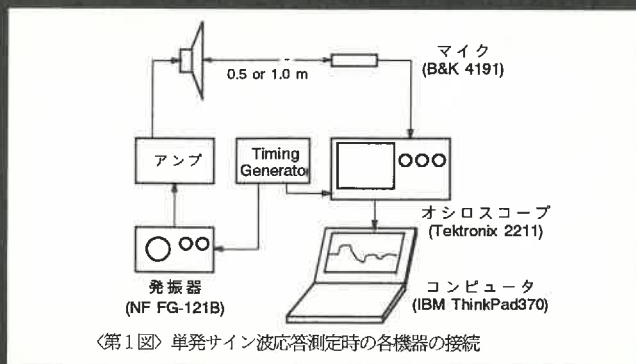


# ユニウェーブ・システムの製作に不可欠！ 単発サイン波の応答測定と データの読み方

別府俊幸



## 用意するもの

マイクロフォン：測定用である必要はありません。通常の音楽録音用のエレクトレット・コンデンサ・タイプで十分です。無指向性でも単一指向性でもOK（どちらかといえば無指向性の方が使いやすいでしょう）。マイクロフォンの応答性は、スピーカとは桁違いに優れています。それでもマイクを変えれば音は変わりますが、ただし、ヴォーカル（カラオケ）用マイクは、ロー・カットされていることが多いので注意が必要です。

発振器：メーカー製ではNF回路設計ブロック社のFG 121 Bがあります。

が、20万円近くします。製作記を参考に自作すれば簡単です（3万円程度）。

パワー・アンプ：OPTを使用していないトランジスタ・アンプがあればOKです。アウトプットまたは段間トランス付きのアンプでは、スピーカ端子に良好な単発サイン波が出力されることを確かめる必要があります。

デジタル・ストレージ・オシロスコープ：ここが難点です。液晶表示器のついたポータブルでも十分ですが、それでも10万円近くします。20万円出せば、アンプの測定にも使える高速のデジタル・ストレージが買えます。が、測定のためだけに購入するには、

はっきりいって高価です。マイクロコンピュータにA/Dコンバータを組み合わせる手もありますが、高速のA/Dはこれまた高価です。

## セットアップと測定

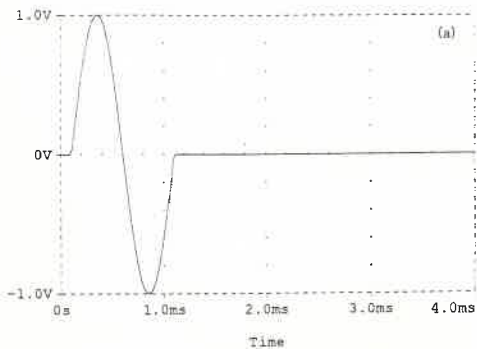
接続を第1図に示します。アンプの出力はスピーカがビリつかない程度に上げ、S/Nを稼ぎます。最大振幅となる $f_0$ 付近で確認します。マイクロフォンの設置場所が問題ですが、原則として正面、ウーファとトゥイータの中間に定めます。3ウェイ以上はスコーク軸上、あるいはスコークとトゥイータの中間軸上が適当でしょう。

スピーカとマイクの距離は、部屋が狭いときには50cm、余裕のあるときには1mとしています。反射性の物体はできるだけ片づけます。とくに、スピーカとマイクの間の床面はフェルトや座布団で吸音します。

