

音 波 砲 （おんぱほう）

県立ゆきわり養護学校 教諭 東海林 忍



1 はじめに

本校にスヌーズレンルームを設置して1年が経った。いろいろな装置も増えてきた。定番のミラーボールやバブルタワー、それに音楽に合わせて振動する温水ウォーターベッドなど様々な感覚刺激を味わえるようになった。多くの児童・生徒が利用するようになり、寝転がって好きな音色に耳を傾けたり、光を追いかけたり、全身で振動を味わったりしている。しかし、子供たち全てが快い刺激に浸れるわけではない。好きな刺激もあるが、苦手な刺激や嫌いなものもある。スヌーズレンでは訓練して受容できるようにする。というような目標は持たない。教師の役割は、新たな刺激を見つけたり作ったりして、その子が好きな刺激を選べるようお膳立てすることだ。発見、開発という雲をつかむ話のようだが、案外、いろいろな刺激が身の回りで見つかることがある。

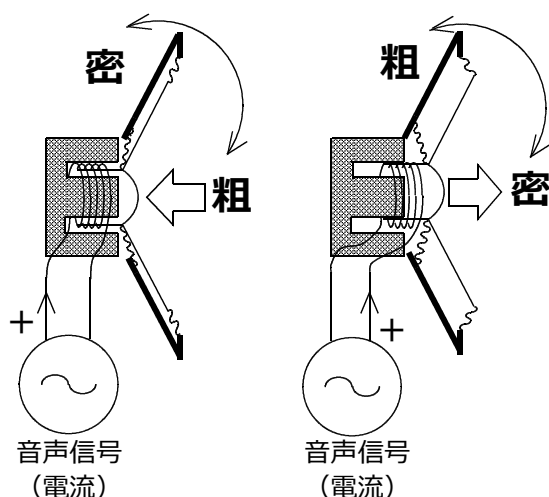
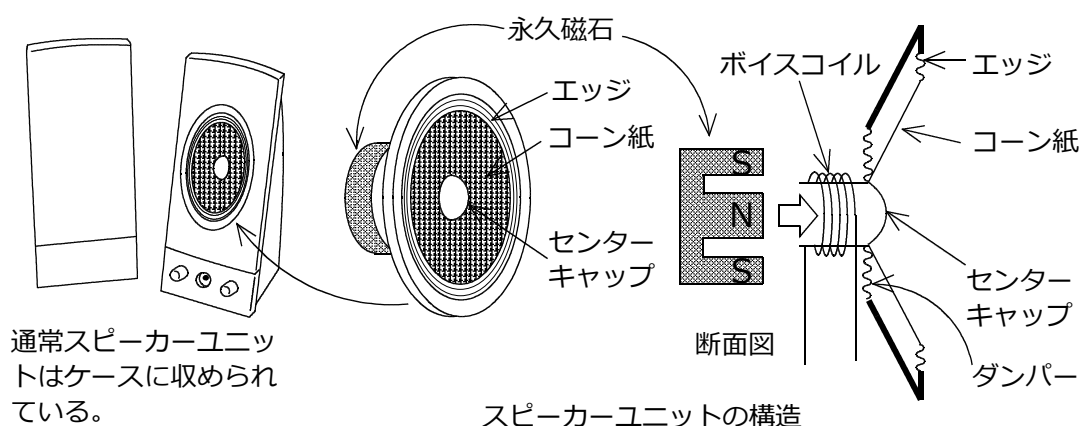
2 体感音響装置の改良

