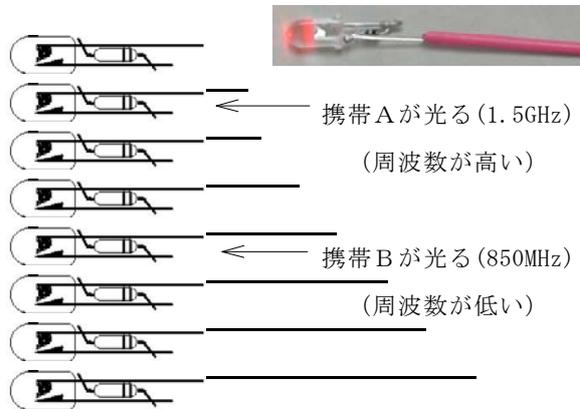
回路は非常にシンプルで部品さえ手に入れば、はんだ付け作業の経験者であれば誰でも簡単に作成できます。購入部品の原価は1つ百円程度です。

図と写真のように部品をはんだ付けし、アンテナの長さを使用電波の $1/4\lambda$ にすれば完成します。



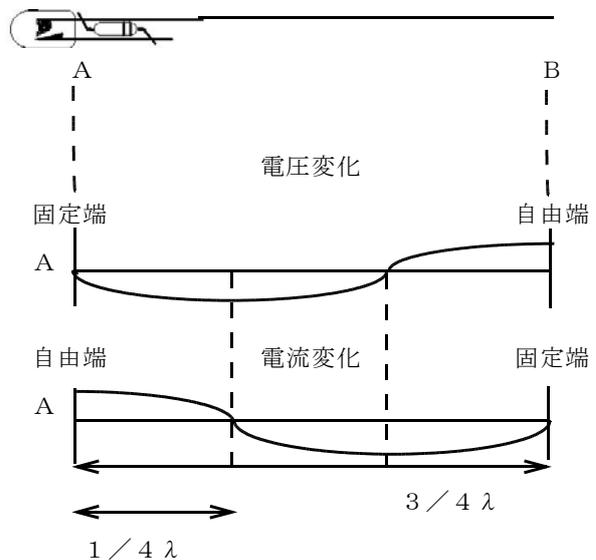
## 3 電波の共鳴 実験1

携帯電話の電波で発光ダイオードが光ります。その使用電波帯域の種類により、携帯電話のメーカーや型番により反応するアンテナの長さ異なります。



電波の受信と発光させるための電流変化は下記のように考えられます。ショットキーダイオードは電流を片方向に整流し、その位置の電流値の振幅が大きければよく光ることになります。電流と電圧は位相が $\pi/2$ となり、図3のようになっていると考えられます。

（Aはダイオード）

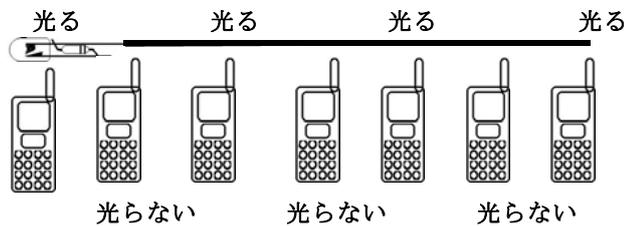


#### 4. 電波の共鳴 実験2

携帯電話は種類により、携帯電話Aは1.5G(ギガ)、携帯電話Bは850M(メガ)のように電波の周波数が異なります。音も電波も高い周波数では短いアンテナが反応し、低い周波数で長いアンテナが反応します。

電波は目に見えませんが、この光るアンテナを使用すると、音やその他の実験と同じ原理で反応していることが観察できます。

**実験2** アンテナを長くして発信電波の位置をずらして実験すると光らない所、光る所が一定間隔になることも観察できます。



この結果も音やその他の振動の実験と似てます。

これらの実験を右の音共鳴分離器とともに比較実験するとアンテナの長さは、 $1/4\lambda$   $3/4\lambda$  で共鳴振動することが目に見え、音も電波も全く同じ原理で共鳴していることが直感的に理解されます。