1発のサイン波が測定信号です（第2図）。この1発のサイン波の周波数を変えながら、応答を調べます。

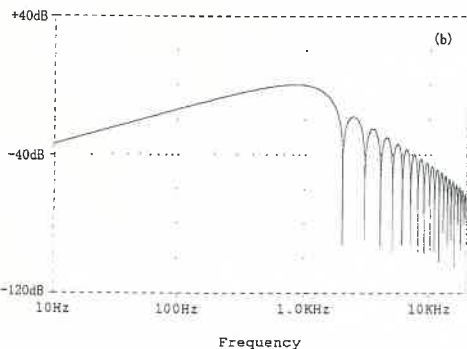
まずは、単発サイン波の音を聴きながら、周波数を上げ下げします。これが単発サイン波測定のおもしろいところです。特定の周波数で音が変わったり、ある周波数範囲で音が変わらなかったりするのわかります。低い方からですと、密閉箱の $f_0$ （これは慣れないとわかり難い）、バスレフ箱のポート共振、ポートとユニットの $f_0$ の間のインピーダンスの谷底などを境に、音色が変化します。周波数を上下してもピッチが変わらない帯域があれば、共振波形が観測されるはずですが、

クロスオーバー周波数をピタリと当て



◀ 〈第2図a〉  
測定に使う1波  
のサイン波

◀ 〈第2図b〉 ▶  
1波の1kHz波に含まれる  
周波数成分



るのは難しいですが、ある帯域を境に、ウーファの音がトゥイータの音に変わるのには簡単にわかります。ある周波数まではウーファの音だけですが、徐々に周波数を上げるとトゥイータの音が混ざり、やがてトゥイータの音だけとなります。これだけ音色が異なるのによもシステムになるものだ、と愕然とすることもあります。

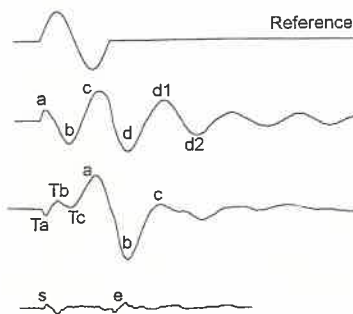
2次以上のクロスオーバー・ネットワークも、それぞれ特徴的な音があります。音源位置をどうやらそうと、レベルをどういじろうと、1次のネットワークの音が2次のネットワークの音に化けることはありません。これはチャネル・デバインドでもLCネットワークでも同じです。

ユニット間の音源距離の違いもわかります。単に聴いただけではわからなくても、トゥイータを前後させれば、音の差となって聴こえます。違いはわずかな距離でもわかります。

優秀なトゥイータは測定周波数を20 kHzにも上げれば、音量が下がって聴こえますが（理論的にもそうなります）、音量が下がらないように感じるトゥイータは、相当に強烈な共振があります。特にこの帯域では、F特を伸ばすために高域共振を利用しているユニットが少なくありません。

以上のように、単発サイン波では、音楽を聴いてわかる種類のスピーカの欠点か、しかも周波数を特定して（発振器のダイヤルを見ればわかる！）わかります。連続波をスイープさせて試みたところで、これらの欠点は聴こえません。ちょうど連続波の周波数特性と単発サイン波応答のグラフの違いのようです。また、インパルス信号を聴いたところで、問題のある周波数がどこかはわかりません。これまた、インパルス応答の波形と単発サイン波応答の波形を見るかのようです。

観測周波数ですが、スピーカの特性を表わす場合には1/3-1/2オクターブごとに周波数を変化させて記録します。たとえば、10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, …,（いわゆるE12系列）



〈第3図〉 応答波形の各部につけられた名称

のように対数的に等間隔になる周波数を選びます。私はディケード（10倍）あたり10点、20, 25, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 150, 200として測定します。

スピーカの問題を探る時には、怪しい帯域を細かく探ります。オシロスコープの画面にも注意しますが、同時に耳にも神経を集中させます。この作業を繰り返すと、波形の違いと音の違いが結びつくようになるでしょう。

単発サイン波のパワー・スペクトラムは中心周波数の上下に分布しますが、応答に表われる成分はせいぜい2オクターブです。ですから、1つの周波数を測定しただけではダメです。周波数を上下させて観測しなければなりません。

