

パラメトリックスピーカーについて

文責 黒田康浩

2007/3/8

1 パラメトリックスピーカー概要

音圧の大きい超音波には、媒質中を伝播する際にその波形が歪む性質がある。この波形の歪みを利用して、極めて指向性高く音を伝えるスピーカーがパラメトリックスピーカーである。

1.1 2つの超音波の重ね合わせ

パラメトリックスピーカーでは2つの超音波発信器から発せられた周波数の異なる超音波を重ね合わせることで耳で聞こえる音を得る。その原理について簡単に解説する。

2種類の超音波を $\sin(f_1t), \sin(f_2t)$ と表すと、その単純な加算は

$$\sin(f_1t) + \sin(f_2t) = 2 \sin((f_1 + f_2)/2) \cos((f_1 - f_2)/2) \quad (1)$$

となり、うなりを生じる。

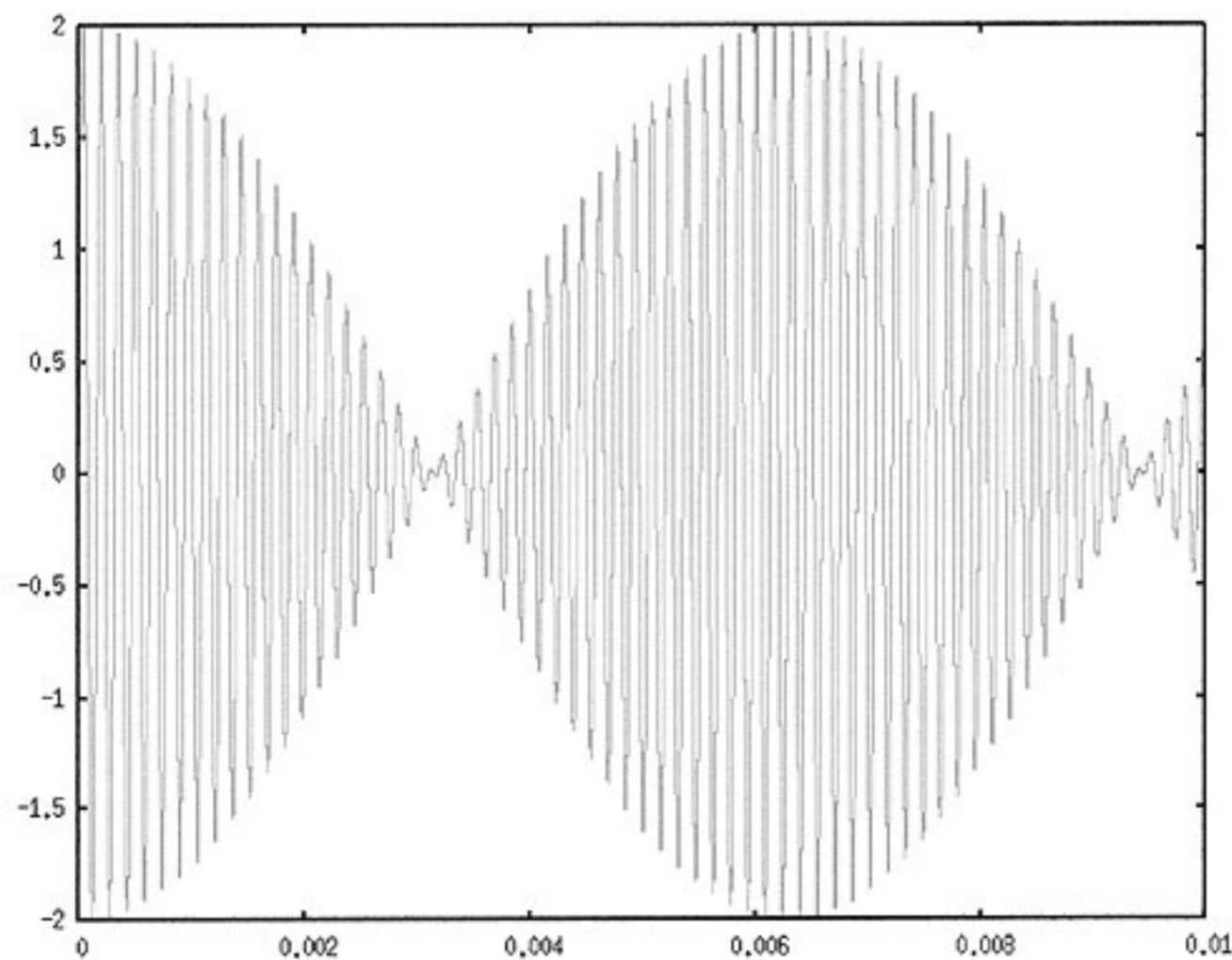


図1 うなり

このうなりは、結局、超音波の強弱が周期的に変化しているだけなので耳で聞くことは出来ない。

しかし、最初に書いたように音圧の大きい超音波は媒質を伝播するなかで波形が歪んでいくので、単純な $\sin(f_1t) + \sin(f_2t)$ の項以外に、複雑な非線形項が生じると考えられる。それらの非線形項の中に $\sin(f_1t) \times \sin(f_2t)$ という項が含まれていると、

$$\sin(f_1t) \times \sin(f_2t) = \frac{\sin((f_1 + f_2)t) + \sin((f_1 - f_2)t)}{2} \quad (2)$$

