

スピーカ・システムの技術者、自作者必読!!

第2回

「ユニウェーブ・スピーカの設計思想から実測まで」

スピーカ・ユニットの選択とネットワークの実験

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



ユニウェーブ・スピーカの製作

それでは前号の「高橋和正氏の6原則(改)」にしたがって、ユニウェーブ・スピーカの製作を始めましょう。再度確認しますと、

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
- 以上の6点です。

今回は2ウェイです。世の中には2ウェイよりは3ウェイ、3ウェイよりも4ウェイと、スピーカの種類の多いほど高級であるとの迷信(狂信?)が流布しているのですが、ユニットは、増やせば増やすほどデメリットが増えます。コスト増は我慢(自慢?)するとしても、調整の複雑さも楽しむとしても、ユニウェーブである空間の減少や、帯域制限による遅延時間の増加など、救いようのない弱点も増えてしまいま

す。そしてなによりも、1つであった音源が、1つに聴こえなくなるのは致命的です。どう美化したところで、マルチウェイは、優秀な広帯域ユニットがないための逃げる技法でしかありません。優れた広帯域ユニットさえあれば、ユニットは少なければ少ないほどクォリティの高いスピーカ・システムを得ることが可能です。

まずは、2ウェイでどこまでできるかをねらってみます。

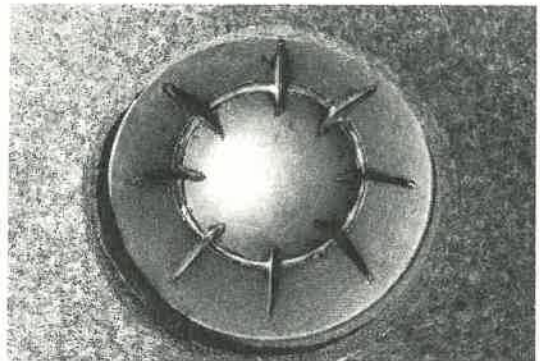
原則1. ユニットの選定(トゥイータ)

ウーファは、FW 160改('91年4月号¹⁾参照)に決めてかかります。

FW 160改は、フォステクスの16cmウーファFW 160に、中高域での音質改善をねらってリブを取り付けたものです(第1図)。が、改造によって期待どおりの特性を得ているわけではありません。中高域では振動板の共振音が張り出し、ボンボコリンと鳴ります。単発サイン波応答からも聴感上からも3kHzが限界で、できれば2kHz以下で使いたいウーファです。このため、組み合わせるトゥイータには、

- ① 少なくとも3kHzから、できれば2kHzから使用できることが要求されます。これは案外とシビアな条件です。次に、
- ② メタルの振動板やメタルのセンタ

<第1図> FW 160改ウーファの中高域特性の改善をねらって改造を施したが、満足できる特性を得てはいない。



一・キャップを使用していない
トウィータでなければなりません。これは単に、メタル振動板の音が嫌いなのです。何を聴いてもぺらぺらの金属板がちんちんと鳴っている音が聴こえるのは、ホーン・スピーカに限ったことではありません。コーン型でもセンター・キャップが光っていると、それだけで嫌な感じがしてしまいます。

また、ウーファの能率(87 dB/W/m(4Ω)からは、

③ 90 dB/W/m(8Ω)以上の能率が必要です。が、条件③に関しては、ほとんどすべてのトウィータがフリーパスでしょう。

これら3条件を満足するユニットは、'91年の夏に探したところではフォステクスのFT 38 D, FT 55 D, FT 7 RP, ダイヤトーンのTW 25, TW 501, TW 503,そしてテクニクスの10 TH 700の7種がありました(その後リチャード・アレンのDT 30も条件を満たしていることがわかりましたが、試してはいません)。少ないようで、やっぱり少ないようです。

ただ、高橋和正氏によりますと、フォステクスのPRとテクニクスのリーフは2~3kHzは無理だろうとのことです。私も何年前かに10 TH 700を使った経験があるのですが、クロスオーバーを下げるとなぜだか非力になり、スーパートウィータ的な使い方かできないようでした。リボン型は残念ですが、今回は見送りといたします。また、TW 503は、TW 501と比べるとにぎやかな感じがありましたので、これも候補から降ろします。残るは4機種です。

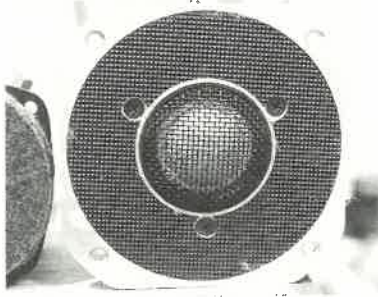
テストした4機種、フォステクスFT 38 D, FT 55 D, ダイヤトーンTW 25, TW 501の外観を第2図に、f特を第3図に、メーカー発表の特性を第1表にまとめます。

フォステクスFT 38 Dは取説²⁾によると「アルミ合金の両面に多孔質ファイブ・セラミックス薄膜を積層させ

た3層構造の高性能な振動板」であり、「ハイテク素材系の振動板にありがちな素材特有の音の色付けがなく、クリアーで表現力豊かな、ナチュラルな音色」だそうで、条件①に半分抵触する



〈第2図(a)〉 FT 38 D



〈第2図(b)〉 FT 55 D



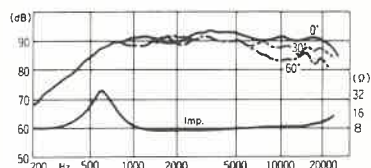
〈第2図(c)〉 TW 25



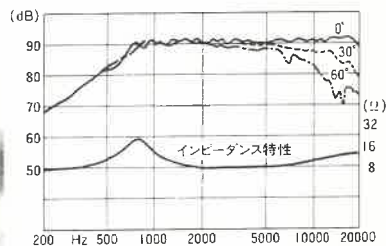
〈第2図(d)〉 TW 501

のですが、複合素材ということで試みましたが、当初の方針は死守すべきでした。

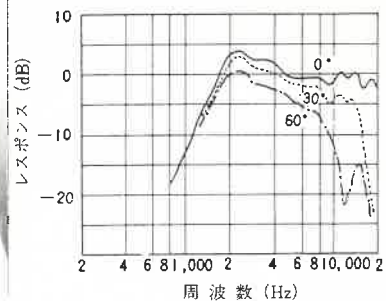
FT 55 Dは取説³⁾によると「振動板に均質な布をベースに無機質体混合の



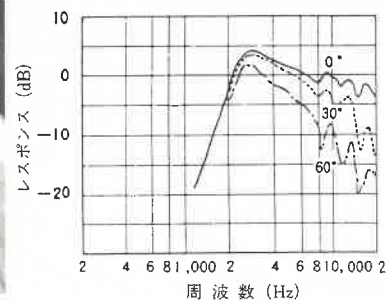
〈第3図(a)〉 FT 38 Dの周波数特性



〈第3図(b)〉 FT 55 Dの周波数特性



〈第3図(c)〉 TW 25の周波数特性



〈第3図(d)〉 TW 501の周波数特性

型名	FT38D	FT55D	TW25	TW501
形式	ドーム	ドーム	コーン	コーン
口径 [cm]	3	3	5	5
インピーダンス [Ω]	8	8	13	16
再生周波数帯域 [Hz]	600~25k	800~25k	1,500~15k	2,000~16k
出力音圧レベル [dB/W]	92	92	94	96
定格入力 [W]	70	70	20	10
推奨クロスオーバー [Hz]	1k	1k	—	—
有効振動半径 [cm]	—	—	2	2
振動系の等価質量 [g]	—	—	0.37	0.37
磁束密度 (guess)	—	—	18,000	12,000
総磁束 (Maxwel)	—	—	115,000	59,000
マグネット重量 [g]	330	330	—	—
総重量 [g]	950	950	1,100	250

〈第1表〉 使用したトゥイータ

特殊コーティング材を塗布してあり、広帯域で平坦な周波数特性と、立ち上りの鋭いパルシヴな音をクリアーに再生する能力を兼ねさせた「トゥイータだそうです。大きさと重さはFT 38 Dと同じ、マグネットと磁気回路も同じに見えますが、値段は2,000円も安くなっています。