体感音響装置はボディーソニックと呼ばれることもあった。50年くらい前にはすでに研究され、商品化されていたようだ。これは、音を振動に変えることで皮膚や身体でも感じられるようにする装置だ。出力をあげていき、振動を強くしていくと子供はたいてい大喜びする。一方で、不愉快になったり気分が悪くなったりする子もいる。身体の揺れが苦手な子もいる。三半規管の成長や働きには違いがあるのだろう。その子にとっては、嫌なものは嫌だろう。ならば、揺らさない体感音響もあっていい。音を空気の流れにして、皮膚に吹きかけてみたらどうだろうか。そういえば、空の段ボール箱の一面に丸い穴をあけ、その箱を叩いて空気の塊を発射する「空気砲」というのを知り、作ってみたことがあった。空気の塊を顔にぶつけられた子供は驚き、唖然とする子もいたが、たいていは笑顔になる。これは快刺激ではないだろうか。その空気砲のようなイメージで、もっとソフトに皮膚へ直接ささやくような、くすぐるような刺激を作りたい。音を空気の動きに置き換えて発射する装置ということで、名付けて「音波砲」としたい。

(1) 音波砲とスピーカーの動作

音は空気が振動して伝わることを小学校で習っている。音で振動する空気の動きは皮膚感覚では分からない。しかし、打ち上げ花火が炸裂した音ともなると、全身に響いて感じるものがある。音響装置の音量を上げてスピーカーの入った箱に手をやると微かに風を感じ「ああ空気が動いているんだ。」と分かることがある。もしかすると、スピーカーのコーン紙を大きく動かしてやれば、肌で感じられる程度の音の風を作ることができるかもしれない。

そこで、まず電気信号を音に変えてくれるスピーカー（一般的に使われているダイナミックスピーカー）について考えてみたい。



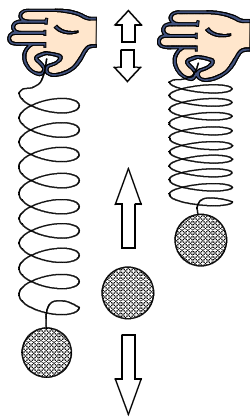
振動の発生源のコーン紙にはボイスコイルがしっかりとくっついていて、ボイスコイルが磁界の中で前後に動けるようエッジとダンパーで固定されている。ボイスコイルに音声信号（電流）が流れるとフレミングの左手の法則に従ってコーン紙が動くことになる。

さっそく、手をかざしてみる。しかし、鼓膜が割れんばかりの大音量にしても、どんなに近づいても音の風を感じることはない。

しかも、出てくる音はケースに収まっていた時より、キンキンした音質に変わっている。コーン紙は前後に振動してせっせと空気の密度の濃いところ、薄いところの波（粗密波）を作り出しているが、音波が前後に回り込んで打ち消し合い、信号通りの音にならない。スピーカーはユニット単体では使えないことがわかる。空気砲を作るとして、ケース=スピーカーボックスについて考える必要がある。

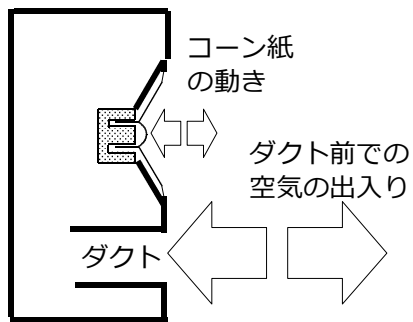
(2) 音波砲とバスレフ式スピーカーボックス

ちゃんとした音を出すためにはスピーカーユニットの背面からの音の回り込みを防ぐ必要がある。そこで、ユニット背面を頑丈な箱で包み、内部にたっぷり吸音材を入れることがある。密閉式のスピーカーボックスだ。素直な音質になると言われているが、欠点がある。それは密閉されているためコーン紙の動きにブレーキがかかってしまうことだ。特に低域が影響を受ける。このブレーキを軽減しようとする、箱は大きくならざるを得ず、大きな振幅をめざす音波砲の方式としては不向きである。そこで、バスレフ式スピーカーボックスに焦点を当て考えてみる。