となり、以下のような波形を生じる。これはヘテロダインと呼ばれる。

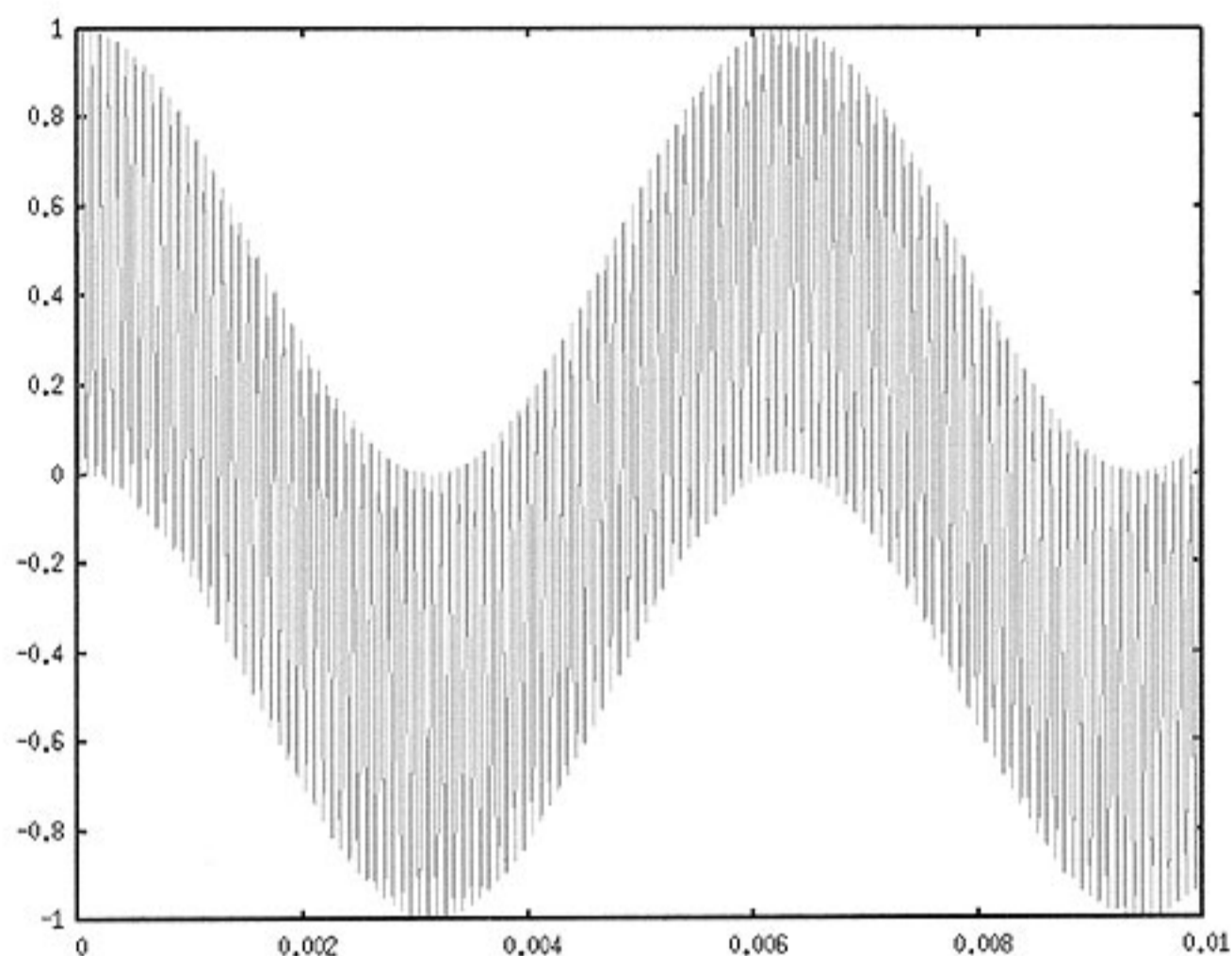


図2 ヘテロダイン

ヘテロダインの場合、 $f_1 + f_2$ の周波数の項はやはり超音波なので耳で聞くことはできないが、 $f_1 - f_2$ という周波数で波の中心(音の場合、粗密の平均値)が変化していくので、 $f_1 - f_2$ の周波数の音が耳に聞こえることになる。

