

スピーカ・システムの技術者，自作者必読!!

第3回

「ユニウェーブ・スピーカの設計思想から実測まで」

- デッド・マス，エンクロージャの検討
- 吸音処理と音源位置合わせの実測

スピーカの原点を時間軸でとらえた
総合理論「ユニウェーブ」。
その解説と実製作例の詳細報告。



べっぶとしゆき
別府俊幸

原則 4. デッド・マス

と

原則 5. エンクロージャ

③の音源位置合わせは後回しとしまして、デッド・マスとエンクロージャです。第1図に試作したキャビネットの寸法を示します。もちろん密閉箱です。計算上の内容積は6.6 lです。例えば低域が不足でも、音響的共振器を取り付けようとするのは邪道です。

きれいだという理由でt18のスプールの集成材を使用しましたが、結局はフェルトで被ってしまったのですから、みてくれにこだわる必要はありませんでした。スプールは比重、硬さもラワンとほとんど変わりません。加工は容易ですが、もっと硬い材料が良いかもしれません。

箱の中には米松の柱が建てられ、柱に開けられたφ100の穴にデッド・マ

スとなる真鍮の丸棒を通してあります(第2図(a))。柱によっておもりとスピーカを支え、同時に天地の板を連結して補強できる一石二鳥の構造です。なお、米松としたのは安かったからで、経済的以外に理由はありません。

裏板にもφ100の穴を開け、おもりを後ろから押し出せる構造としましたが、これは必需です。また、この柱付きのキャビネット構造は組立も容易でお薦めです。丸棒を通した状態で接着すれば、組み立て精度も心配ありません。

ウーファのデッド・マスはφ100×230の真鍮の丸棒で15 kgあります。真鍮の丸棒は、地金屋さんで定尺(4 m)で買えば、キロ当たり1,200円くらいです。これを裁断してもらえば、2割増しから5割増し程度で購入できます。値段は長さに依存します。短ければ短いほど高くつくのは仕方ありま

せん。地金屋さんでは、巨大な電動砥石であつという間に切ってくれますが、金切り鋸で切ろうなどと考えるのは自殺行為です。試みた本人がいうのですから間違いありません。

ところで、切断面はでこぼこです。やすりなどで仕上げようなどと考えるのも自殺行為です。やりかけて投げだした本人がいうのですから間違いありません。結局、知り合いの工場に頼みこんで仕上げてもらいましたが、この寸法ともなりますと大型の施盤が必要なのだそうです。つまり、コストはかかります。最終的に、キロ当たり2,600円もかかりました。ウーファが9,000円であることを考えると、無茶としかいいようがありません。