ダイアトーン TW 25 は、かの往年のNHKモニター・スピーカ 2 S 305 のトゥイータとして有名な5 cm のコーン型です。古いモデルですが、M社はTW 25より高いトゥイータを発売したことがありません。現在でもフラグ・キャリアとしての実力を持ったユニットでしょう。鉄・コバルト・バナジウム合金を使用したマグネットで、なんと18,000ガウスです。f特からは2 kHzクロスオーバーは難しそうですが、2 S 305は1.5 kHzの-6 dB/octクロスだだそうですから期待しましょう。端子のしっかりとした構造など、某有名外国メーカーも見習ってほしいところ（第4図）。しかもネジが六角形。ポルトレンチで回せます。ただし値段は、他の3種類にウーファ



〈第4図〉 しっかりとしたTW 25の入力端子

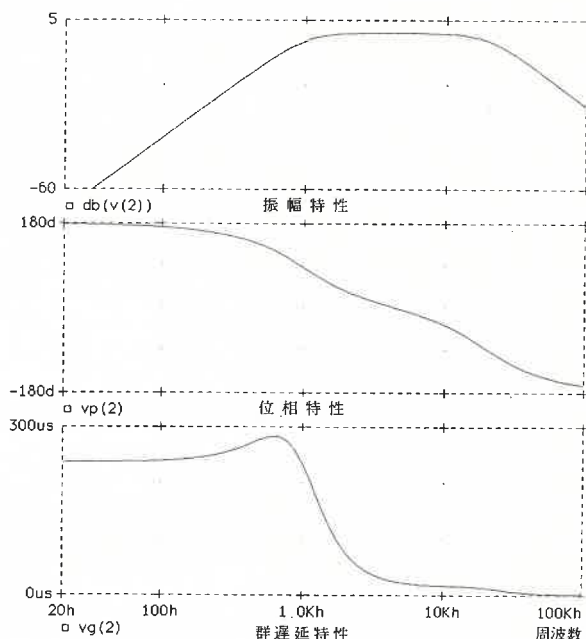
を足したよりも高いですから、楽しむというよりも、もうどうにでもなれといった気分です。

TW 501も同じくダイアトーンの5 cmコーンです。磁束密度12,000ガウスの内磁型マグネットは、おそらくアルニコでしょう。ただ、高橋氏によると、TW 501は3 kHzクロスは難しいとのこと。試した結果、私の印象も同じになりました。

さて、単発サイン波応答の前にシミュレーションです。第5図のように1 kHz以下で-12 dB/octで減衰し、20 kHz以上で-12 dB/octで減衰するバンド・パス・フィルタを考えます。

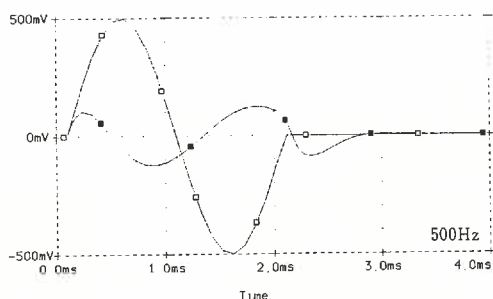
スピーカの低域での音圧は、最低共振周波数 f_0 を境に減少します。また、高域も高域限界周波数 f_1 （ヴォイス・コイルの振動がコーンに伝達されなくなる周波数）以上では音圧が急激に減少し、やはり同様に2次のハイカット・フィルタ特性を示します⁴⁾。（山本武夫氏は3次のフィルタ・モデルを示されています⁵⁾。が、現実にはこのような理想的な特性ではありませんから、とりあえず2次でシミュレートします）。

第5図に見られるように、振幅特性（上）が左下がりの領域で位相（中）は遅れ、振幅が右下がりの領域では位相が進みますが、群遅延時間でみれば遅

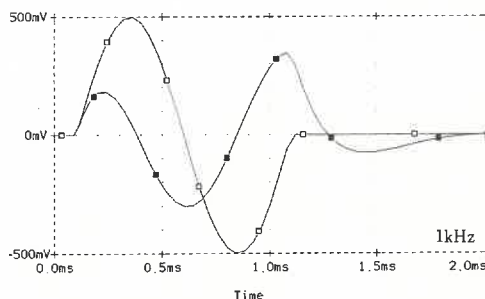


〈第5図〉 スピーカをシミュレートした2次のバンド・パス・フィルタの特性（上から）振幅、位相、群遅延特性

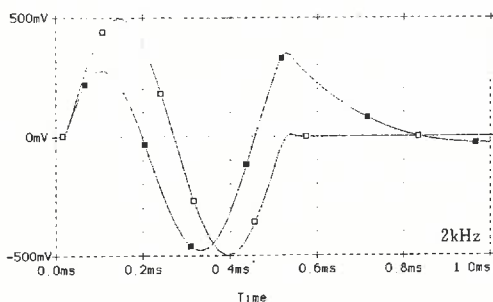
1 kHz~20 kHzの2次のバンド・パス・フィルタでスピーカをシミュレートした、理想的な状態である。位相で見ると180°から-180°まで“半回転遅れから半回転進み”であるが、群遅延時間で考えると250~15 μsの遅れである。もちろん、位相は“進む”が、波形が進むことはない。逆極性に接続したところで、遅れは遅れのままである。また、周波数特性的にはフラットな帯域でも、遅延時間（位相）は変化している。帯域を分割すればするほど時間情報が失われることは想像に難くない。



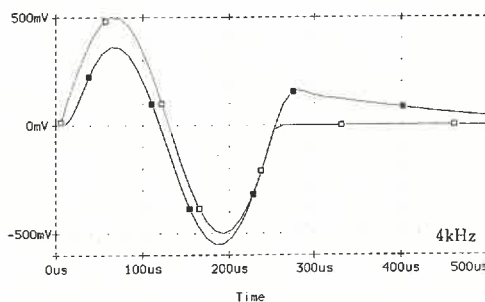
(a) 500 Hz 出力は微分され、振幅は1/4以下になっている。当然であるがウーファの f_0 以下の応答とも類似している。



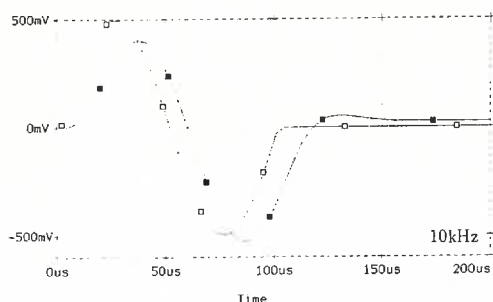
(b) 1 kHz f_0 である。a 波よりも高い c 波が現れるが、c 波のピークは入力 b 波の終わりと同じタイミングとなっている。しかしこれは最平坦特性でのシミュレーションであり、現実の f_0 の応答はもっと悪いだろう。



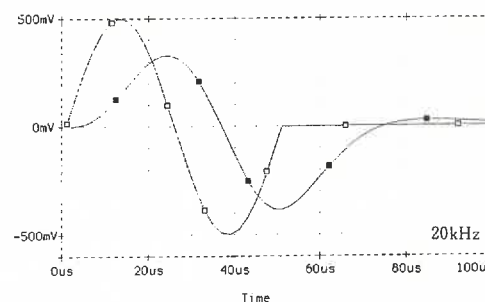
(c) 2 kHz ここでもまだ、c 波は a 波よりも高くなっている。直感的には、c 波の高さはスピーカの制動を現しているようにも思われるが、そうではない。この“理想スピーカ”でのシミュレーションにも見られるように、周波数特性がフラットでないことを時間的な側面から見ただけである。



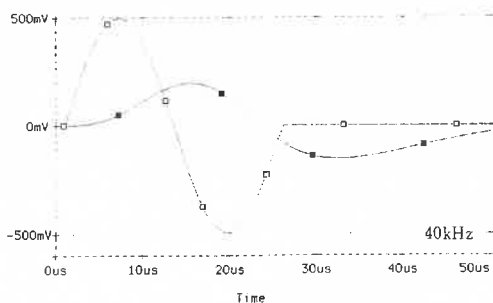
(d) 4 kHz 出力は入力と同じと見なしてもよいだろう。とすると、スピーカは f_0 の4倍以上でないといけないという恐ろしい結論になる。