## データの読み方

もしも“理想”スピーカがあれば、すべての周波数で入力と同じ出力波形が得られます。しかし、“実在”のスピーカは、どれもこれも特徴的な波形を出力します。もちろん「出力波形が入力波形に近ければ近いほどよい」と考えます。実際、聴感的にもその傾向があります。

応答波形には、第3図のように名前を付けました。波形の立ち上がりの第1波をa波、次の下向きの波をb波、その次の上向きの波をc波と呼びます。c波以降はd（d0）、d1、d2、d3、……、と呼びます。

a, b波は、入力信号に対応した波です。c波は、F特がフラットな帯域

では、入力のサイン波がなくなる時点に対応しますが、それ以外の帯域では異なります。d波以降は信号がなくなった後もスピーカが不要な振動を続けるために発生します。

ところで、いわゆるふつうのマルチウェイ・システムでは、ウーファ、スコカ、トゥイータからの波が時間差攻撃をかけてきますので、a, b, c, dだけでは名前が足りなくなります。そこで仕方なくミッドバスからの波はma, mbのように頭にmを付け、スコカからの波はSa, SbのようにSを付け、トゥイータからの波はTa, TbのようにTをつけて呼ぶことにします。それでも足りないときは、その場で考えることにします。

また、スピーカによっては、単発サイン波の開始点と終了点で独特の波が発生します。開始点での波をs波、終了点での波をe波と名付けます。

チェックすべきポイントは、

### (1) a, b波の形が良好であること

重要な条件です。変なピークや谷が観測されるようなユニットを使ってしまえば、あとあとどう工夫しようと良好な応答は得られません。さらに、できればa, b波の振動がそろっていることが望まれます。が、中低域に関しては、箱に入っていないと連続波のレスポンスが得られないように、単発サイン波も（振動板の前後の音の干渉によって）打ち消しがおこります。

### (2) d波以降の不要振動が小さいこと

フェルトで覆ったり、デッド・マスを取りつけたりすることで、d波以降の振動を低減はできますが、最初から少なければそれが何よりです。この領域での振動は、スピーカそのものの音を作り出します。ですから、小さければ小さいほどクリアになり、細部まで聴こえるようになります。

以上のようにまとめれば簡単なのですが、実際のスピーカはいろいろな波を出力してくれます。

## 部屋の影響について

測定が簡単というだけの理由で広く

用いられている連続波を用いた周波数特性は、測定を無響室で行うか残響室で行うかによって、得られるカーブが異なります。端的に言えば、部屋を変えるだけで周波数特性は変わります(第4図)。けれども、部屋を変えたところで、スピーカの音はそう変わるものでもありません。

一方、単発サイン波応答に対する部屋の影響は、周波数特性に比べ、はるかに小さいものです。

たとえば、最も近い壁(あるいは床、あるいは天井)までの距離が1m、マイクとスピーカの距離を1mとした場合、信号の立ち上がりから3.63 msecまでは何の影響も受けません。

1 kHzであれば3.63周期分の時間です。優秀なスピーカであればd波も小さく減衰しています。中高域の測定に関しては、ふつうの部屋で何の問題もありません。

しかし低域は影響を受けます。3.63 msecでは、100 Hzであればb波以降は反射波の影響を受けていることになります。仮に部屋の残響時間が0.1秒、一辺が3.4mとしますと、音波は平均して0.1秒の間に10回反射されることになります。10回の反射で信号強度が1/1000になると考えれば、1回目の反射強度は0.5倍。得られた応答は無響室特性とは33%程度異なっているのかもしれない。

ところで、部屋の寸法はピーク、ディップとして周波数特性の特定の場所に現われますが、特定の周波数の単発サイン波を強調したり減衰させたりす

ることはありません。常に、同じ時間だけ後に反射波の山谷が登場します。ですから、音源位置合わせなどでは何の影響もありません。

## 単発サイン波応答と連続波応答

周波数特性はアマチュアがスピーカ・システムを作るための唯一のよりどころでした。同様にメーカーも(無響室での特定の位置での)周波数特性をフラットにするようにスピーカ・システムを作ります。では、周波数特性がフラットであるシステムは、単発サイン波応答も良好なのでしょう。