他の材質としては、コスト、硬さも鉄が良いでしょうが、切り売りはしてくれません。また、ステンレスはコストは真鍮なみで、これも切り売りし

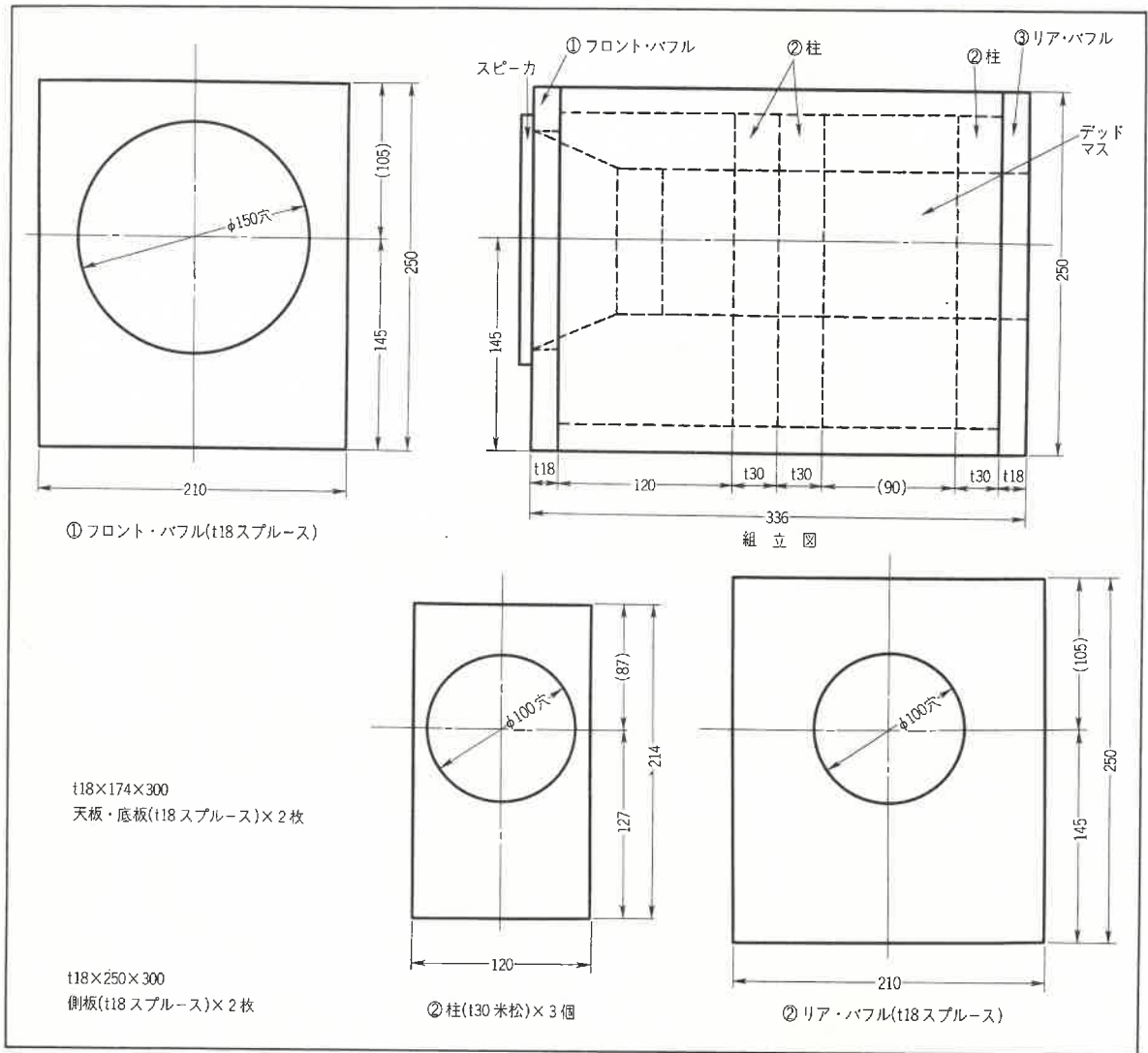
ユニウェーブ・スピーカの6原則

- ①. 単発サイン波応答によるユニットの選択，システムの調整
- ②. -6 dB/oct ネットワーク

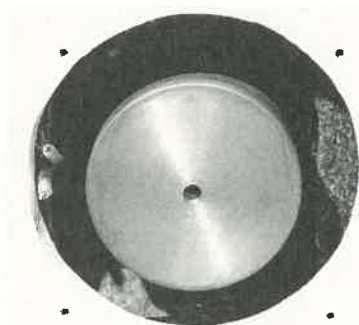
- ③. 音源位置合わせ
- ④. リアクション吸収デッド・マス
- ⑤. エンクロージャに音響的共振器を

- 使わない
- ⑥. キャビネット外側の吸音処理

●新スピーカー総合理論



〈第1図〉 ウーファのキャビネット組立加工図

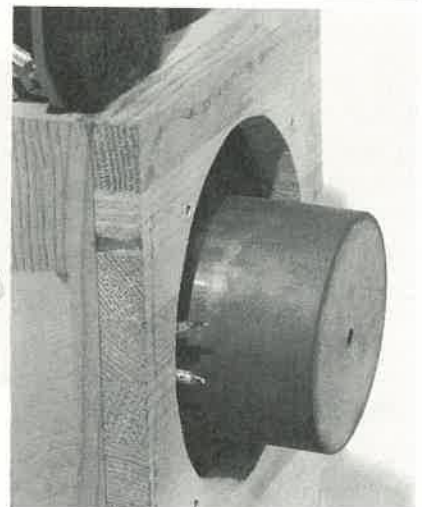


〈第2図(a)〉キャビネット正面から見たおもり。M10のネジが切つてある。

▶(c)おもりを手前に押し出したところ。裏板に穴を開けてなければ押し出せない。



(b)ウーファに接着されたスペーサ。スペーサにはM10のボルトが埋め込まれている。手前の穴はウーファの振動板の背圧を逃すため。



てくれないそうです。アルミは多少安くなりますが、軽いのが弱点です。コスト/重量比では鉛でしょうか。鉛は軟らかく、音速も真鍮の1/5程度にはなりますが、値段も1/3くらいです。おもりは何といても重いことが大切です。1万円しないウーファに1万円のおもりをぶら下げるアホの真似はしたくない常人(まあ、このページを読んでいるあなたもふつうの人では…)にお薦めです。

ウーファには、 $\phi 100 \times 30$ の真鍮のスペーサ(第2図(b)、これだけで2kgある)を接着します。スペーサの中心には10mmのボルトが埋め込んであります。おもりをバフルの前に何cmか押し出し(第2図(c))、スピーカをねじ込みます。次に、端子にケーブルを半田づけし(第2図(d))、押し込みます(第2図(e))。スピーカとバフルは、パッキンを挟んで押さえつけているだけです。教訓としては、おもりを長くして裏板から飛び出させることです。これによって、スピーカを回し易くなるでしょう。また、スピーカとスペーサの接着には、当初エポキシ系接着剤を用いていましたが、粘性が高く、接着層が厚くなりがちです。瞬間接着剤が

ベターです。

デッド・マスは、ユニットの構造系(マグネットやフレーム)の不要振動を減少させます。ヴォイス・コイルが動けば、磁気回路は反対の方向に動きまゝ。動かされた磁気回路は、マグネットやフレームを揺さぶり、バフル板やキャビネットを振動させます。この不要振動そのものを低減できるのはおもりしかありません。さすれば、バフルやキャビネットの振動をも減らし、フレームやキャビネットから放出される音をも減らします。箱をいくら強化したところで、ユニットをバフル板に取り付けられない構造としたところで、バフルの前に出たフレームを強化したところで、あるいはフレームをなくしたところで、マグネットの振動エネルギーは変わりません。マグネットの振動エネルギーが同じであれば、その周辺(ほとんどはキャビネット?)で消費されるエネルギーも同じです。取付方によって振動モードは変化しますが、振動エネルギーそのものを減らすことはできません。これらの改善策では、おもりのような本質的な改善効果は得られ