(e) 10 kHz 高域限界の半分である。a 波の立ち上がりが遅れ始め、a、b 波の間隔も伸び始めている。



(f) 20 kHz a 波だけでなく、b 波の立ち上がりも寝てしまい、間隔が伸びている。と同時に振幅も減少している。



(g) 40 kHz 高域限界の2倍である。ご覧のとおりである。

れであって進みではありません。また、振幅的にはフラットな帯域でも、位相は連続的に変化していることがわかります。確かに 3 dB 点、1 kHz と 20 kHz ではそれぞれ 90° 遅れ、 90° 進みになっていますが、プラスとマイナスを逆に接続したところで、遅れた信号が進むことなどありません。

第6図に第5図のフィルタでの単発サイン波シミュレーションを示します。いずれも□が入力、■が出力となっています。

<第6図> バンド・パス・フィルタの単発サイン波応答 (シミュレーション)
□: 入力, ■: 出力

(a)図は f_0 の1/2の500 Hzです。単発サイン波は微分されたようになり、見事にひしゃげています。(b)図は $f_0 = 1$ kHzでの応答です。a, b波の周期の短縮があり、a波よりも高いc波があります。なお、c波のピークは入力b波の終わりに対応します。(c)図は f_0 の2倍です。単発サイン波らしくなってきました。が、b波はa波よりも高く、c波のピークもa波を上回っています。 f_0 の4倍が(d)図です。さすがに4倍ともなると、良好な応答です。けれども、この辺りから上で使用したいなどと欲張っては、使えるスピーカがなくなってしまいます。

第6図(e)は、高域限界周波数 f_1 の1/2です。a波の立ち上がりがなまり始め、位相が遅れ始めていることがわかります。まあ、この程度なら許しましょう。(f)図は $f_1 = 20$ kHzでの応答です。さすがにa波は立ち上がりせず、a, b波の周期も伸びています。連続波であれば-3 dBとなるだけですが、過渡的には限界を越えている応答です。最後に(g)図、 f_1 の2倍の40 kHzです。ご覧のとおりです。

第6図の単発サイン波の変化は、スピーカ・ユニットにその原因があるのではなく、バンド・パス・フィルタ様の周波数特性から必然的に決まるものです。なぜなら、単発サイン波は周波数スペクトラムの広がりを持っているからです(第7図)。簡単に1 kHzの単発サイン波などと呼んでいますが、厳密には中心周波数1 kHzと呼ぶべきでしょう。中心周波数より上では-12 dB/octの割合で、下は-6 dB/octの割合で減衰します。ですから、1 kHzの単発サイン波であっても満足に再生するためには、-20 dBまでの範囲として、50 Hz~2.7 kHz、-10 dBとしても170~1.7 kHzの帯域を必要とします。なお、第7図の横軸は対数スケールですから、中心周波数が変わればスペクトルは左右に移動します。

高域再生の目標を20 kHzまでと

しますと、スペクトルから考えて10 kHzの単発サイン波まで再生できればOKでしょう。

なお、「スピーカのf特は20 kHzでは不足で、もっと高い周波数まで再生できなければならない」との説もあります。しかし、おそらくこの説は、連続波でのf特はあっても過渡的には立ち上がらないスピーカを抛り所として考えられたと考えられます。20 kHz以上が音質に関係するか否かは別として(私は関係すると思っている)、CDにはそんな信号は入っていませんし、MCカートリッジ(そして多くのMMも)では20 kHzのすぐ上に高域共振がありますから再生できているはずがありませんし、TVやFMはいうまでもありませんし、カセットもご存知のとおりですから、スピーカが20 kHz以上の再生能力を持っていたとしても、そこから再生される超音波は、入力にはない“ひずみ”でしかありません。

低域は難しいところですが、ピアノやコントラバスの最低音域から考えれば、40 Hzまで再生できれば理想的でしょう。しかし40 Hzの単発サイン波を再生するためには、-10 dBで考えたとしても6.8 Hzまでのレスポンスを必要とします。けれども、いささかこれは現実的ではありません。さらに、過渡的には弦の共振周波数ではなく、

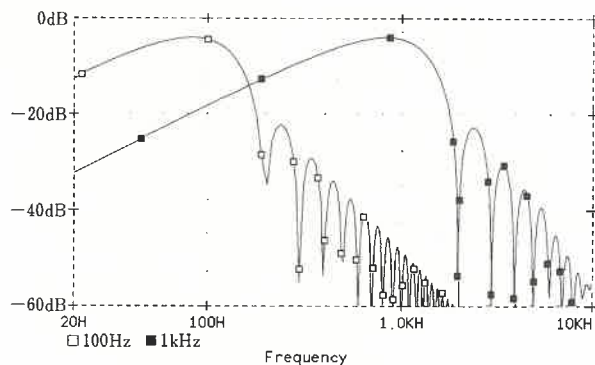
弦をはじいた瞬間の波形で考えなければなりませんから、6.8 Hzの数字に意味があるのかどうかを検討しなければなりません。

それでは、各ユニットの応答です。第6図を念頭においてご覧ください。いずれもカップリング・キャパシタなしで、パワー・アンプに直結して測定しています。カットオフを設ければ、その影響が現れます。なお、応答はユニットの軸上50 cmで測定しました。ただし、レベルはトゥイータに合わせて変えています。

まずはFT 38 Dです。単発サイン波応答を第8図に示します。

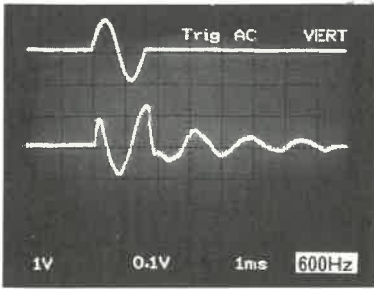
第8図(a)は $f_0 = 600$ Hzです。当然のごとく、第6図(b)と良く似た形を示しています。(b)図の1 kHzは良好です。応答からは1 kHzクロスオーバーでも十分に使いそうです。(c)図の2 kHzは f_0 の3倍以上ですが、その割にはc波が高いようです。(d)図の3 kHzでは、c波の頂に小さなピークが観測され、(e)図の4 kHz、(f)図の5 kHz以上と、独立したc波に成長しています。よく似た波形応答が、次に示すFT 55 Dにも観測されますので、振動波よりもダンパーなどのサスペンション系の応答が波形に現れていると考えられます。

ところが、(f)図の5 kHzあたり

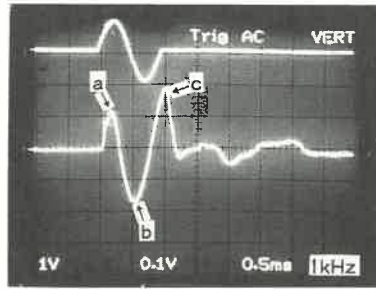


〈第7図〉 100 Hzと1 kHzの単発サイン波の周波数スペクトラム

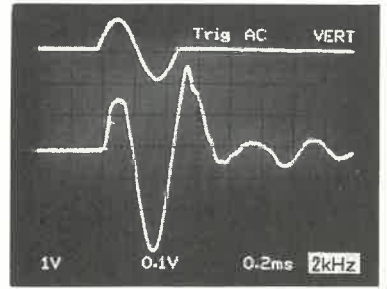
中心周波数よりわずかに低いところにスペクトルのピークがあり、高域は約-12 dB/octで、低域は約-6 dB/octで減衰する。対数軸上に表示しているため、単発サイン波の周波数が変われば、スペクトルはそのままの形で左右に移動する。