バスレフ式について説明する。

「音」のような振動現象に必ず現われるのが「共振」だ。共振を理解するため左図を見てみよう。バネに重りを吊し、手で細かく上下に動かす。動きの速さ、バネの弾力、重りの重さの条件がそろえば、重りは激しく動く。これが共振だ。小刻みに動く手がボイスコイル、バネはエッジや空気、重りがダクト内の空気とすれば、ダクト内の空気を激しく動かせるポイントがあるはずだ。空気の共振を利用してブレーキのかかりやすいコーン紙の低域の振幅を補うのがバスレフ式だ。実際のバスレフ式スピーカーボックスのダクト内の空気の動きには複雑な要素が関係するに違いないが、およそこんな理屈で動作すると私は理解している。



バスレフ式スピーカーボックス断面

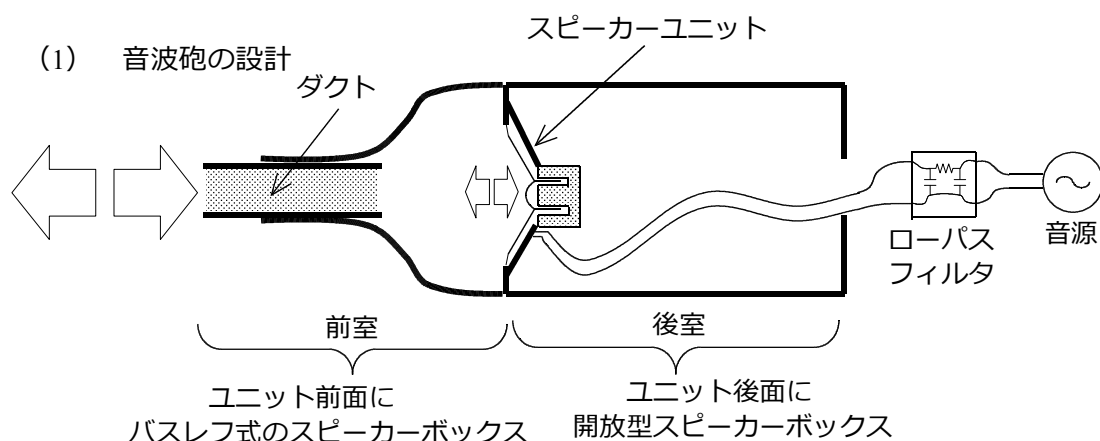
左図のようにバスレフ式スピーカーボックスにはダクトが正面もしくは背面に付いている。手をかざすと、低い音の時に明らかに空気の出入りを感じることができる。共振現象を利用したダクト内の空気の出入りを音波砲に使うことにする。スピーカーボックスはユニット背面を包むように取り付けるものでダクトはあくまで脇役であるが、音波砲では、堂々の主役になるからユニット前面にダクトが収まるように設計する。

(3) 音波砲とローパスフィルター

音波砲は共振を利用して音を皮膚感覚で分かる空気の動きに変換する装置であるとした。だから、この音波砲はスピーカーは使うが音は出なくてもいい。特に中高音域は皮膚感覚で音を感じることが難しくじゃまになることもある。そこで、ローパスフィルターを使う。ローパスフィルターにより中高音域をカットして低域のみを取り出すことができる。この中高音をカットした低い音だけを波砲に使う。

3 製作編

私は、いらなくなった家電品が出てきたときは、スピーカーとか電源トランスとか半導体など、めぼしい部品は抜き取っておくようにしている。何か作るときにはこれら「身近にあるもの」が役に立つ。今回の主要パーツはスピーカーだ。丁度、たくさん廃棄になったブラウン管テレビから抜き取ったものの中に適当なものが見つかった。他のパーツも見ての通り、身の回り品だ。音波砲を作るために新たに買いそろえたものはない。