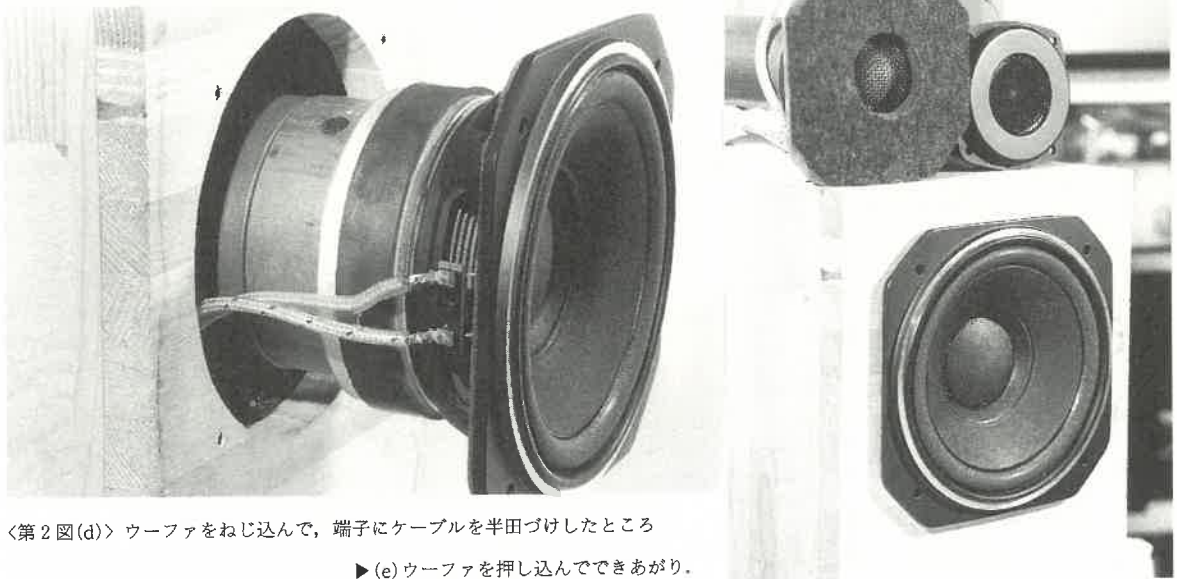
ないでしょう。

トゥイタのおもりも真鍮の丸棒で作りました。 $\phi 60 \times 150$ (3.6kg)と $\phi 80 \times 150$ (6.5kg)の2種類です。マグネットの直径(TW 25は $\phi 80$, FT 55 Dは $\phi 90$)に合わせて作るとういでしょう。

それでは、エンクロージャの内容積について考えます。

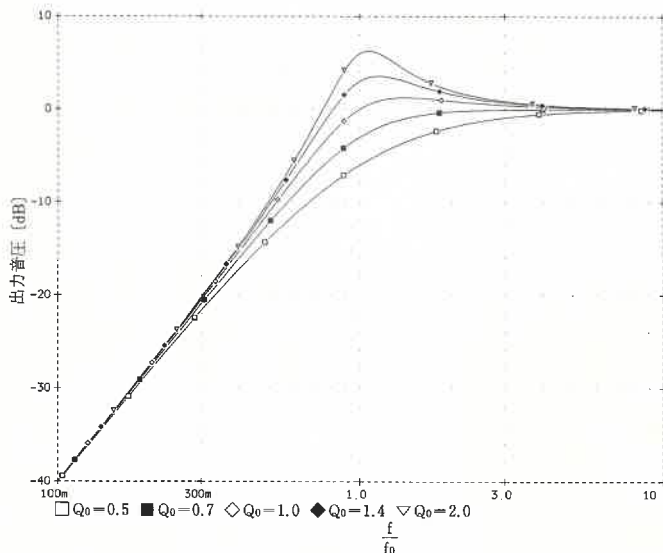
密閉箱での低域特性は、スピーカを2次のローカット・フィルタでシミュレートすると、第3図のように低域共振のQによって変化することが計算されます。第3図のカーブからは、 $Q_0 = 0.7$ 付近が最も低域特性が伸びるために良いとされています。無論、実際にはモデルに表されない要素がいくつもありますから、計算値とスピーカのf特カーブとは一致しません。裏を返さなくても、モデル計算をしたところで音が計算されるわけではありません。

単発サイン波も、同じモデルから計算することができます(第4図)。もともとこれはパネとおもりの振動の収束モデルでもありますから、静定時間も $Q_0 = 0.7$ で最小となります。当然、単発