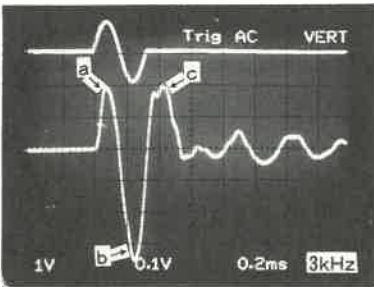
(a) 600 Hz f_0 である。それらしい応答である。



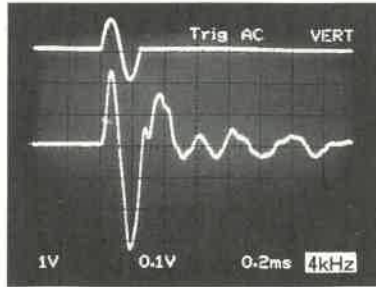
(b) 1 kHz 応答からは 1 kHz クロスオーバーでも使えそうだ。



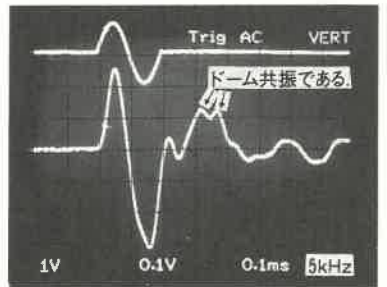
(c) 2 kHz 良好である。



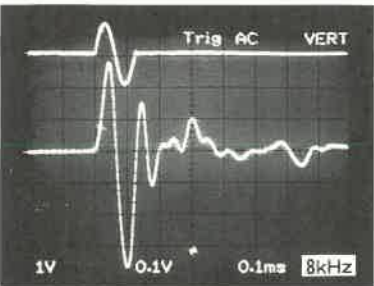
(d) 3 kHz c波のピークになにかあるようだが、良好である。



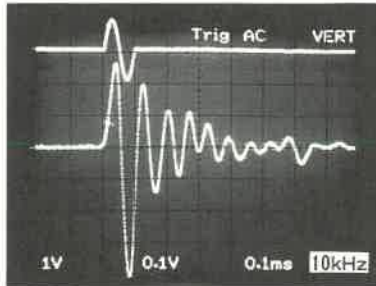
(e) 4 kHz c波が2つに分かれ始めた。



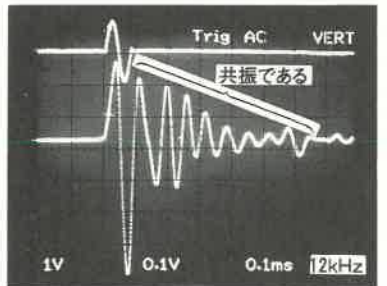
(f) 5 kHz 振動板の共振が見え始めた。周波数を上げて共共振は同じところに現れる。



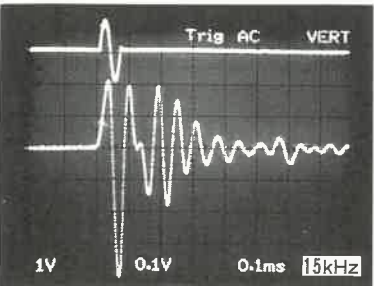
(g) 8 kHz 写真ではわかりにくいですが、ここでも共振波が観測される。



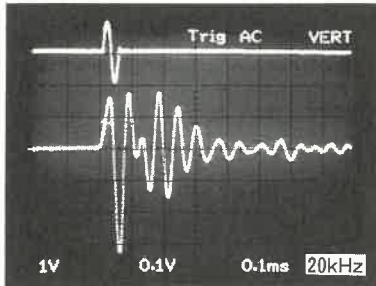
(h) 10 kHz 派手である。もちろんドームの共振である。



(i) 12 kHz 振幅は最大となる。応答から共振周波数は 12.5 kHz と読みとれる。



(j) 15 kHz 12 kHz の応答のまま振幅が減り始めた。過渡的な高域限界周波数を越えている。



(k) 20 kHz さらに振幅が小さくなっている。

振幅が小さくなります。しかし、依然として強力な共振波が観測されます。

12.5 kHz と共振周波数が高いためか、それほど強烈な音ではありません。しかし、シロフォンやウッドブロック、ピアノなど、高域系の打楽器で顕著に、同じ響き＝振動板の共振が支配的となります。早い話が、どんな楽器でもチーンと鳴っています。この音が聴こえる限り、私には使えません。

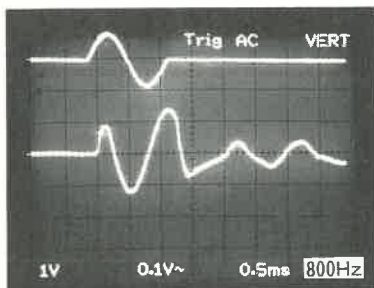
つぎに、第9図に FT 55 D の単発サイン波応答を示します。

第9図(a)は 800 Hz です。 f_0 らしい応答です。FT 38 D の応答とよく似ていますが、200 Hz 高くなっていま

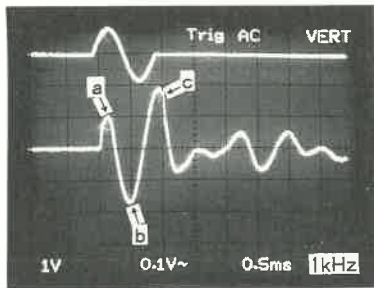
〈第8図〉 FT 38 D の単発サイン波応答

からは、ドームの共振が顔をのぞかせます。8 kHz ((g)図)、10 kHz ((h)図)と共振波は成長し、12 kHz ((i)図)で最大となります。ドーム共振は、

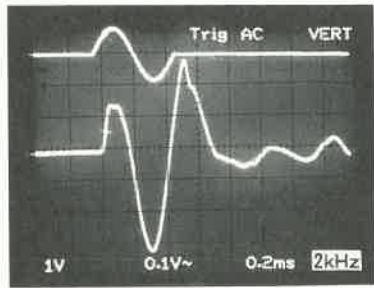
約 12.5 kHz です。そして 15 kHz ((j)図)、20 kHz ((k)図)と a 波の立ち上がりは入力についてゆけなくなり、12 kHz と同じような波形のまま



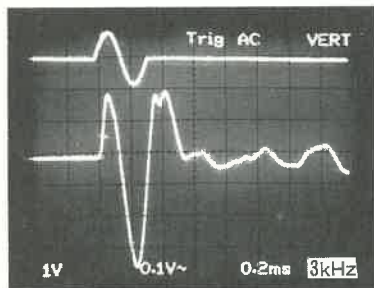
(a) 800 Hz f_0 である。それらしい応答である。



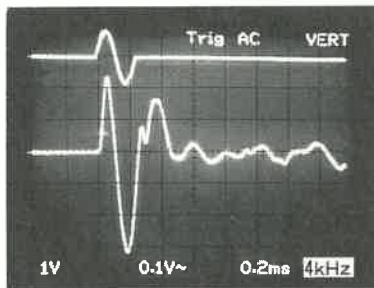
(b) 1 kHz FT 55 Dも 1 kHz から使えそうである。



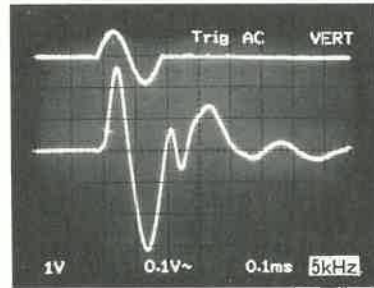
(c) 2 kHz なんと、FT 38 D と酷似している。



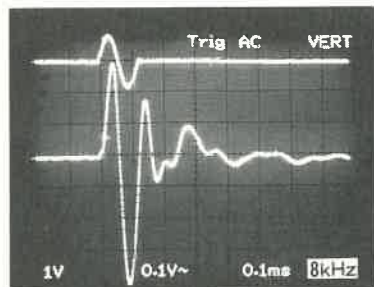
(d) 3 kHz これまた FT 38 D と似ている。c 波のピークまでもよく似ている。



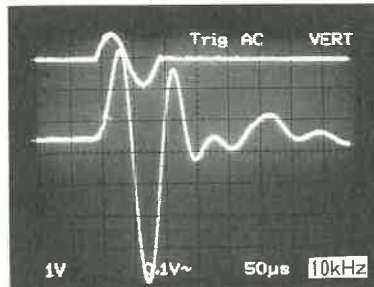
(e) 4 kHz c 波が 2 つに分かれるところも同じである。



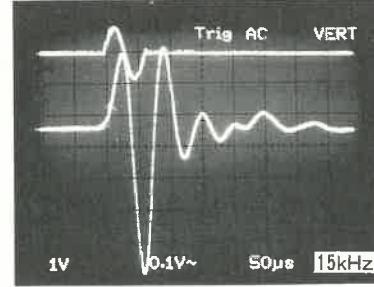
(f) 5 kHz 共振が現れないだけ、FT 55 D がベターではある。が、似ている。



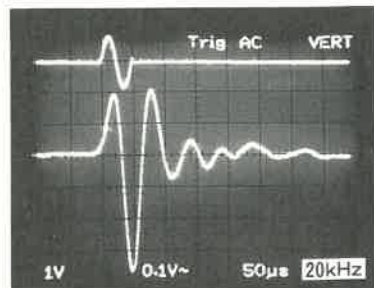
(g) 8 kHz これもまた、似ている。



(h) 10 kHz 時間レンジが変わったせいではなく、共振がないので FT 38 D と似ていないのである。



(i) 15 kHz a, b 波の間隔が伸びている。過渡的な高域再生限界を越えている。が、FT 38 D より限界が低いわけではなさそうである。振動板はソフトであるが。