##### 光るアンテナタイプ1のアンテナの特徴

実際に作成した直線状のアンテナの特徴は

- ① アンテナの長さによって、共鳴状態が変わります。
- ② 基礎的物理現象の理解には「教育的」なアンテナ
- ③ 電波が弱いと光りにくい
- ④ アンテナが共鳴の長さに合わないと光らない。

つまり、携帯電話やPHS電話に使用されている共鳴周波数や強度が種類によって異なるために、このままでは光る場合と光らない場合があり、作成し自分の携帯電話に会わせても、他の携帯電話のほとんどには共鳴しない事態になります。

せっかく作成しても光らないアンテナでは価値が半減し、興味ある実験の演出場面も少なくなります。

#### 5 光るアンテナタイプ2の作成

そこで、電波の強度がある程度以上あればまずは光り、

かつ共鳴周波数の実験も出来るアンテナを作成します。

以下、完成したアンテナの写真を見れば一目瞭然ですが、コイルをショットキーダイオードと高輝度発光ダイオードの間に入れてはんだ付けをします。なおアンテナの位置は左右反転でも片側に集中でも光ります。

##### とにかく光るアンテナ

このコイルはCR発信の共振回路に一部のようにも見えますが、携帯電話のアンテナから発信する電波を効率よく受信し、この回路に+の電界をポンプアップしてとにかく光らせる役割をします。写真のように作成するととにかく光やすく、かつ電波の共鳴の実験ツールが完成です。



我々が利用している電波の周波数帯域  
MHz = 1000 KHz

##### 短波放送

アマチュア無線

ラジコン (27MHz)

FMラジオ放送 (76MHz ~ 90MHz)

テレビ放送 1 ~ 3チャンネル (90MHz ~ 108MHz)

テレビ放送 4 ~ 12チャンネル (170MHz ~ 222MHz)

コードレス電話 (255MHz)

テレビ放送 13 ~ 62チャンネル (470 ~ 770MHz)

携帯電話 (約800MHz ~ 960MHz)

GHz = 1000 MHz

携帯電話 (約1430MHz ~ 1560MHz)

PHS (1893MHz ~ 1920MHz)

無線LAN (2400MHz ~ 2497MHz, 5150MHz ~ 5250MHz)

電子レンジ (2450MHz)

BS放送 (11.7GHz ~ 12.2GHz)

CS放送 (12.2GHz ~ 12.75GHz)

GPS 気象レーダ 低周波治療器 マイクロ波通信

THz = 1000 GHz

赤外線 (3THz ~ 384THz)

可視光線 (384THz ~ 789THz)

## 「紙コップによる人の声に反応する簡易音共鳴分離装置」の作成

年 組 名 前

聴覚に関してわかりやすく実験できる装置を作製し、性能分析を試みる。物理の音の合成と分離の実験、および生物の聴覚器官のモデル実験器である。この装置で、実際の人間の声に反応させ、声の周波数に応じた反応を目で確かめる。

キーワード：共鳴 基本振動 3倍振動 聴覚 蝸牛管 周波数分離 (フーリエ変換) 基底膜 “共鳴”説

## 1 作成方法

## ア 必要な物

教師 ① 低周波発信器

② 周波数カウンタ (デジタルマルチメーター)

② カセットデッキまたはラジオ

③ スピーカ (コーンはない方がよい)

生徒 ① 画鋲1個 ② ストロー (直径6mm)

③ プラスチック製ファイバー 15～20本  
(百元ショップの箒のブラシ部分)

④ 紙コップ1個

⑤ ガムテープ (5cm×5cm 1枚)

## イ 共鳴振動子の作成の方法

① ストローに画鋲で穴をあける。

その際、画鋲は定規にセロテープで貼り付け、ストローを5mmずつ平行に移動し穴をあける。

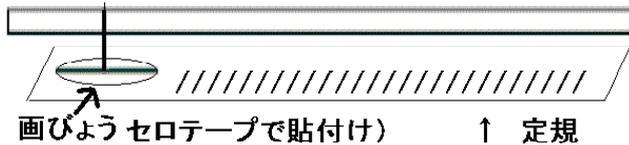
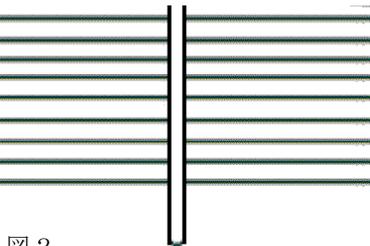