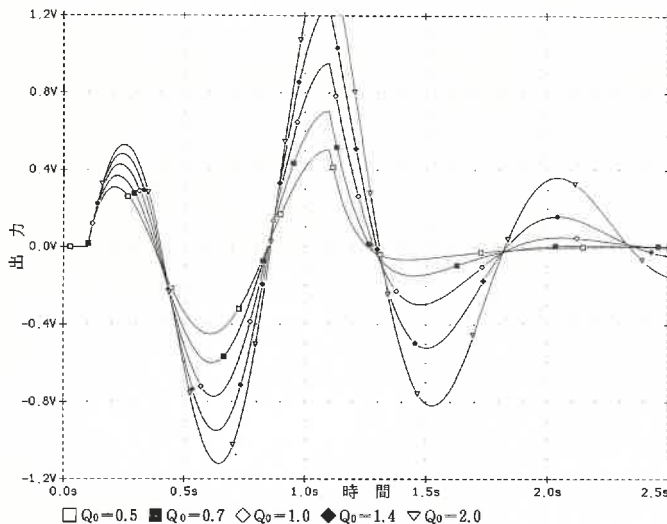


〈第2図(d)〉ウーファをねじ込んで、端子にケーブルを半田づけしたところ

▶(e)ウーファを押し込んでできあがり。



〈第3図〉 2次フィルタによるスピーカの低域特性のシミュレーション。
スピーカの低域特性を2次のローカット・フィルタでシミュレートすると、 Q_0 によって特性が変化する。



〈第4図〉 Q_0 による単発サイン波応答の変化
連続的な音圧特性からは $Q_0=0.7$ 近辺が良いとされているが、アンダー・シュートが小さい点からは過制動とされる $Q_0=0.5$ 付近が良いようである。ただし、低域の出力音圧は低下するであろう。0.5~0.7程度が良好ではなかろうか。

サイン波の応答も良好です。が、アンダー・シュートが小さい点からは、 $Q_0=0.5$ 付近が良いようにも思われます。しかし Q_0 を下げすぎますと、低域の音圧は下がります。 $Q_0=0.5\sim0.7$ に仕上げれば良いのではないのでしょうか。

なお、デッド・マスがあれば容積は小さくても良いとも考えていましたが、この見解は訂正いたします。おもりはおもりで、内容積は内容積です。

以上のように、箱の設計に関しては、従来の計算方法でOKです、というこ

とは、やはりバスレフを前提に設計されたウーファは(FW 160も)、密閉箱には不向きということです。いずれは、ユニットそのものから作らざるを得ないでしょう。

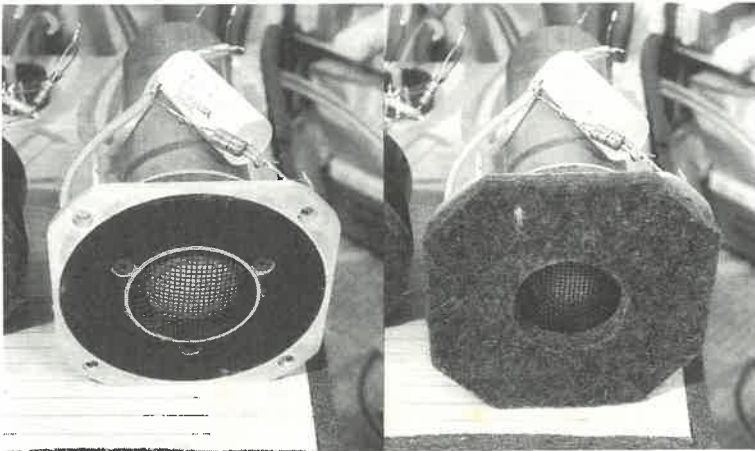
原則6. 吸音処理

FT 55 D の前面にフェルトを貼った状態(第5図(a))での応答を第5図(b)に示します。前号第9図の応答と比べ a, b 波の高さの差が減り、不要振動も低減されています。(c)図にフェルトありなしでの a, b 波のピーク・トゥ・ピークの変化を示しますが、フェルトによって過渡的なレベルがよりフラットになっていることがわかります。なお、トゥイータでは、フェルトに限らずグラスウールやその他の吸音材でも、同様の効果が観測されます。

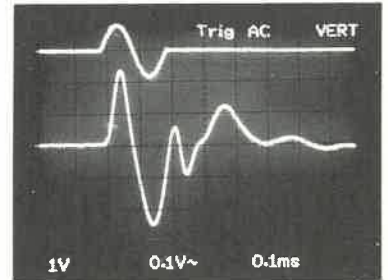
第6図は、FW 160 改のバブルをアキバで売っているアオキ産業製のマイクロンウールで被ったときの単発サイン波応答(2 kHz)です(b)図)。(a)図に比べ、c 波が低く抑えられています。1 kHz から 5 kHz にかけて、応答の変化が観測されますが、箱の寸法からは回折効果を抑えていると考えられます。しかし、もともとバブル面積を抑えた箱のためか、それほどの変化ではありません。が、聴感上は、すっきり、はっきりとした傾向の音になります。

ところで、第6図(c)は、FW 160(改ではない)のバブルをアオキ産業製の粗毛フェルトで被ったときの応答です。リファレンスのため、フェルトなしでの応答を2重写しにしてありますが、このフェルトでは、ほとんどまったく効果が見られません。実はこの(c)図は、半年以上前の実験結果です。このときに顕著な効果が現れていたなら'91年4月号でレポートしていたに違いありません。