(j) 20 kHz 15 kHz と同じ波形のまま、振幅が減少している。

〈第 9 図〉 FT 55 D の単発サイン波応答

す。 f_0 の違いはどこに原因があるのでしょうか。振動板が軽いためでしょうか。興味あるところです。(b)図の 1 kHz は問題ありません。1 kHz クロスオー

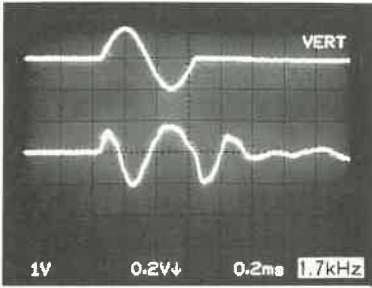
バでもぎりぎり使えそうです。

ところで 2 kHz ((c) 図) から 8 kHz ((g) 図) ですが、写真が入れ違ってもわからないくらい FT 38 D の応答とよく似ている、というよりもほとんどそっくりです。分解してみるとマグネットと磁気回路、ヴォイス・コイルとホビンは同じ、エッジも似ています。が、振動板は別物です。つまり、この帯域の応答には振動系、それもエッジ部の機械制動そのものが現れていると考えられます。

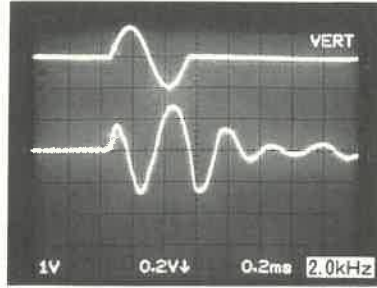
さて、10 kHz ((h) 図) から 15 kHz ((i) 図) です。ここらは FT 38 D とは比較にならないほど良好です。なん

となく共振らしい波も見えますが、はっきりとわかるレベルではありません。しかし、15 kHz では a, b 波の間隔も伸びています。ソフト・ドームですが、ハード (FT 38 D) に比べて高域再生限界が下がっているわけではないようです。さすがに 20 kHz ((j) 図) では a 波の立ち上がりが寝てしまっていますが、仕方ないでしょう。単発サイン波応答からは、たいへんに良好なトウイータです。

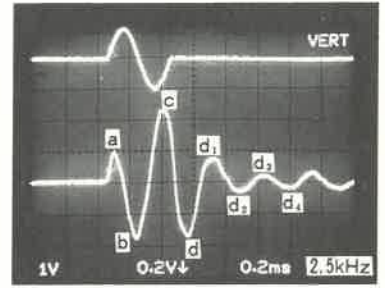
聴感上も FT 55 D は、FT 38 D に比べずっと素直な音です。FT 55 D と比較しますと FT 38 D は、打楽器だけでなく、ヴォーカルや弦楽器に至る



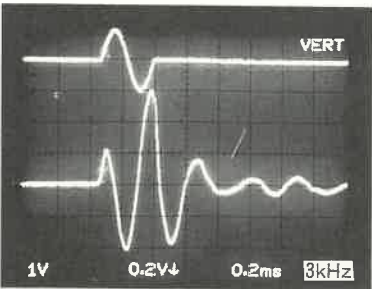
(a) 1.7 kHz f_0 である。ひしゃげている。



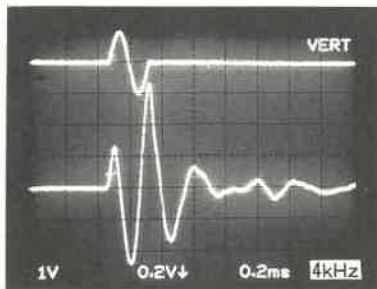
(b) 2.0 kHz a, b波の間隔は縮み、a波も微分されたような波形である。



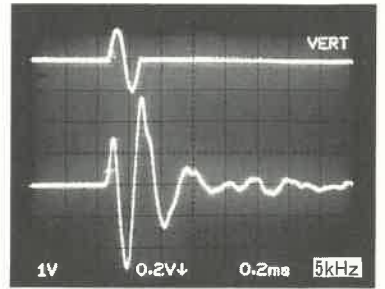
(c) 2.5 kHz c波のピークが入力のb波の終わりに対応している点では、そろそろ使える帯域であろう。



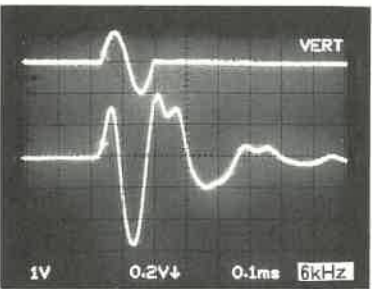
(d) 3 kHz 特徴的なc, d波が現れ、c波のピークは高くなっている。



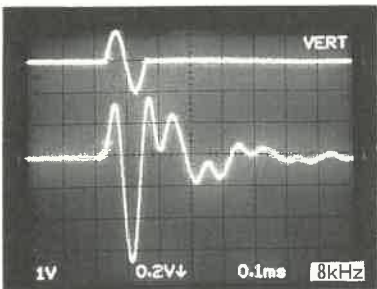
(e) 4 kHz ここでもc波のピークは高い。



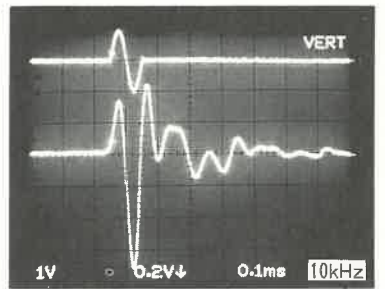
(f) 5 kHz c波が広がり始める。



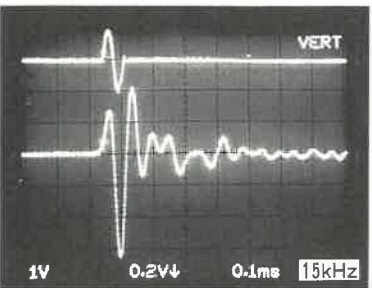
(g) 6 kHz c波のピークが2つに分かれた。



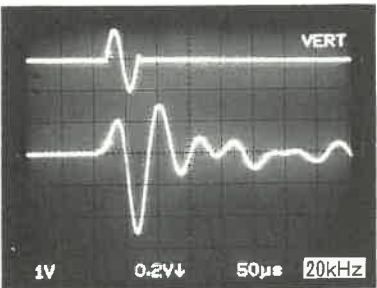
(h) 8 kHz 共振性の波形が現れるが、聴感上はわからない。



(i) 10 kHz 弱い共振が見られるが、うまくつぶされているようだ。



(j) 15 kHz a波の立ち上がりは純り、a, b波の間隔は広がっている。過渡の高域再生限界を越えている。



(k) 20 kHz さらに振幅は減少した。

〈第10図〉 TW 25の単発サイン波応答

まで共振音をつけ加えていたことが聴き取れます。FT 38 Dは安心して聴いていられます。やや、明るく華やかな傾向の音ですが、高域の伸びにおいて

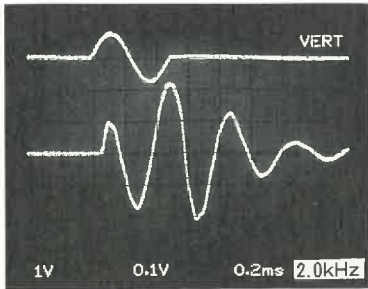
は次の TW 25をも上回ります。

それでは TW 25の応答を第10図に示します。

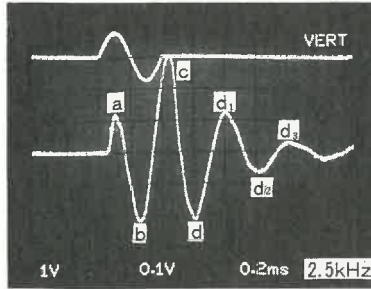
第10図(a)は1.7 kHz, f_0 で

す。見事に微分されたような波形です。フォステクスに比べるとd波が大きいようです。(b)図は2 kHzですが、依然c波はa波より高く、d波もb波と同じくらいの振幅があります。波形の周期からみると2 kHzクロスは難しそうです。2.5 kHz((c)図)では、c波のピークのタイミングが入力のb波の終わりと同時となっています。ここからは、使用できる帯域でしょう。