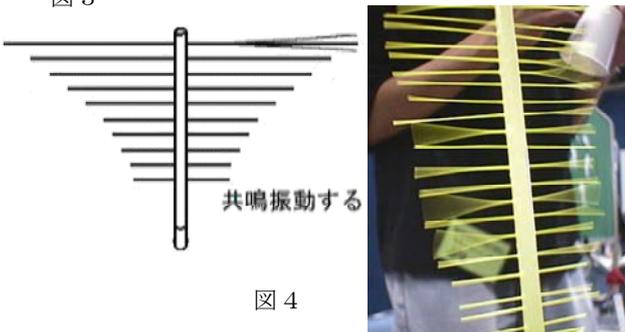
図1

② ファイバーを1本1本平行に対称に突き刺し、瞬間接着剤で固定する。



③ ファイバーの太さや材質によって異なるが、長いほうは5～6cm短いほうは2～3cmにハサミで切りそろえる。(図3 図4)

図3

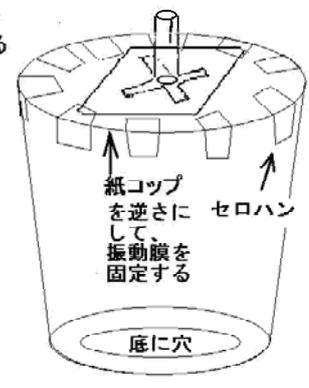


## ウ 振動受信の土台付紙コップの作成の方法

① ガムテープの中心にストローが固定できるようにハサミで十字に切り込みを入れる。

② ストローも3cmぐらいにカットし1.5cm程の切り込みを入れる。

③ ついで紙コップの底にストローを十字に開いてガムテープで固定する。(5図) 振動強度を得たい場合は紙コップの口に振動膜を固定し紙コップの底に穴をあける。(図6)



## 実験の方法

① 土台付きの紙コップに、作成した分離共鳴器を固定します。アダプターの太さが合わない時はセロテープを巻いて、やや太くしてつなげます。紙コップに共鳴器を固定したら、大きな声で低い音から紙コップに音を入れます。紙コップとの隙間はなくして中に空気で圧力かけるようにして大声を出してください。

② 一本一本のファイバーは、その長さに応じて特定の振動数にのみ共鳴しますから、母音の「アイウエオ」が同時に2本以上を振動させたら、音は分離されたことが確認されたことになります。

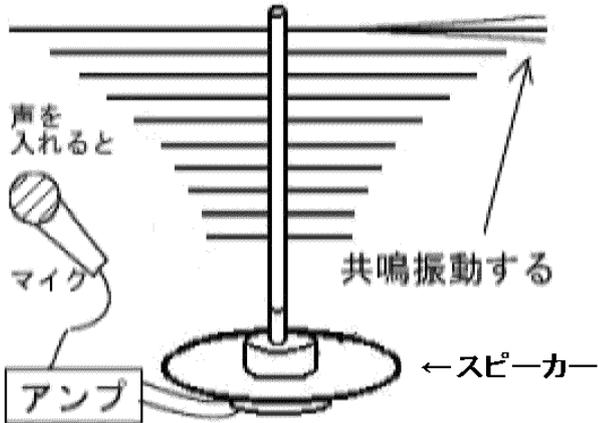
③ また、「ア」と「イ」の振動の違いを見出せば振動成分の違いを確認できたことになります。