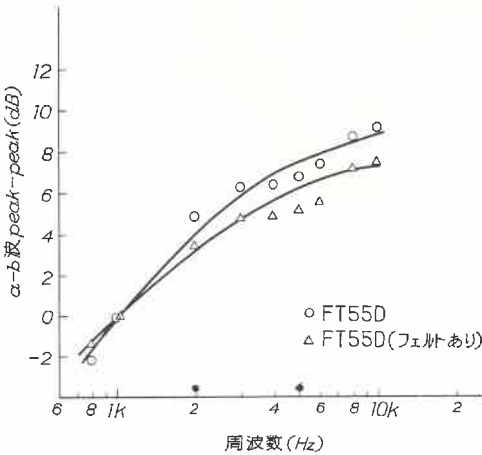
この差の理由は、吸音材の中低域での吸音能力と考えられます。ウーファ・ボックスでは粗毛フェルトの他、



〈第5図(a)〉 FT 55 D の正面にフェルトを貼ったところ。おもりと ASC も見える。

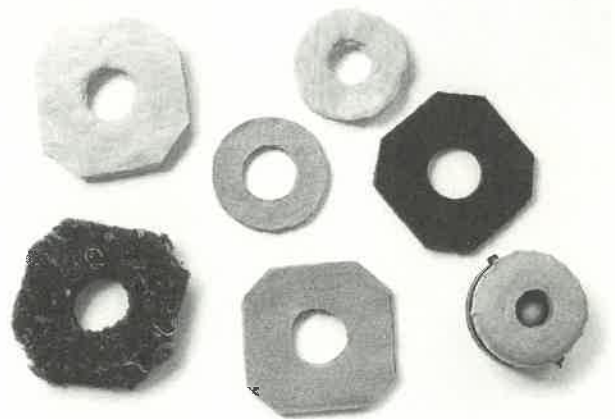


〈第5図(b)〉 5 kHz の単発サイン波応答。前号の第9図(f)と比較し、a, b 波の波高が近づいている。

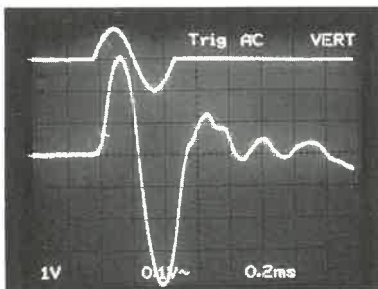


〈第5図(c)〉 FT 55 D フェルトありなしでの a, b 波の P-P レベルの変化。

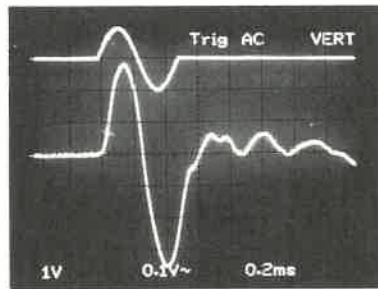
(1 kHz) を基準としてフェルトあり(△)は、フェルトなし(○)に比べ、よりフラットである。



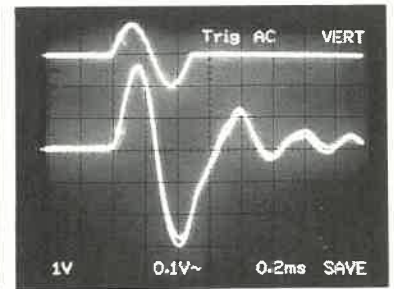
●実験に参加した吸音材たち



(a)フェルトなし



(b)フェルトあり

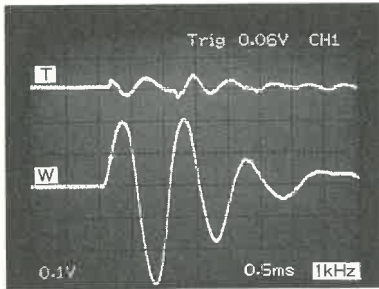


〈第6図(c)〉 粗毛フェルトをウーファのパフルに貼ったが…

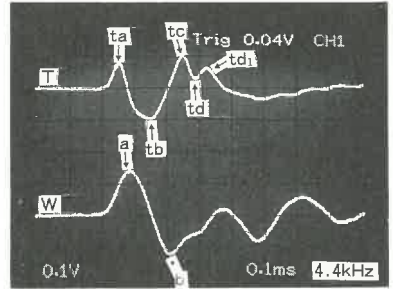
〈第6図〉 ウーファのパフルにフェルトを貼った場合(2 kHz)