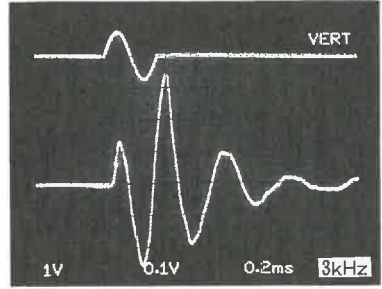
周波数を高くすると2.5 kHz~5 kHz((f)図)と独特のc波を示します。c波のピークからは制動不足のような気もしますが、他の機種ならともかく、最もマグネットの強い機種です。



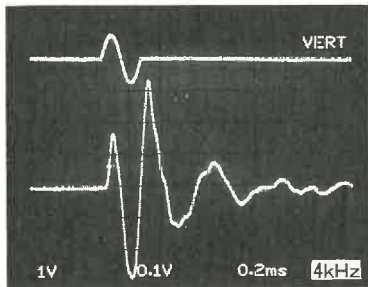
(a) 2.0 kHz f_0 である。



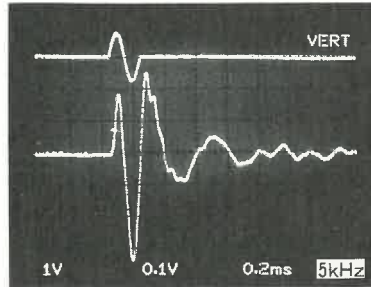
(b) 2.5 kHz まだ、いくぶんc波のピークが入力b波の終わりよりも早いようだ。



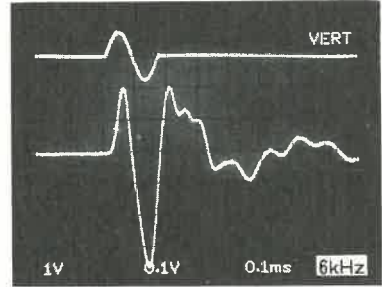
(c) 3 kHz TW 25 に比べ、d 波の収束が遅いようである。



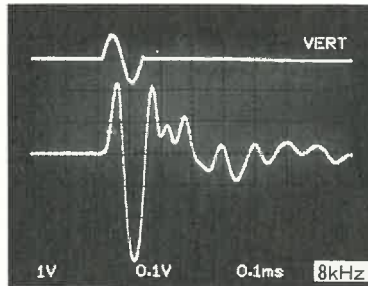
(d) 4 kHz TW 25 と似た応答である。



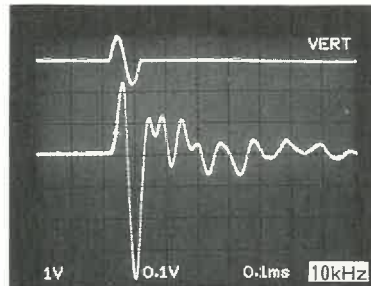
(e) 5 kHz これも似ている。



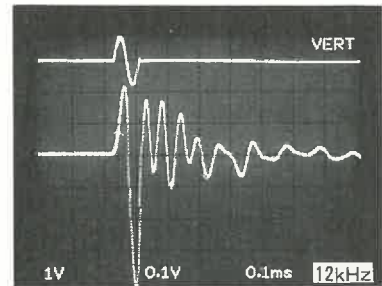
(f) 6 kHz c 波が分かれるところも似ている。



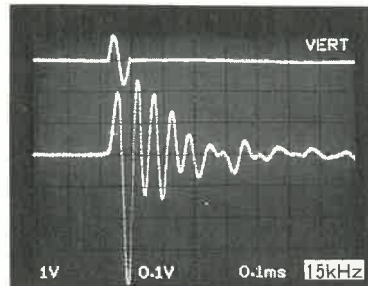
(g) 8 kHz TW 25 よりも大きな共振が現れる。



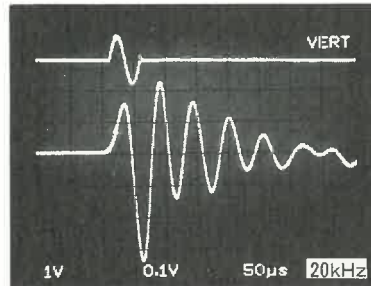
(h) 10 kHz 共振は 8 kHz とほとんど同じである。



(i) 12 kHz 急に、新たな共振が現れる。



(j) 15 kHz 振幅はピークに達した。共振周波数は 17.5 kHz と高いためか、この共振は聴こえない。



(k) 20 kHz a 波はゆるやかになっている。

〈第 11 図〉 TW 501 の単発サイン波応答

d_1 波以降の振動は周期からみて 2.5 kHz 近辺です。 f_0 ではありません。

6 kHz ((g) 図) では、c 波のピークは低くなりますが、2 つに分かれ始め

ます。d 波は問題ないくらいに低くなっています。8 kHz ((h) 図) では c 波が 2 つになってしまいました。また、弱い共振性の波が見られますが、概ね

問題なさそうです。10 kHz ((i) 図) も同様、うまく共振を作らないような振動板となっているようです。15 kHz ((j) 図) では、a、b 波の間隔は広がり、振幅が減少し始めます。a 波の立ち上がりからも、過渡的な高域限界を越えているようです。20 kHz ((k) 図) は、完全になまっています。

TW 25 は、さすがにダイアトーンの最高級トゥイータです。単発サイン波も、なかなかの応答です。音的には、値段による暗示効果が効いていることを差し引いても、ベストです。単発サイン波応答的には苦しいかとも思いましたが、2 kHz クロスでも十分いけ

そうです。ツイータを交換するだけで、全帯域にわたって落ち着いた、うるさくにぎやかなところのない、なまなましい音になります。とくにヴォーカルや弦のしっとりとしたなまめかしさ、粒立ちが良くそれでいて抑えが効いたパーカッションなどは、このツイータの素晴らしい持ち味です。

最後に TW 501 の単発サイン波応答です(第 11 図)。

第 11 図(a)は 2 kHz、再生周波数帯域の下の端です。が、インピーダンスのグラフからは f_0 以下です。一見したところ、TW 25 の応答と似ていますが、入力に比べ出力の波の間隔が狭まっていますから、2 kHz のクロスオーバーは難しいでしょう。2.5 kHz でも、若干 c 波のピークは入力 of b 波よりも前にあるようです。が、まだ f_0 以下です。

f_0 は 3 kHz、(c) 図です。a、b 波よりも大きな c、d 波を生じています。まあ、たいいていのウーファの f_0 付近も、同じような波形です。が、TW 25 よりは d 波の収束が遅いようです。

(d) 図の 4 kHz から (g) 図の 8 kHz まで、ずっと c 波は a 波よりも高くなっています。それよりも驚くべきことに、TW 25 とよく似た応答です。値段は 4 倍も違いますが、ほとんど同じ波形です。ダイアトーンは分解できないので確認できませんが、聞くところによるとマグネットも磁気回路も異なるそうです。振動板も同じではありません。もしもダンパーが同じであるなら、この応答波形を決めている主因は制動系であると断定できるのですが、物的証拠はありません。しかし、すべてが異なるのに偶然に、これだけ応答が似ているとは考えられません。

今のところ仮説ではありますが、フォステクスの例もありますし、ピストン・モーション帯域では、ダンパーやエッジなどの粘性抵抗、弾性などの非線形成分が、波形応答の鍵を握っていると考えます。そして、ピストン・モ

ーション帯域を外れると、振動板の分割振動によって素材の音が顔を見せると考えます。振動板が勝手な動きを始めるわけですから、当然、素材そのものの音が聴こえます。が、高域での音色が変化すればその下の帯域も変わって聴こえるのは、ツイータを交換しただけで低域までよくなったりすることもありますから、考えられないことではありません。おそらく、いくら素材を変えたところで、分割振動帯域以下では効果がないでしょう。が、印象としては中低域にも効果があるように聴こえるのでしょう。

