

# 単発サイン波による ホーン・スピーカの測定

別府 俊幸

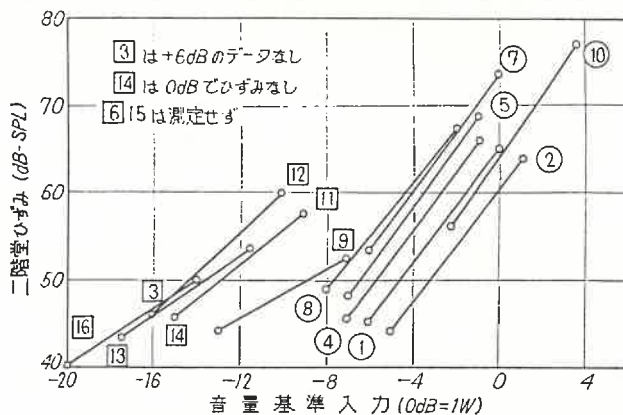
ホーン神話はここに潰え去るか……

ホーン・スピーカは、一般的には最高のスピーカとされ、多くのマニアに支持されているようです。ホーンの利点としては、能率の高いことがまず第一にあげられますが、音質的にも過渡特性に優れ、立ち上がり早く、制動がかかり、そしてダイナミック・レンジが広い、とよいことずめのようにいわれています。

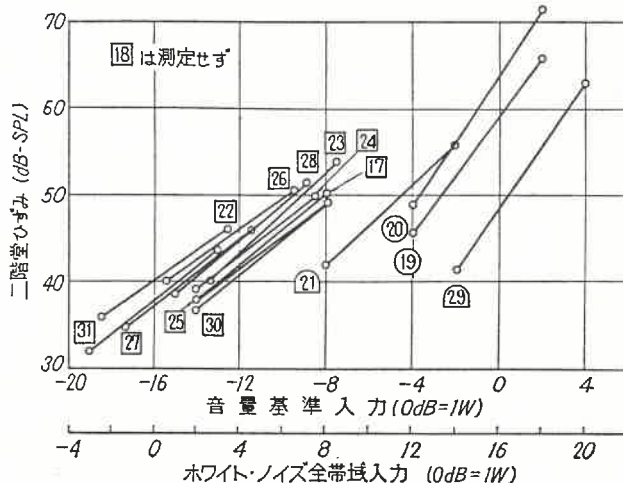
ところが、このレポートを書くために調べたのですが、これらホーン型の優秀性をサポートするデータは、ほとんど見つかりません。わずかに出力音圧レベルを上昇させたときのひずみの増加割合が少ない(第1図)とのデータが、20年前のラ技誌増刊号<sup>1)</sup>にありました。が、その同じ号に、調波ひずみはホーン型よりもコーン型の方が少ないと記されています(第2図)。したがって、これは必ずしもホーン型を支持するデータではありません。また、過渡特性に関しても、何ら優れたデータは得られていませんでした。(もし、この種のデータをご存じの方がいらっしゃいましたらお知らせください)。

さて、スピーカから過渡的な音波をも忠実に再生することを考えますと、ホーン型は致命的な弱点、周波数によって音源位置が前後してしまう、を持っています(第3図)<sup>2)</sup>。これでは音質的に優れているとしても(私はそうは思わない)、リアフェイズ・スピーカと

500~5kHzグループでの二階堂ひずみの傾向  
ホーン形とコーン形の違いがはっきりわかる。



1k~5kHzグループでの二階堂ひずみの傾向。

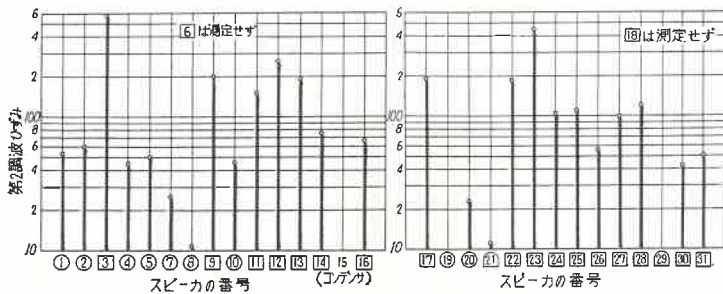


〈第1図〉 500~5kHz, 1k~5kHzグループでの二階堂ひずみの傾向 (○はコーン型, □はホーン型(ラ技別冊<sup>3)</sup>より)