音波砲は大型のペットボトルの中をスピーカーユニットで2つの部屋に仕切るイメージで作成する。ユニット前面（前室）側と後面（後室）側の両方にスピーカーボックスがついているという考え方だ。後面側は音の回り込みを防ぐ部分。スピーカーのコーン紙の動きを阻害しない開放型スピーカーボックスになっている。前面はこれまで説明してきたバスレフ式スピーカーボックスになっている。このスピーカーユニットにローパスフィルターで中音、高音をカットした音の信号を供給する。ボーカルなどの中高音を除いた低い楽器の音が音波砲には適する。ダクト内の空気がコーン紙の振動（ベースなどの低い音色）とうまく共振すれば、めざす音波砲になる。ただし、未知のスピーカーを適当な箱に入れることになるので、最適なダクト形状も未知だ。とっかえひっかえダクトの口径と長さを変えて根気よくダクト前方で空気の出入りが最も強い形を見つけていくことにした。

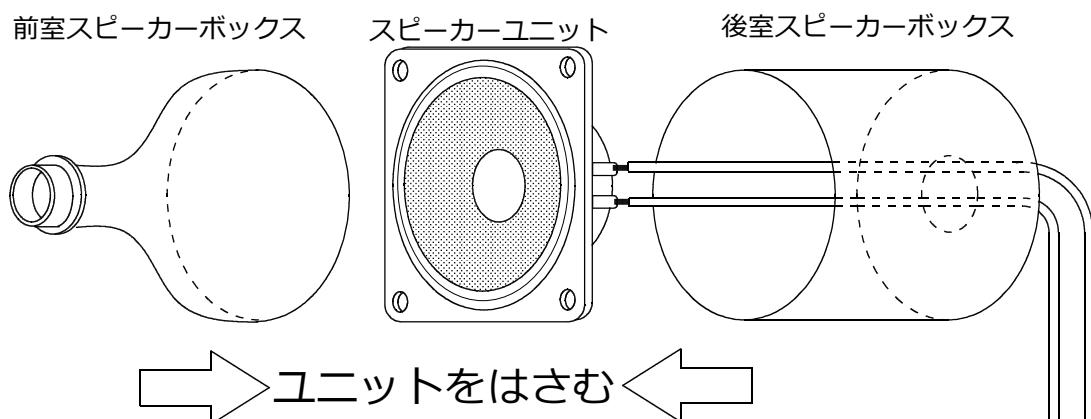
(2) 設計方法の修正

忙しい教員が作って使う教材となるのでできるだけ簡単に作りたい。突き詰めて考えればダクトを弄るより、ペットボトルを切る位置を変え、エンクロージャー（前室）自体の大きさを調整した方が簡単だと言うことに気づいた。いろいろな長さに切り分けたペットボトルをあてがって空気の出入りを比べることにした。理論はほどほど、実践により答えを導く。



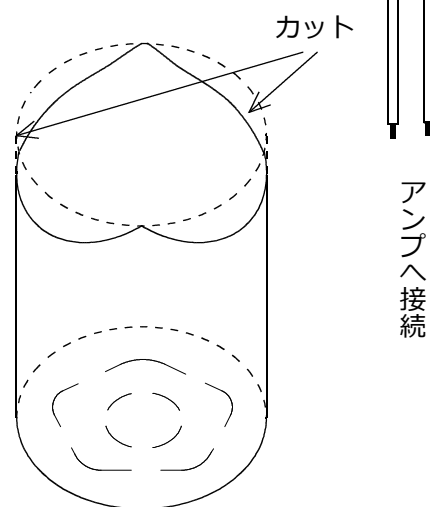
前室の大きさを取り替えて比べる

(3) 音波砲の組み立て

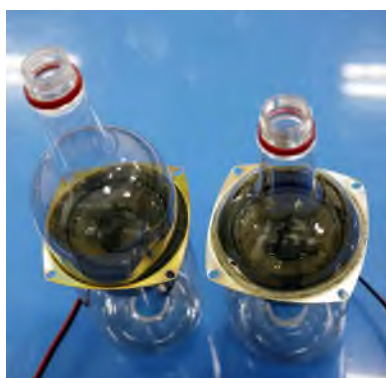


スピーカーユニットはブラウン管テレビから抜き取った。中古品だがメリットがある。ブラウン管は磁気に弱いのでスピーカーに防磁処理がされていることだ。磁気はほぼシャットアウトされている。