さて、TW 501 に戻ります。8 kHz ((g) 図) 辺りから弱い共振が顔を出します。10 kHz ((h) 図) で、やっと c 波は a 波よりも低くなりました。が、c 波は 2 つに分かれようとしています。また、8 kHz と 10 kHz の応答からは、共振周波数 10 kHz と読み取れます。が、コーンの高域共振にしては振幅が小さいようです。あるいはダンパーとかエッジでしょうか。TW 25 もこの辺りで弱い共振性の振動が見られます。

(i) 図(12 kHz) では、急に振動板の高域共振が大きく現れます。この共振は 15 kHz ((j) 図)、20 kHz ((k) 図) で最大となります。

ところが意外なことに、この共振は聴こえません。振幅レベルからは FT 38 D のドーム共振と同程度ですが、わかりません。共振周波数が 17.5 kHz と高く、共振波そのものも 10 kHz を越えたあたりからしか現れないことが聴こえない理由と考えますが、私には聴こえないだけかもしれません。

ですが、ここまでくればカートリッジの高域共振と同じです。ご存知のとおり、カートリッジの高域共振が 20 kHz を越えるようになったのはつい最近の話です。けれども、それ以前にも、カートリッジの高域共振が聴こえるという話はほとんど聞かれません。しかし、悲しいことに、レコー

ドそのものが過去の話となりつつある現在では、遠い昔のお話になってしまったようです。

TW 501 での不満は、この振動板の共振ではありません。クロスオーバー周波数です。さすがに 2 kHz は若しく、最終的に 4 kHz でテストしましたが、4 kHz ではウーファのボンボコ音が聴こえてしまいます。とくに他のユニットを 2 kHz のクロスオーバーで使用して比較しましたから、よけいに目立ちます。もう少し中域特性(音)の良いウーファと組み合わせたいユニットです。素性の良い、すっきりとした音を聴かせてくれるだけに残念です。

以上 4 機種のツイータを、4 カ月以上、入れ替え差し替え、クロスオーバーをいじりレベルをいじり、位置を合わせたり合わせなかったり、フェルトを張ったりおもりを接着したり、来た人を聴き比べてもらったり、ASC にしたり、どれとはいいいませんが値段の高いやつですが、接続してから 4 日目におかしくなったユニットをコイズミ無線で交換してもらったり、して聴きました。そして、FT 55 D と TW 25 の 2 本立てを進めることにしました。

原則 2. -6 dB/oct ネットワーク

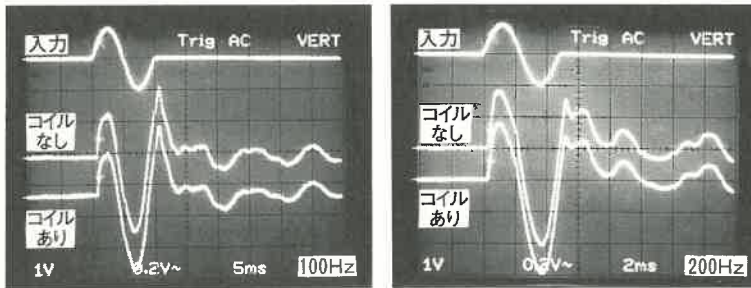
ネットワークは -6 dB/oct です。遮断周波数 f_c [Hz]、スピーカの公称インピーダンス R [Ω] とすれば、 L, C の値は、

$$L[H] = R / (2\pi f_c) \\ C[F] = 1 / (2\pi f_c \cdot R)$$

と計算されます。ウーファの FW 160 改は 4 Ω ですから、2 kHz クロスオーバーでは、

$$4 / (6.28 \times 2,000) \\ = 0.318 [\text{mH}]$$

です。どうせスピーカのインピーダンスは周波数が高くなるにつれて上昇しますし、4 Ω といっても有効数字 1 桁ですから、コイルの値を何桁も計算しても意味がありません。とりあえずフ



(a) 100 Hz c波が違うような気がするが、気のせいであろう。

(b) 200 Hz 違うようには見えない、コイルを入れるとスピーカの制動が悪くなるというのは迷信だろう。

〈第12図〉 0.3mH コイルありなしでのFW 160改の応答
上：入力 中：コイルなし 下：コイルあり

オステクスの0.3mHを買ってきました。

トウイタのキャパシタは、8ΩのFT 55 Dであれば、

$$1/(6.28 \times 8 \times 2,000) = 9.95[\mu\text{F}]$$

13ΩのTW 25であれば、

$$1/(6.28 \times 13 \times 2,000) = 6.12[\mu\text{F}]$$

と計算されます。こちらも3桁の数字を求めても、実測しなればどうなっているかわかりません。結局、ASCの10μFと5μFとしました。

実は当初、10μFは日立コンデンサ

のウルトラ・フォーカス(ケミコンです)を使っていたのですが、見た人すべてからハンディキャップをつけるのはよくないとの指摘を受け、ASCを買いに行くハメになりました。ちなみに、どちらが有利かは意見が分かれています。

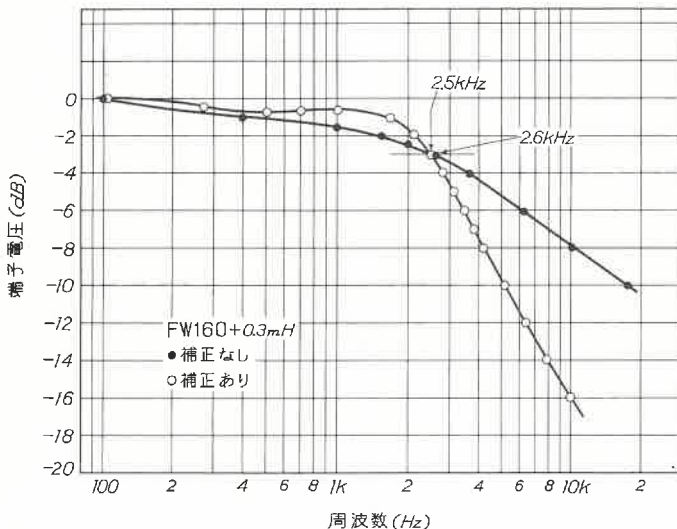
第12図に、コイルありなしでのFW 160改の応答を示します。100Hzと200Hzですが、200Hzのc波がほんのわずかわかるかなどの気がする程度の違いでしかありません。「コイルを入れると逆起電力によってダンピングが悪化する」との説もありますが、少

なくともコイルはバスレフ箱ほどにはダンピングを悪化させません。空想上の物語でしょう。さらにその空想から連想し、「ウーファとキャパシタがパラに接続される-12dBネットワークは、逆起電力を吸収できる」などという回る人もいますが、まあ、いつて回る当人も、その説を聞いて信じている人も幸せなので、そっとしておいてあげましょう。それがマニアの仁義です。

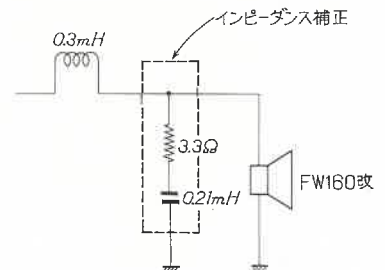
第13図の●にウーファの遮断特性を示します。コイルを入れれば-6dBとなるはずですが、どう見ても-3dB/octです。もちろんこれは、ウーファのインピーダンスが高域に向かって上昇するためです。いくら回路図上で-6dBの形をしていても、周波数によってスピーカのインピーダンスが変化しますから、遮断特性に誤差が生じてしまいます。f特に偏差があれば、それに応じて過渡的な波形もひずみます。

そこで第14図に示すインピーダンス補正回路を試みました。補正後の遮断特性(端子電圧)を第13図の○に示しますが、-6dBらしくなってきました。

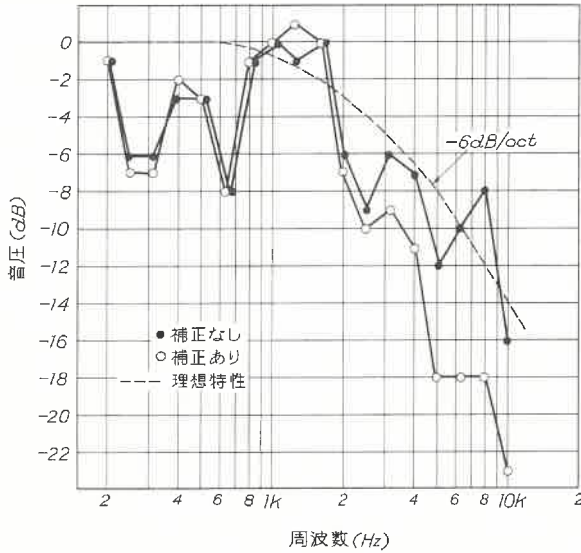
ところがところが、インピーダンス補正によって、音は悪くなりました。使用したフィルム・コンのせいかもしれない、またまたASCを買いに行きまして、やはり良くありません。一聴してにごるといふか、ピアノのタッチがあやふやになるのがわかります。