しては問題ありそうです。

今回のデータは、ホーン・スピーカの単発サイン波応答はどうなっているのかと、興味半分で試してみたもので

す。なお、私はホーン型は優れていないとの偏見を持ってデータを眺めていますので、反対意見の方はデータを偏見を持って調べてください。新たな知



〈第2図〉 各レベルごとに重み付けした第2調波ひずみの量  
 (○はコーン型, □はホーン型(ラ技別冊<sup>1)</sup>より)

見が得られるかも知れません。

### 測定方法

測定に使用したスピーカは、JBLのドライバーとホーン、パイオニアのドライバーとフォステクスのホーン、フォステクスのホーン・トゥイータの3機種です。いずれも高橋和正氏のリスニング・ルームに昼寝(冬眠?) (永眠???) していたもので、特別に選んだ品ではありません。測定方法はいつものとおりです(第4図)。ただし、スピーカからの距離は50cmとし、いずれも軸上特性としています。ホーン型は、指向性の面で不利な形状ですから、もっとも有利な向きでの計測としています。

### JBL 2445 J+JBL 2380 ホーン測定結果

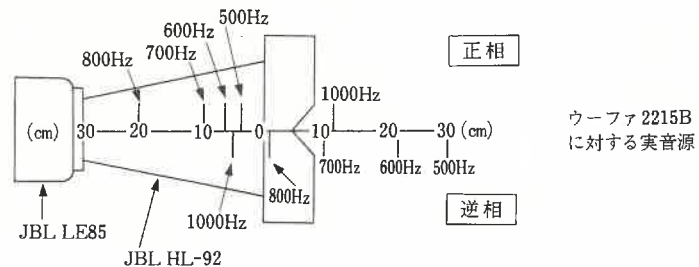
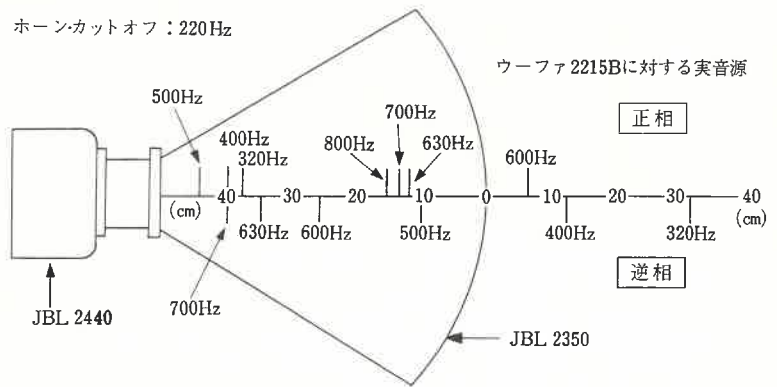
それでは測定結果です。まずはJBL, 2445 J+2380 ホーンです。第5図に単発サイン応答を示します。

(a)は300 Hz, カットオフ周波数近辺(?)です。さすがに再生波形は微分されています。おそらく、推奨カットオフ周波数以下でしょうから、気にしないことにします。が、考えようによっては600 Hz<sub>-18 dB/oct</sub>のネットワークでは-18 dBで出力されている周波数です。無理してカットオフの近くまで使用すると、このような波形になります。もっともこれは、ドームやコーンでも同じです。

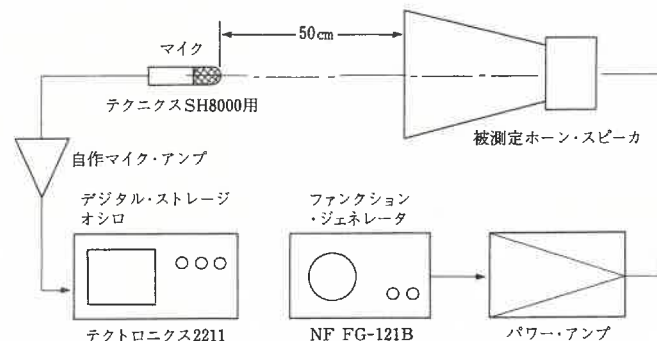
(b)図は500 Hzです。ここでも微分波形になっています。それは仕方ないとしても、d波からの復帰が300