いま、2つのスピーカがあり、ある周波数帯域でまったく等しい音圧が得られたとします。しかし、2つのスピーカの単発サイン波応答は、似ても似つかないものかもしれません(第5図)。a、b波がきちんと再生されなくてもd波以降の不要振動が大きければ、連続波としての音圧は大きくなります。反対に、d波以降の振動がa、b波と逆の極性であれば、連続波としての音圧は小さくなります。たとえば、a、b波が小さくなる帯域に共振器を加えてd波以降の振幅を大きくすれば、連続波の音圧は大きくできます。グラフィック・イコライザという名の電気的共振器の働きがこれです。

ですから、連続波の音圧では、過渡的にも優れたシステムなのか、共振を利用して見かけ上の音圧を確保しているシステムなのか、見分けることは不可能です。実際、連続波の音圧をフラ

ットにするために振動板の高域共振、パスレフなどの低域共振などを積極的に利用しているケースが多々あります。これらの手法は見かけ上の音圧レベルを上げ、使いようによっては周波数特性カーブをフラットに近づけます。しかし、過渡的な応答は確実に悪化します。もちろん、単発サイン波応答も悪くなります。

それでは、反対に、単発サイン波応答が良好であるシステムの周波数特性は、フラットになるのでしょうか。理論的にはイエスです。が、「単発サイン波応答が良好であるシステム」は、まだまだ完成しそうにもありません。

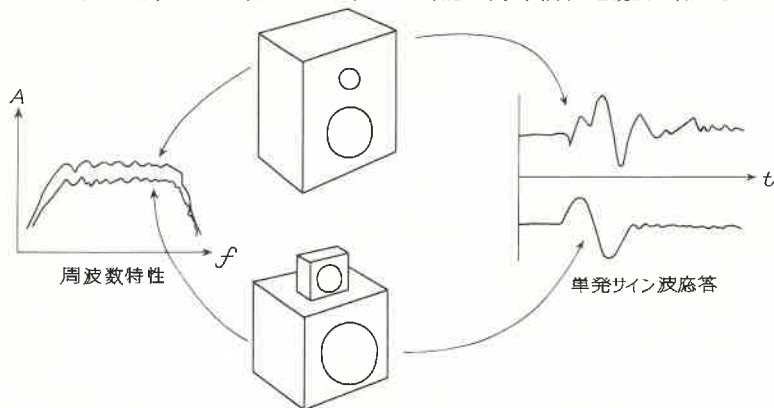
## 単発サイン波応答は究極の測定法か

答えはノーです。

アンプの測定に単発サイン波を用いたこともあります。聴感上は異なるにもかかわらず、出力波形は同じにしか見えないことがほとんどでした。周波数特性に影響するOPTなどは単発サイン波を変形しますが、トランジスタOTLであれば、よほどのことがない限り、どれもこれも同じ波形が観測されます。スピーカも、入力と同じ(に見える)出力が得られたとしても、まだまだ音の違いは残るでしょう。もっとも、ここしばらくはこんな心配は無用です。

しかしながら、もしもスピーカから入力と同じ(に見える)出力が得られたならば、その再生音はすばらしくよくなっているに違いありません。ユニウェーブ・システムでの改善方法は、どれもこれも少しずつではありますが、単発サイン波応答を良好にする方向に働きます。聴感的に優れたスピーカ・ユニットは例外なく単発サイン波応答(とくにd波以降の振動が少ない)も良好です。クロスオーバーでの波形を改善することが、マルチウェイ・スピーカの不自然さを激減させます。

単発サイン波応答は、究極の測定法ではありません。が、いましばらくは、有効な測定法であるでしょう。



〈第4図〉周波数特性は似ていても単発サイン波応答はまったく違うこともある