c 波のピークが押さえられているが、顕著な変化はみられない。1 kHz~4 kHz あたりで変化が観測されるが、箱の寸法より回折効果を低減していると思われる。

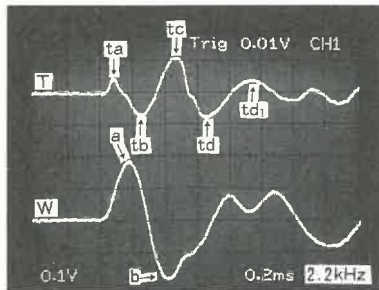
密度の低いフェルトやグラスウールでは、ほとんど効果がみられない。



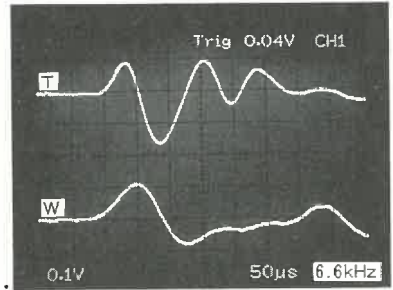
◀(a) 1.0 kHz
ウーファの音圧レベルはほとんど下がっていないが、ツイータの出力波形はつぶれている。これはネットワークによる遮断特性よりもツイータ自身の特性による。



▶(c) 4.4 kHz
依然としてウーファからの音圧が高いようである。



◀(b) 2.2 kHz
クロスオーバー周波数。当然のことであるが、ツイータの出力は微分され、ウーファの出力は積分されている。理論的には、この2つを足し合わせればもとの波形になるのだが、「理論的」との枕詞がつくときには、実際にはならないことを意味している。



▶(d) 6.6 kHz
ウーファからの音圧は、まだ結構高いが、そろそろツイータの支配帯域に入っている。

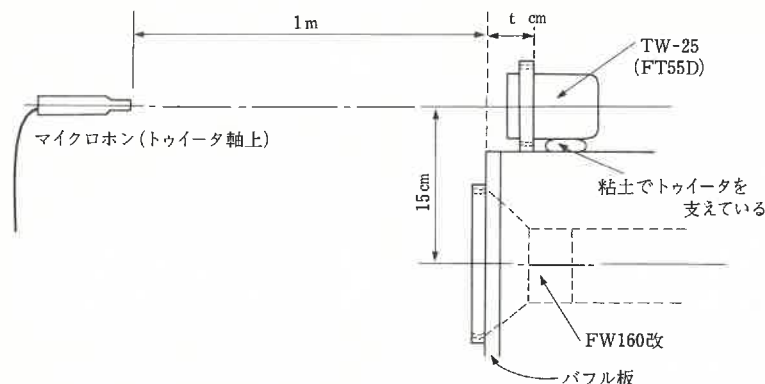
◀第7図▶ クロスオーバー付近でのウーファとツイータの出力音圧波形
上：ツイータ(TW 25) 下：ウーファ(FW 160改)

人気の高いグラスウールもまったく効果が観測されません。壁にグラスウールを貼って部屋の残響をコントロールしようとしても、高域の残響だけがなくなり、つまらない響きになってしまうでしょう。このような吸音材では、スピーカー・ボックスの外側に巻き付けたところで、肝心の中域では無力です。

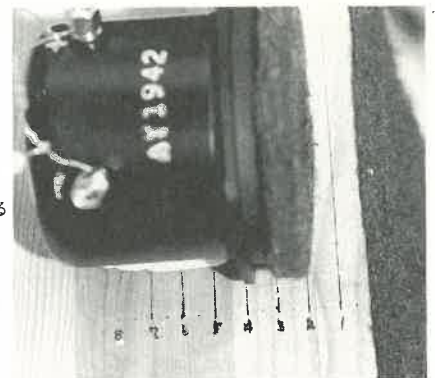
よう。ボックスの中ではグラスウールも効果ありますが、これは周波数の高い定在波が効くからでしょう。

効果が観測されたのはミクロンウールと密度の高いフェルトです。ただしフェルトは10mm厚、ミクロンは25mm厚です。けれどもミクロンは、ウーファの音圧によって揺すられ、“さわ

さわ”した音がつきまといます。キャビネット内部のグラスウールでは多少ざわついたところで聴こえないかも知れませんが、キャビネット外側では問題です。ある程度の密度を持った、厚手のフェルトが良好です。



◀第8図(a)▶ 音源の距離合わせ測定ブロックダイアグラム
ウーファをバフルの前面から取り付け、ツイータもバフル前面から取り付けた位置を0cmとし、ツイータを1cmずつ後退させる。



◀第8図(b)▶ 音源位置の測定中
なんと、キャビネットには目盛りが記されている。

原則 3. 音源の位置合わせ

いよいよユニウェーブの仕上げ、音源の位置合わせに入ります。

ウーファの-3 dB 点はP.90の第19図より 2.2 kHz, トゥイータは本命の TW 25 で 2.3 kHz, 次点の FT 55 D で 2 kHz と、まあまあ値になっています。

クロスオーバー周波数付近の TW 25 と FW 160 改それぞれの応答を第7図に示します。1 kHz (a) 図は、ウーファはほとんどそのままのような波形ですが、TW 25 は見事につぶれていますが、これはネットワークの遮断のためでなく、ユニットそのものの音圧が低くなっているためです。(b) 図はクロスオーバーの 2.2 kHz です。当然のことですが、トゥイータの応答は微分されて周期が短くなり、ウーファの応答は逆に積分され、a, b 波の間隔が広がっています。この2つを足し合わせて、もとの単発サイン波を合成しようというのですから、そもそもの帯域分割そのものが無理な発想のように思われます。(c) 図はクロスオーバーの2倍、4.4 kHz です。まだウーファからの放射レベルはトゥイータと同じくらいあります。(d) 図は 6.6 kHz です。この辺りから上は、トゥイータの支配帯域でしょう。