Hz時とまったく同じ形となっているのが気に入りません。おそらくは、ホーン鳴きによって特徴的なパターンを形作っているのでしょう。

ホーンカットオフ: 220 Hz



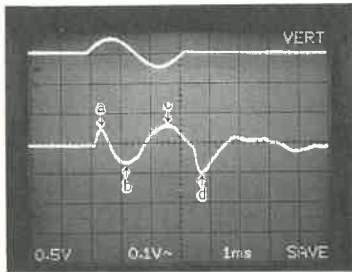
〈第3図〉 ホーン・スピーカの音源位置(マルチアンプ・システム<sup>2)</sup>より)



〈第4図〉 単発サイン応答測定ブロック・ダイアグラム

(c)図は700 Hz. ホーンの大きさから見て、推奨使用帯域に入っていることは間違いありません。しかし、入力に対し出力の波形周期は短くなっていますから、周波数特性的にはまだ左下がりの領域にあると考えられます(第6図)。c波がa, b波よりもかなり高いのが気に入りませんが、まあまあといったところでしょう。ほとんどのスピーカは、c波が高くなるものだから。

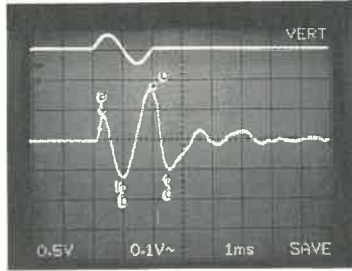
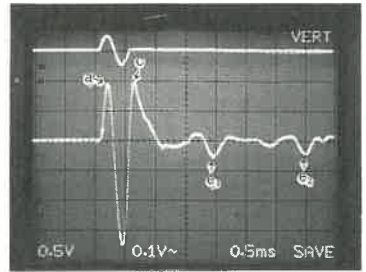
(d)は1 kHz, (e)は2 kHzです。入力波形(上)と比べ、周期の短縮がなくなっています。しかし矢印で示すように1.5 ms周期でリバースひずみ



◀ (a) 300 Hz  
波形は微分されている。カットオフ周波数  
近辺であろうか。

(e) 2 kHz ▶

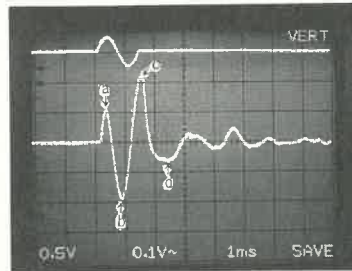
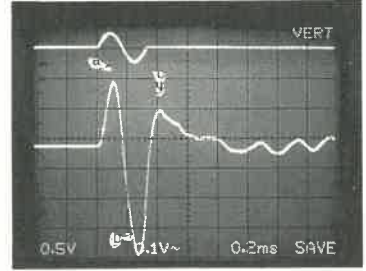
a, b, c 波までは問題ないが、1.5 ms 周期  
で特徴的なリバースビーム (e1, e2 波) が  
見られる。ホーンそのものの振動と思われ  
るが、反射板の間のフラッタ・エコーかも  
しれない。



◀ (b) 500 Hz  
まだ入力に比べ出力の周期が短くなってい  
る。が、それよりも d 波の形が 300 Hz 時と  
同じであるのが気になる。おそらくホー  
ン鳴きであろう。

(f) 3 kHz ▶

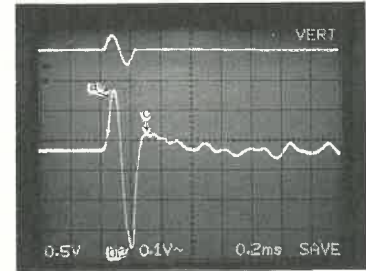
c 波が低くなりつつある。



◀ (c) 700 Hz  
まだ出力の周期が短い。

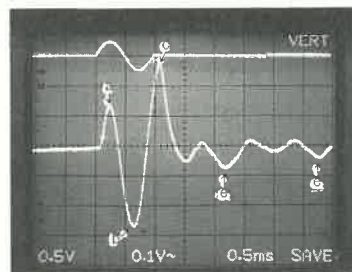
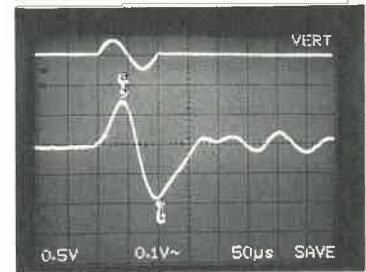
(g) 5 kHz ▶