④ 低周波発信器から一定の振動数の音を入れると、1本1本の共鳴振動数がわかります。

⑤ 一定の振動数の音を耳で聞きながら同じ高さの自分の声を紙コップに入れても、ファイバーの共鳴振動数を特定することができます。

実験2 共鳴振動の測定

ア 共鳴振動数の測定

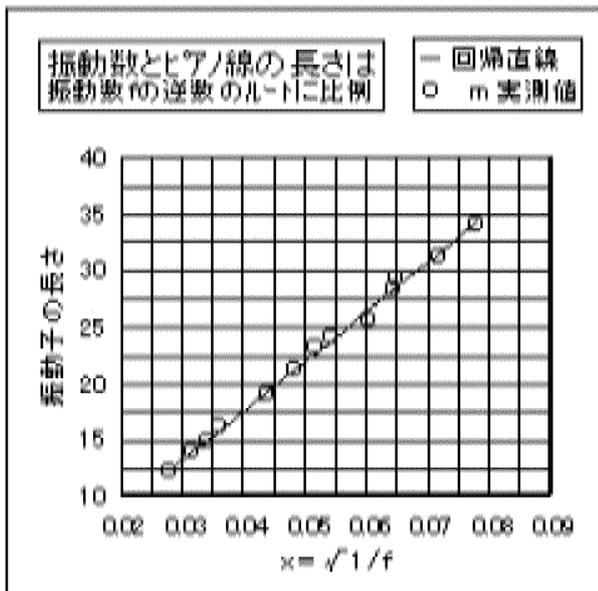


図の装置に発信器からの信号をマイクあるいは直接アンプに与え、各振動子が共鳴する振動数を測定し、1本1本が何ヘルツに反応するかを調べます。

図7

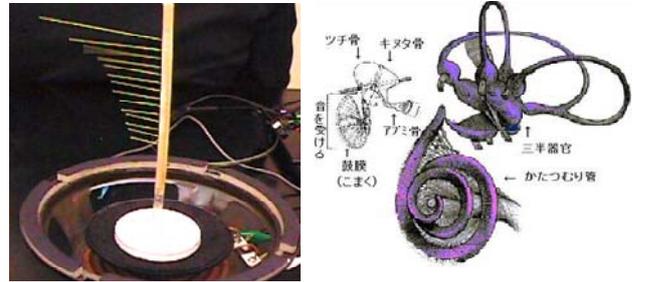
イ データをとりグラフにしてみましょう。

	長さ (mm)	周波数 f (Hz)	$1/\sqrt{f}$ (1/Hz)
1本目			
2本目			
3本目			
4本目			
5本目			
6本目			
7本目			
8本目			
9本目			



以下は、この物理現象が生物のセンサーである「聴覚」にも利用している例と、我々が利用している電波の周波数帯域の資料を加えてこの実験を終わります。

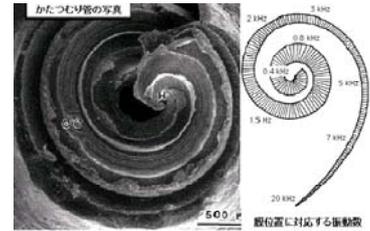
<参考資料>



上 装置の写真

右上 内耳と聴覚器官

右 蝸牛管



<http://mvf.neurophys.wisc.edu/~ychen/auditory/w-ad.html> (University of Wisconsin -- Madison)

人の内耳（聴覚器官）とカタツムリ管の写真・模式図

人の聴覚器官も体液中の膜の「共鳴」により周波数分離を行っています。

人は耳の「こまく」のもっと奥に音とらえる装置「カタツムリ管」をもっています。音は「こまく」から小さな骨（ツチ骨・アブミ骨・キヌタ骨）を通して「かたつむり管」に届き、中の膜に伝わります。膜は入り口の方は高い音で、奥は低い音で振動します。色々な高さの音が混じり合ってもそれぞれの音が膜のきまった場所で振動し、音は分離されます。そして2000個以上の音を聞き分け神経を伝わり脳に届きます。

聴覚の秘密を解いたのはゲオルク・フォン・ベケシーでした。彼は通信技師であり、物理学者ですが、物理の知識と技術で彼は聴覚の秘密を解き明かそうと決心し、ライフワークとします。様々な動物の蝸牛を観察し、人の蝸牛についても死体を解剖しながら蝸牛に穴をあけ、アルミニウムと石炭の粉を混ぜた食塩水をいれ、顕微鏡で観察するなど、大変苦勞して実験を繰り返しました。そしてついに「基底膜共鳴説」により1961年ノーベル賞を受賞しました。