これらの音波を合成するとどうなるか、とにかく測定してみます。

音源位置による応答変化

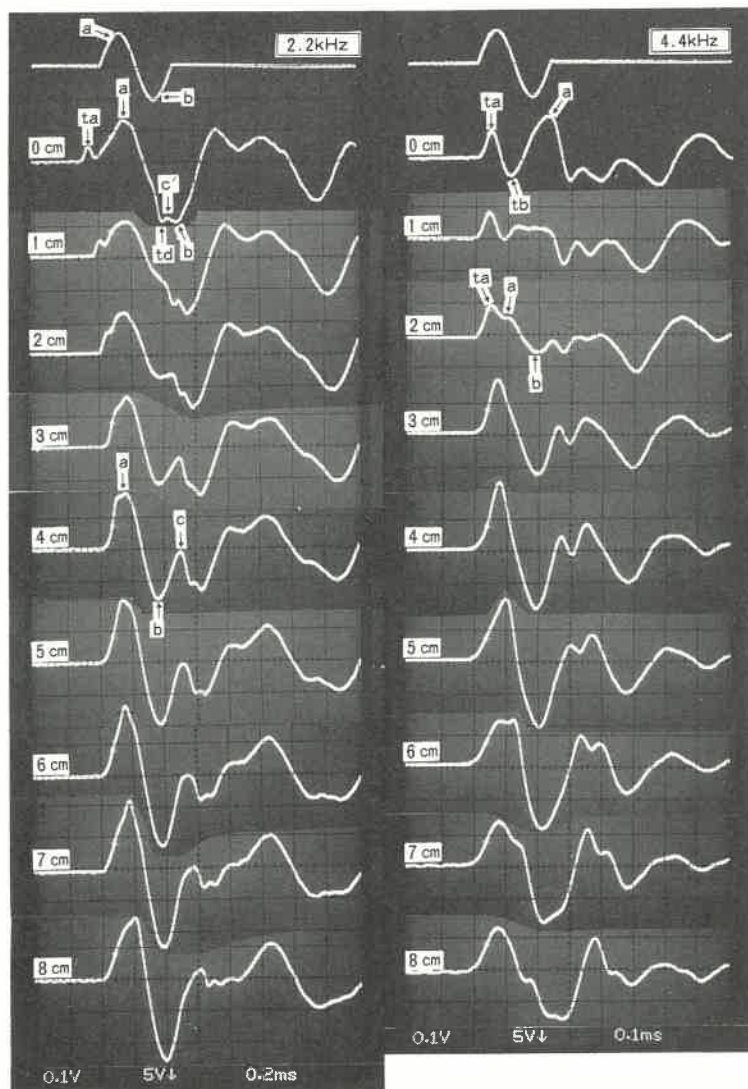
第8図に音源位置による応答測定ブロックダイアグラムを示します。マイクはトゥイータの軸上 1 m です。トゥイータとウーファの中心間距離は 15 cm です。測定周波数はクロスオーバーの 2.2 kHz と 4.4 kHz に選びました。4.4 kHz を選んだのは、経験上、クロスオーバー周波数の 2~3 倍付近での波形ひずみが大いからです。

FW 160 改と TW 25 の組み合わせでの応答を第9図に示します。

2.2 kHz (a) 図では 0 cm, 1 cm とトゥイータから放射された ta 波がウーファからの a 波の前に、b 波の前には td 波 (tb 波ではない) が現れています。2 cm までトゥイータを後ろに下げると、ta 波は a 波と合体しますが、2~3 cm と a 波に突起が見られます。

4~5 cm では a, b 波は良好に再生されています。しかし、その後には c, d 波がイメージを悪くしています (c 波以降を隠してご覧ください。理想的でしょう?)。c, d 波が見えない点では 8 cm が良好と思われるかも知れませんが、8 cm では a, b 波の波長が伸びてしまっていることがわかります。

4.4 kHz (第9図(b)) の 0~2 cm



(a) 2.2 kHz

(b) 4.4 kHz

<第9図> 音源距離による応答変化(FW 160 改+TW 25)

0 cm (トゥイータとウーファが同じパネルに前面から取り付けられた状態) では、ウーファから放射される音とトゥイータから放射される音が分離している。トゥイータを後ろに動かすに従って、再生波形も良好となる。4 cm 辺りで最良となるが、トゥイータを下げすぎると a 波の立ち上がりは緩やかになり、a, b 波の間隔が広がってしまう。

は、単発サイン波はどこへ消えたのやら、まったく別物の波形となっています。

バフル板の前から取り付けようと後ろから取り付けようと、ほとんどのスピーカ・システムでは、この近辺になります。この状態で-12dBのネットワークとすると、より一層わけのわか

らない波形となります。そうです。ほとんどすべてのスピーカが、このような“ひずみ”を放出しているのです。

3 cm以降はそれらしい形となっています。が、定規をあててみると5 cm以降で a, bの間隔が伸びています。6 cmからはツイータの ta 波がウーファの a 波よりも後方に現れます。明