入力に一番近い理想的 (?) な再生波であ  
る。しかし詳細に観察すると b 波からの立  
ち上がりが鈍っているのがわかる。強力な  
空気制動が効いているのではなく、偶然に  
良好な波形となっただけであろうか。空気  
制動の効果であるとすれば、1 度消えた波  
が後で大きくなることは考えにくい。



(h) 10 kHz ▶

a, b 波ともスローレート制限されたアンプ  
のような波形となっている。しかし 15 kHz  
の波形から、b 波の立ち上がりは振動板の  
動きが制限されているよりも、ホーンの鳴  
きであるらしいことがわかる。このスピー  
カにとっては、10 kHz は再生できない周波  
数である。連続波による特性ではわからな  
いであろうが、単発サイン波応答からはは  
っきりとツイータが必要であることがわ  
かる。

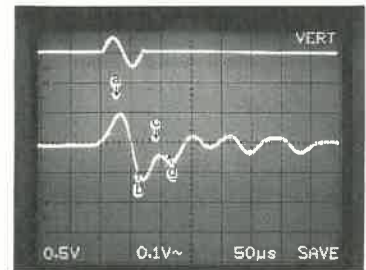


▲ (d) 1 kHz

この辺りからが推奨使用帯域であろうか。  
しかし c 波が a, b 波よりも高い普通の波  
形である。

(i) 15 kHz ▶

a, b 波のレベルが下がっている。入力に比  
べ、出力の周期がのびていることがわかる。



◀第 5 図▶ JBL, 2445J+2380 の単発サイン波応答

が観測されます。このような周期的な  
振動は、ホーン・スピーカに特有のも  
ので、ホーンそのものが振動している  
場合と、ホーンの内部でフラッタ・エ  
コーが生じている場合の 2 つが考え  
られます。が、この場合はどちらか断  
定できません。一般にホーンは、デッ

ドニングが必要といわれていますが、  
これらのリバースビームを押さえる効  
果があるのでしょう。しかしこれが、  
ホーンの形状による反射波だとすると、  
防ぎようがありません。

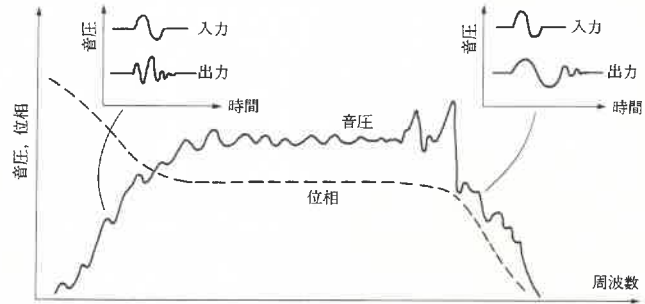
さて、3 kHz, 5 kHz です ((f),  
(g) 図)。a, b 波の後、信号が 0 にな

ると同時に出力も 0 に収まっている  
のですが、この波形をどう解釈するか  
は難しいところです。好意的に考えれ  
ば、ホーンならではの強力な空気制動  
がかかっていると考えるのでしようが、  
それにしては一度消えた波が、その後  
に現れているのを説明できません。振



動板は静止したが、ホーンが鳴いていると無理矢理説明できないこともありませんが、また、たとえ強力な空気制動によるものとしても、特定の帯域だけに効果が観測されるのはどういう訳でしょう。ホーン・ロードがかかる帯域が、1オクターブしかないとも考えられないでしょう。大体、空気によって制動がかかるのであれば、空気を振動させることそのものが難しくなるのではないのでしょうか。この説には、もともと無理がありそうです。むしろこれは、2k, 3k, 5 kHzのc波からの復帰が同じような形をしていますから、偶然に5 kHzでc波のピークが抑えられたと見るべきでしょう。