適当な大きさのペットボトルで実験し、大きさが決まったら図のように組み立てる。見ての通り大変シンプルだ。これなら、1時間もあれば完成だ。セロハンテープで借り組みし形状・位置が決まったところで接着剤やホットボンドを使うのがいいだろう。

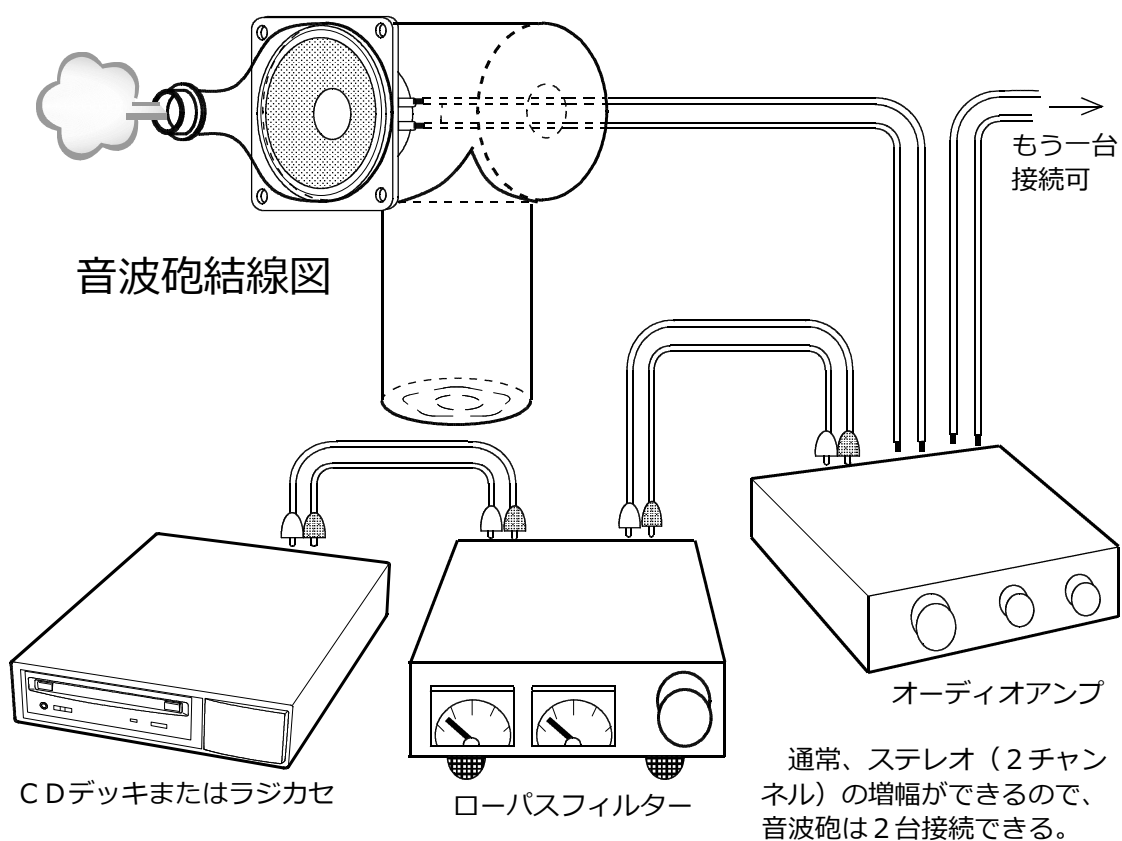


砲台も余ったペットボトル容器で作る



4 使い方

音波砲は通常のオーディオ用スピーカーシステムのように使用する。CDプレーヤーをアンプに繋いで、アンプのスピーカー端子に音波砲のケーブルを接続すればよい。しかし、音波砲が人の皮膚に感じ取れる空気の圧力として出力できるのはきわめて低い周波数の音の成分だけである。しかも、ある程度アンプの出力を上げることで効果を発揮する。もし、中音域、高音域の混じった音の信号をそのままアンプで増幅してしまうと音波砲からもれてくる中高音でやかましくなってしまう。そこで、前述したように「ローパスフィルター」をCDとアンプの間に入れて中高音をカットする。低音だけになれば音波砲の動作とシンクロして心地よい刺激になる。今回はローパスフィルタの作り方はまたの機会に譲ることとし、詳述を避ける。回路図の参考例のみ掲載する。



5 気になる動作と効果

仕組みについて突き詰めて考察したものの、適当なスピーカーユニットが見つければ後の工作は実に簡単だ。完成した音波砲を使い子供たちと遊んでみた。CDソースに入っている楽曲によって、動作は大きく変わる。大太鼓やベースギターのような低音楽器がリズムを担当しているような曲だと、面白い動作となるようだ。今回マライア=キャリーのファンタジーを使ってみた。