〈第13図〉 FW 160改の端子電圧周波数特性
インピーダンス補正なしでは、-6dB/octとなっていないが…

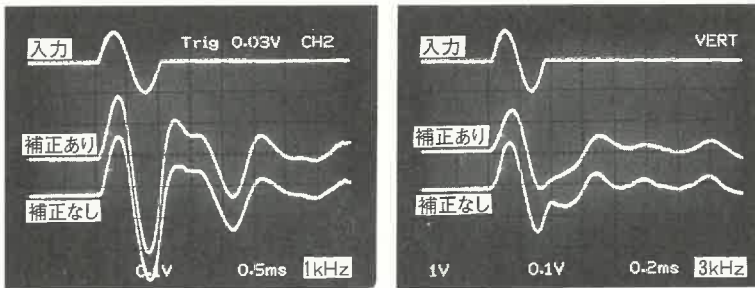


〈第14図〉 インピーダンス補正回路
ただしこのCRを取り付けると音は悪くなる。



テクニクス SH-8000 のワーブル・トーンで測定した、インピーダンス補正したところで出力音圧特性は、 -6 dB スロープにはなっていない。端子電圧を補正したところで、意味がないのであろう。

〈第 15 図〉 FW 160 改の出力音圧特性



(a) 1 kHz c 波がわずかに異なるが、ほとんど同じである。

(b) 3 kHz 変化がみられるが、f 特も変わるのだから当然である。しかし、どちらが良いかとなるとわからない。

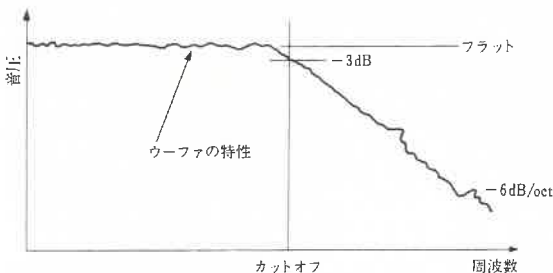
〈第 16 図〉 インピーダンス補正ありなしでの FW 160 改の応答変化

上：入力 中：補正あり 下：補正なし

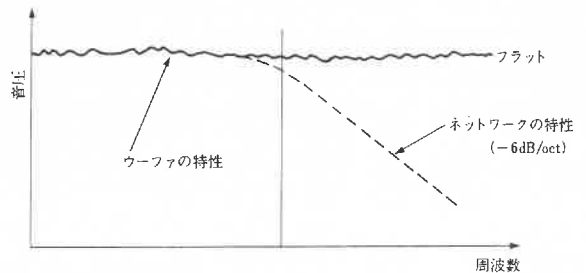
なぜ、インピーダンス補正回路によって音が悪くなるのか、その理由はわかりませんが、音がよくなることはこじつけられそうです。端子電圧からは補正回路が必要と思われるが、出力音圧からは補正したところで意味がないからです。

テクニクス SH-8000 のワーブル・トーンで測定した FW 160 改の出力音圧特性を第 15 図に示します。補正回路があってもなくても -6 dB には見えません。スピーカらしくギザギザです。単発サイン波応答(第 16 図)も、入力電圧特性が変化するほどには変化するはずですが、それほど変わったようにも見えません。どっちにしたところで -6 dB/oct にはなっていないのですから、補正した場合としない場合のどちらがよいとかは判断できません。なお、ここで単発サイン波の P-P をグラフにしていないのは、クロスオーバーのすぐ上で過渡的な立ち上がり限界を越えるからです。

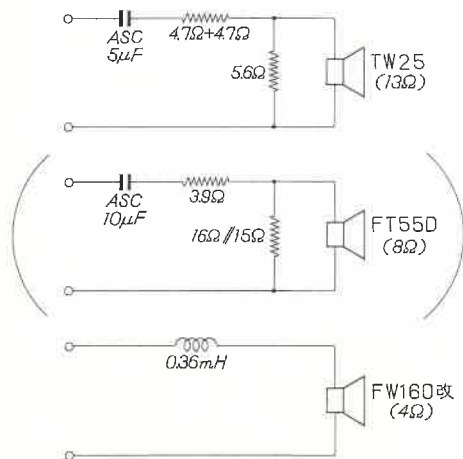
所詮、クロスオーバー周波数を越えれば、遅かれ早かれウーファの音圧は低下します。極端な話、第 17 図(a)のようにネットワークなしでも -6 dB/oct で音圧が低下するウーファがあれば、ハイカットは不要です。もっと極端な話、可聴帯域外までフラットなウーファを使うのであれば補正も有効かもしれません(第 17 図(b))。しかし、このようなスピーカがあれば、誰が帯



〈第 17 図(a)〉 もしもウーファの音圧特性が -6 dB/oct で降下していれば、ネットワークは必要ない。



〈第 17 図(b)〉 ウーファが高域までフラットならば、ネットワークの特性はそのまま音圧特性に反映されるだろう。



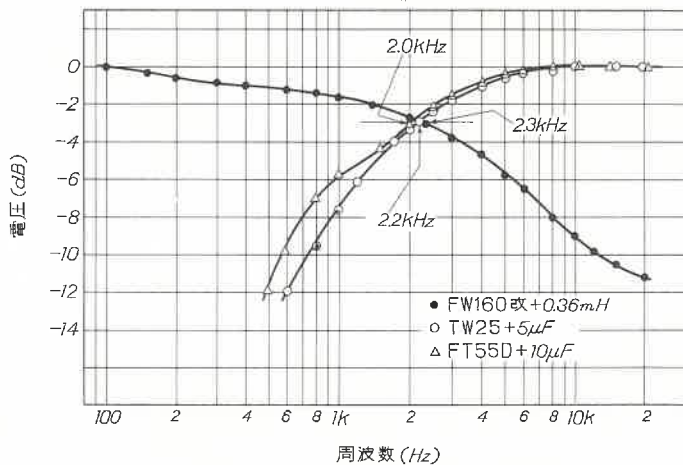
〈第18図〉 ネットワーク回路

アッテネータ抵抗は、手持ちから選んだため半端な値となっている。

域分割などです。

「チャンネル・ディバイダを用いればネットワークよりも正確な遮断特性が得られる」との意見も耳にしますが、スピーカに入る電圧特性で正確であっても、スピーカから出る音圧特性がどうなるかは別です。

さて、カットオフ周波数は2.5kHzと高めでしたから、コイルはタンゴの0.36mHに変更しました。無論、コイルによって音が変わることは二百も承知です。スピーカ・ケーブルであれだけ音が変わるのに、それよりも数倍(数十倍?)長い銅線によって音が変わら



〈第19図〉 ネットワークの遮断特性

ないことなどあり得ません。が、まずはインダクタンスを決めてからです。

ツイータの減衰量は、単発サイン波応答を見ながら調整しました。いわゆるレベル可変式のアッテネータよりは、調整は面倒になりますが、抵抗を半田づけした組み合わせがベターです。抵抗は、手元にあったシンコーのタンタル2Wの2~20Ωを適当に組み合わせて使っています。なお、トランス式のアッテネータは未だ使ったことがありません。試したいとは思いますが、経験的にはコイルは抵抗よりも音に色づけします。

最終的なネットワーク回路を第18図、遮断特性を第19図に示します。なお、改造によってFW160の能率は3dB程度下がっています。追試される方はご注意ください。(つづく)

参考文献

- 1) 別府俊幸, 単発サイン波が語る現代スピーカシステムの問題点, ラジオ技術1991(4), pp. 67-87
- 2) フォステクス FT 38 D 取説
- 3) フォステクス FT 55 D 取説
- 4) R. H. Small, Direct-radiator loudspeaker system analysis, IEEE trans. Audio and Electroacoustics, vol. AU-19, pp. 269-281(1971)
- 5) 山本武夫, スピーカ・システム, ラジオ技術社(上巻 5.5 節)



・実験中の FT 38.D と TW 501