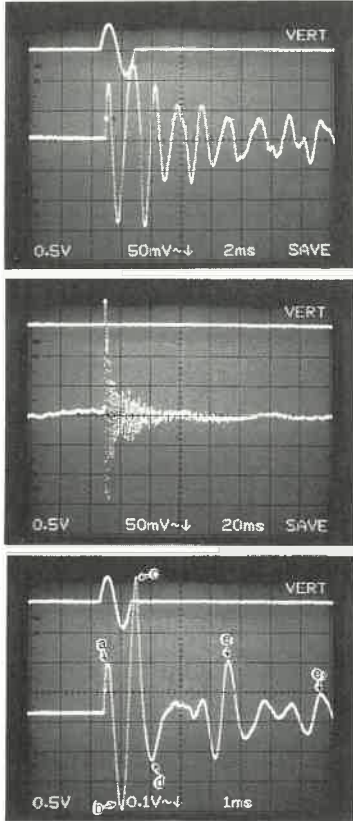
なお、1 kHzから5 kHzまでのa, b波の高さを見るとほとんど変わっていないことがわかります。ホーン型の場合も過渡的な出力レベルは、連続波による音圧特性に比べ、変化が小さいようです。



〈第6図〉 連続波による特性と単発サイン波の関係  
連続波で左下がりとかる領域では位相が進み、微分されたような波形となる。また、右下がりの範囲で位相遅れが生じ、積分されたような波形となる。ネットワークと同様である。

さて、(h)図 10 kHzでは、波形はスルーレート制限されたアンプのような形状となっています。a波の立ち上がり、b波の復帰共に同じようなスロープとなっています。が、振動板が動いていないのではなく、ホーンの鳴きと一緒になったのかもしれませんが、いずれにしてもツイータが必要であることには違いありません。出力波形の

周期が延びている点からは、周波数特性が右下がりとなる領域(第6図)に入っていると思われます。ただし連続波による周波数特性では、振動板の分割振動、共振などがあり、スピーカによっては必ずしもそうなっていないかもしれません。しかし、周波数特性的には十分な音圧が得られるはずなのに、聴感上はツイータを必要とする



◀ (a) 420 Hz  
カットオフ周波数である。ホーン・ロードがかからないためか、ホーンの共振のためか、その両方のためか、派手にリバブひずみが発生している。

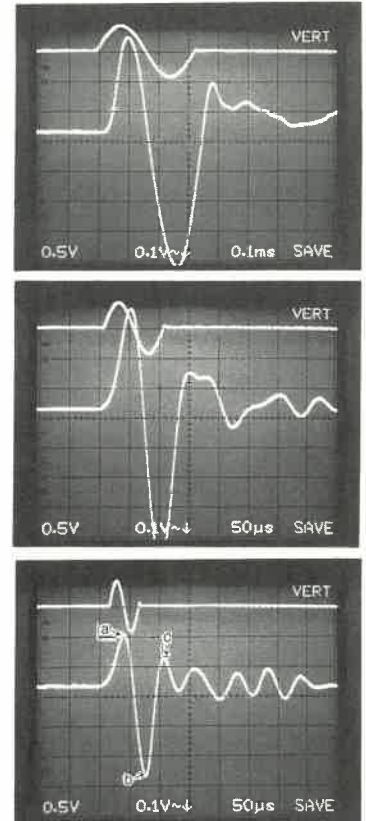
(c) 3 kHz ▶  
この辺りがベストの帯域であろう。写真では見えないが、この周波数でもフラッタ・エコーは観測される。

◀ (a2) 420 Hz  
時間軸を変えた応答である。残響が見えなくなるまでに100 ms以上要しているのがわかる。

(d) 10 kHz ▶  
出力の周期が伸び始めている。この組み合わせもツイータが欲しくなるであろう。

◀ (b) 950 Hz  
c波がa波の2.5倍も高いのが気になるが、それ以上に3ms周期の反射波が気にかかる。これは周期からも、ホーンの上板と下板の間で、フラッタ・エコーが生じていることが明かである。実際に単発サイン波の再生音からも、フラッタ・エコーの周期を特定できる。ラジアル型共通の弱点であろう。

(e) 20 kHz ▶  
a波の立ち上がりは、10 kHz時とほとんど変わらない。全帯域に渡って、JBLよりもリバブひずみ大きいことがわかる。



〈第7図〉 PD801+H420の単発サイン波応答



パイオニア PD801 ドライバ+フォステクス H420 ホーンの組み合わせ

ような“聴感と一致しない”スピーカーがありますが、これもその一例かもしれません。過渡応答が悪かったところで、連続波を入力すれば、きれいなサインウェーブが現れるのですから、(i)図の 15 kHz も、同様の傾向を持っていることがわかります。