パラメトリックスピーカーでは、この超音波の重ね合わせによって発生するヘテロダインを用いて2つの超音波が重なった位置でのみ音を発生させる。また、超音波の波長が短く指向性を高く(極端に言えばビーム状に)できるという特徴も、パラメトリックスピーカーの指向性の高さに寄与している。

2 パラメトリックスピーカー班としての活動

パラメトリックスピーカー班の目的は、もちろんパラメトリックスピーカーを作ることにある。しかし、その過程で超音波の歪みを観測したり、超音波の伝播の非線形性の理論を学ぶことも行いたい。

2.1 パラメトリックスピーカーの作成

最終的な目的は、§1 で簡単に解説したような原理で動くパラメトリックスピーカーを作成し、五月祭で展示することである。全体としては下図のような流れで作業を進める。

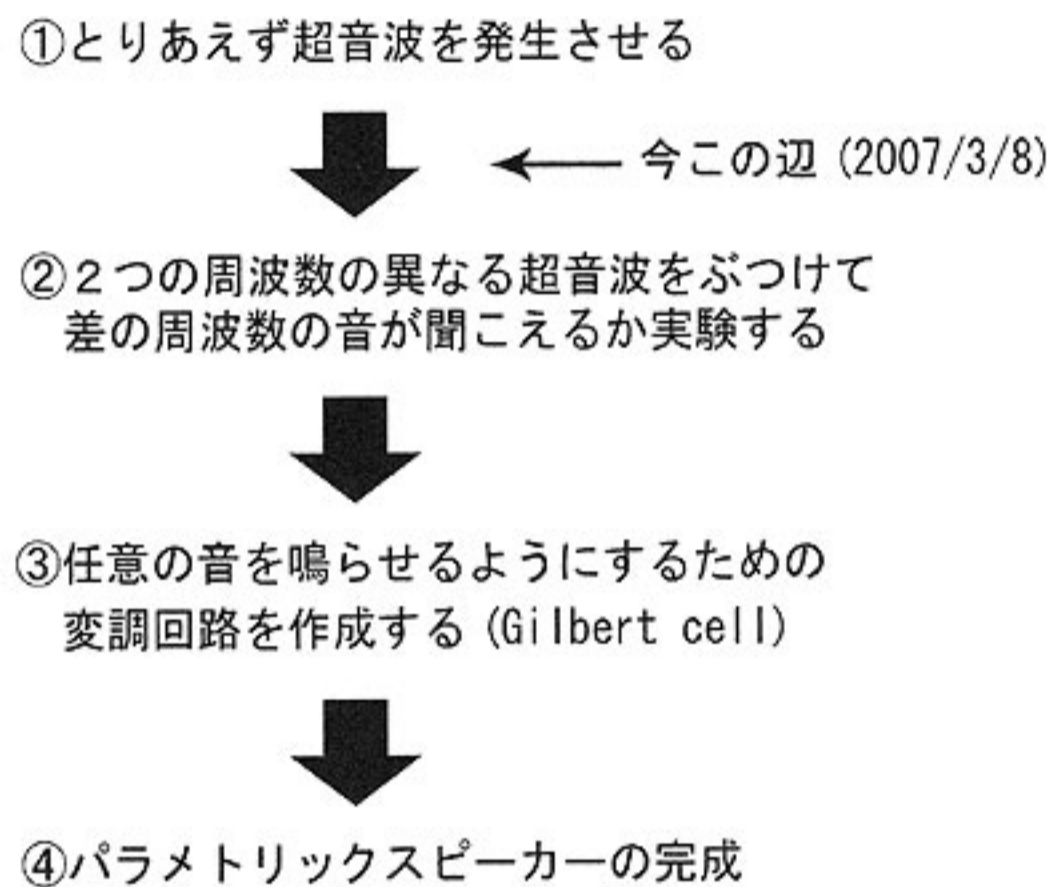


図3 全体の流れ

①の超音波の発生は超音波センサというものを用いる。超音波センサとは超音波送信機と受信機を兼ねたもの(送信機、受信機が別々のものもある)で、圧電セラミックスを用いて超音波を発生させている。圧電セラミックスは電圧をかけると形が変化するので、適当な振動数の交流電圧を加えると超音波を発生させることができる。

注意点として、超音波センサにはそれぞれ共振周波数が設定されており、その共振周波数周辺の超音波しか発生させることが出来ない。また指向性も製品によりまちまちで、最初から指向性の高い超音波を発する製品を用いれば、後々、指向性をあげるための工夫をしなくて良くなる。