らかに下げすぎです。

FW 160 改と TW 25 の組み合わせでは、どちらの図からも 4 cm が最適な位置とわかります。

第 10 図は FW 160 改と FT 55 D の組み合わせです。

(a) 図の 2.2 kHz の 0 cm は、何かなんとかわからない波形ですが、よくよく見るとウーファからの a 波の前にツイータからの ta 波があることがわかりますが、b 波はどうなったのでしょうか。1 cm も同様です。2 cm でなんとか単発サイン波らしくなってきました。が、a 波の中腹にこぶが出っかけています。最適位置よりわずかだけツイータが前にあるとき、混濁した刺激的な音に聞こえますが、応答波形からのご想像になれると思います。また、この波形の特徴的な乱れは、シミュレーション¹⁾でも見られました。

3~4 cm は良好な a, b 波ですが、5 cm になると a 波の立ち上がりがゆるやかになり、6 cm 以降では a, b 波の波長が伸びています。

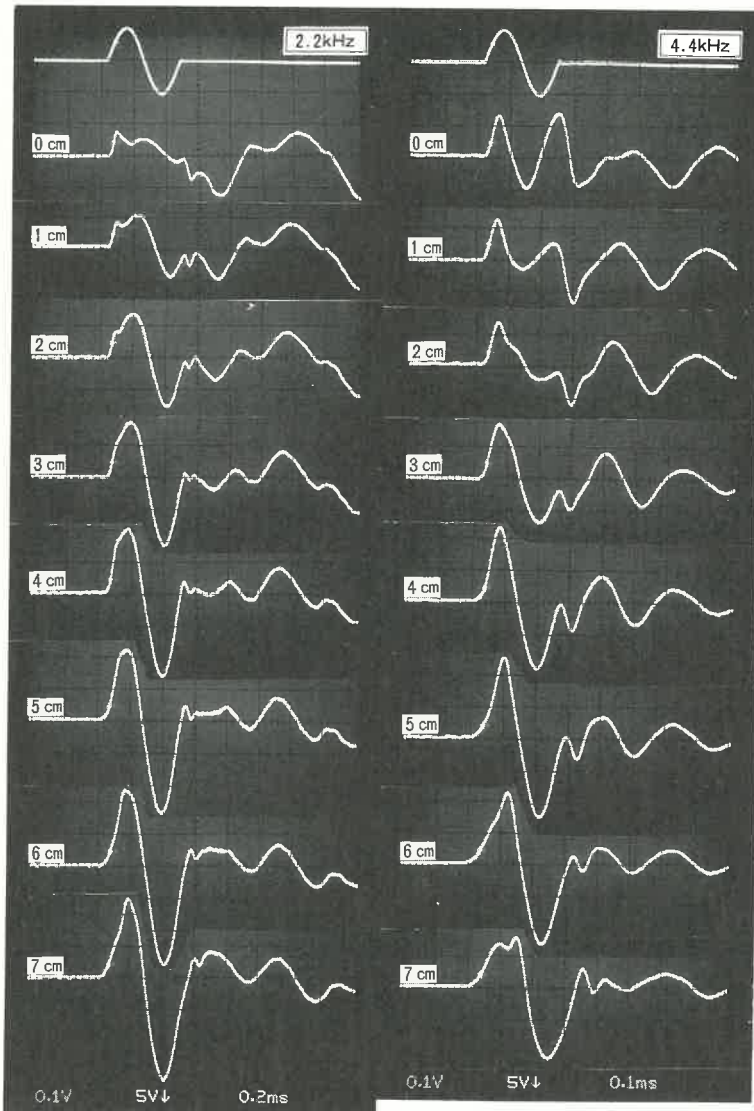
4.4 kHz (第 10 図(b)) も、0~2 cm では激しくくずれた a, b 波が現れます。3~4 cm 辺りから良好な a, b 波に見えますが、4 cm では早くもウーファからの波がツイータよりも先にマイクに到達するため a 波の立ち上がりがなまります。5 cm 以降では a 波の立ち上がりの遅れがよりはっきりとわかります。同時に、4, 5, 6 cm と a, b 波の波長も伸びています。8 cm まで下がりますと、4.4 kHz の単発サイン波が 3.7 kHz に下がったかのようです。同時に、a, b 波のピークも異常に高くなります。

FW 160 改と FT 55 D では最適位置は 3 cm と 4 cm の間とわかります。3.5 cm としましょう。

(つづく)

参考文献

- 1) 別府俊幸, リニア・フェイズ・システムの音源位置とネットワークの検討, ラジオ技術 1991(1), pp.66-73



(a) 2.2 kHz

(b) 4.4 kHz

<第 10 図> 音源距離による応答変化(FW 160 改+FT 55 D)

ツイータを FT 55 D とした場合も TW 25 の場合と同様、ツイータがウーファよりも前にある状態では、応答波形はおおきく乱れてしまう。ツイータが 3~4 cm 後方にある状態が最適と考えられる。ツイータが下がると a, b 波の間隔が広がっているが、a, b 波のピークはかえって高くなっている。