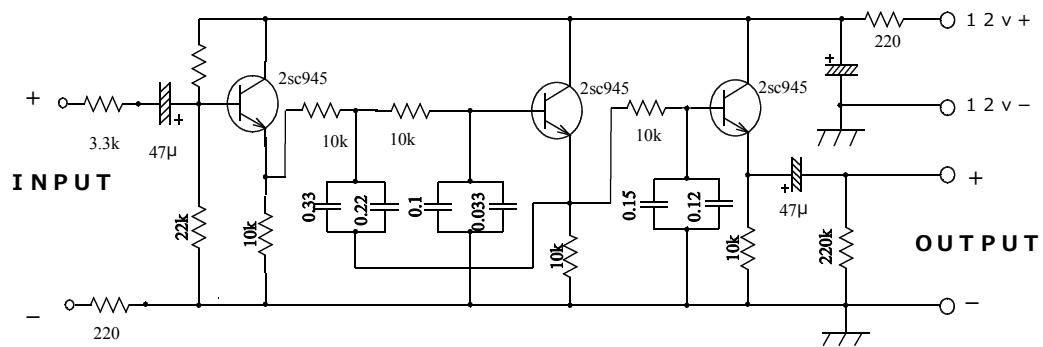
20秒ほどのイントロ部分はほとんど何も聞こえないし音波は飛び出さないが、22秒後あたりから「どっ、どど。どっ、どど。」曲が終わるまで繰り返して空気の塊が飛び出してくる。20cmくらい離れて音波砲に顔を向けていた子供はいきなり「ああっ。」と声をあげた。50cm位離れた子供の首の下あたりにねらいをつけると「あははは。」と笑い出した。かなり刺激的である。誰でも使えるようにスイッチの入れ方を表示して教室の一角に設置した。様子をみると、近づいて友達に音波砲を向けて笑わせようとする子供や、教師の手を引いてスイッチを入れるように要求する子供たちがいた。一度遊んだ子供が再び訪れ、大きく口をあけて「どっ、どど。どっ、どど。」を喉で感じようとしていた子もいた。一曲終わるまで、リズムに浸り続けている子もいる。聞こえのよくない子供には特に関心を持って受け入れられた印象である。

音波砲、単純な仕組みのわりには結構面白い装置と感じた。スヌーズレン室用の装置として定期入れ替えローテーションに加えていこうと考えている。



ローパスフィルター 参考回路図

60 Hz アクティブフィルタ



参考 1990.8.20 電波新聞社刊 たのしい電子工作 2
3D方式スーパーウーハーの製作より

トランジスタを3個をエミッタフォロアーでつないだCRフィルター

電源部を除き、片チャンネルのみ表示