とりあえず現状では以下の2種類の超音波センサを購入してある。

1. ・日本セラミック 送信用 T40-16/受信用 R40-16 (中心周波数 40kHz)
2. ・村田製作所 送受信兼用 MA200A1 (中心周波数 200kHz)

②では2つの周波数の違う超音波をぶつけて、音が聞こえるかどうかを実験する。例えばファンクションジェネレータで40kHzと41kHzのsin波を作り、それを超音波センサに入力する。そこで発生する超音波をぶつけると、1kHzの音が聞こえることが予想される。この実験が上手くいくと、手持ちの部品でパラメトリックスピーカーが実現できるということが分かる。

③では、任意の音を搬送波(例えば40kHzの超音波)に乗せる回路を考える。単なる1kHzのピーという音なら周波数をずらすだけの②の方法で良いが、任意の音を扱いたい場合は、かけ算回路というものが必要になってくる。これはGilbert cellというICを蓑輪先生に提供してもらい、それを用いる。

2.2 超音波の歪みの観測

超音波送受信器を2つ用いて、正弦波の波形の歪みを観測する。

1. 距離と歪みの関係
2. 音圧と歪みの関係

など、簡単な観測が行えると良いと考えています。何が出来るか、皆で考えていきましょう。

2.3 超音波の非線形伝播の理論

適当な参考書・論文を見つけてきて、超音波の非線形性についてゼミを行えれば、と考えています。

3 現在行っていること (2007/3/8)

図3の矢印で示したように、現在、2つの周波数の違う超音波をぶつけて音を鳴らすことを目指して実験を行っている。現状では上手くいっていない。

上手くいかない原因としてもっともありそうなのは、超音波の音圧不足である。使用している超音波センサ T40-16 には振幅約 28Vb_{mp} の信号まで入力できるのに対し、ファンクションジェネレータの出力振幅が最大 10V であるため、超音波センサの最大出力が発揮できていない。超音波センサの最大出力を得るために、今信号の増幅方法を検討しているところで、増幅方法の候補としては

1. オペアンプを用いる方法
2. トランスを用いる方法

が挙げられている。信号を増幅せずに音圧不足を解決する方法として、超音波センサをたくさん並べるということも考えられる。

また、200kHz の超音波が出せる MA200A はまだ試していない。周波数の大きな超音波ほど歪みが大きいので、40kHz よりも期待できるかもしれない。ただし、200kHz という高周波数の超音波は空気中での減衰が激しいらしく、遠くまで届くかどうか疑問ではある。

3.1 オペアンプを用いた増幅

オペアンプという回路 (IC) を用いた増幅を試みている。オペアンプについては、物理学実験 I のテキストの「エレクトロニクス II」の章に簡単に載っている。現在、BTL 接続という増幅方法を考えている。

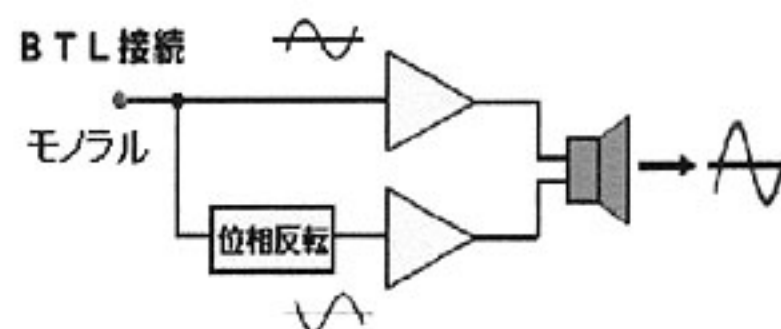


図4 BTL 接続

オペアンプを用いる方法の問題点としては、オペアンプを駆動するために十分な出力電圧を持つ直流電源が見つからないということが挙げられる。

3.2 トランスを用いた増幅

トランスとは、電磁誘導を用いた変圧器のことで、交流信号の電圧を変換することが出来る。得られる電力は変換前後で変わらないので、電圧が上がると電流が小さくなってしまいが、圧電セラミックはそんなに電流を流すものではないので、おそらく問題ない。携帯用防犯ブザーでもトランスによる電圧の上昇を用いているらしい。

電源がいないという点で、オペアンプよりもお手軽。

問題点として、トランスには周波数特性がある。つまり、超音波帯域では使えなかったり、入力する信号によって増幅率が大きく変化してしまったりする可能性がある。

現在、トランスを用いた増幅としては、通常減圧に使うトランスを逆方向に用いて昇圧させるという方法、または防犯ブザーの中に使われているトランスの流用を考えている。

参考文献

- [1] 電気通信大学 鎌倉研究室 - <http://ew3.ee.uec.ac.jp/>
- [2] カー用パワーアンプの話 BTL 接続とは - <http://www.dynavector.co.jp/lecture/btl.html>