総じてこの JBL コンビは、周波数による波形変化が激しいようです。ホーンはカットオフの 2 倍以上の周波数で使用するとか、2 オクターブの範囲で使用するなどの意見がありますが、これらの波形変化を聴いていたのではないのでしょうか。

### パイオニア PD801+フォステクス H420 ホーン測定結果

第 7 図は、パイオニア PD801+フォステクス H420 ホーンの応答です。(a) 図は 420 Hz、(a 2) 図は同じ応答の時間を圧縮した写真です。カットオフ周波数ではコンプレッション・ドライバに制動がかからないためか、ホーン自身の鳴きのためか、リバースひずみが派手に尾を引いているのがわかります。ウッドホーンはよく鳴くといわれますから、それかもしれません。割り合いときれいな減衰振動パターンを示していますから、振動板が動いているのでしょう。元来、カットオフ周波数まで使用するは無理なのですから、仕方がないことでしょう。けれども 840 Hz でクロスオーバーさせるとすれば、相当なレベルで 420 Hz も放射されるに違いありません。

(b) 図は 950 Hz です。明らかにホーンの上と下との間でフラッタ・

エコーが生じているのがわかります。3 ms ごとにパルスが繰り返していきから、約 5 cm の間隔で音波が行き交っていることがわかります。この上下の 1~3 オクターブで、フラッタ・エコーは観測されます。

(c) 図の 3 kHz から (d) 図の 10 kHz では、良好な応答となっています。ただし JBL に比べるとリバースひずみは大きです。10 kHz では、a 波の立ち上がりがなまっていることがわかります。フラットな帯域はあまり広くないようです。(e) 図の 20 kHz では a 波の立ち上がりが、トゥイータを必

要とすることを物語っています。

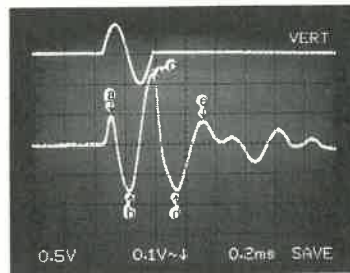
### フォステクス T825 測定結果

第 8 図は、フォステクス T825 トゥイータです。このトゥイータもフラッタ・エコーが観測されます。(b)、(c)、(d) 図、時間的にも左右の対向板の間で反射が生じている (e 波) ことがわかります。ラジアル形状の多くのホーンが、同様な欠点を持っているのではないのでしょうか。どちらのホーンとも、波形を見るだけでなく、単発パルス波を聴いているだけで、フラッタ・エコーが発生していることがわかります。

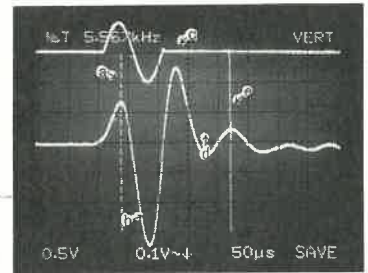
波形的には、周波数変化による波形の変化が少ない点が良いところでしょう。ただ、一貫して c 波が a 波よりも高く、加えて (b)、(c)、(d) 図のいずれの c 波も同じ形をしているのが気になるところです。ホーン鳴きがあるのでしょうか。

### まとめ

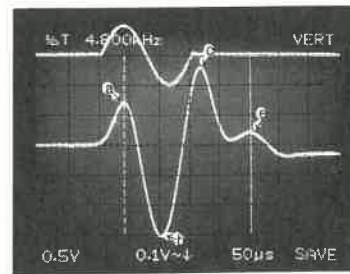
単発サイン波を用いてホーン・スピ



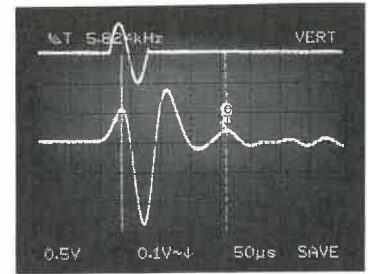
(a) 3.0 kHz



(c) 10 kHz



(b) 6.65 kHz



(d) 15 kHz

〈第 8 図〉 T825 の単発サイン波応答

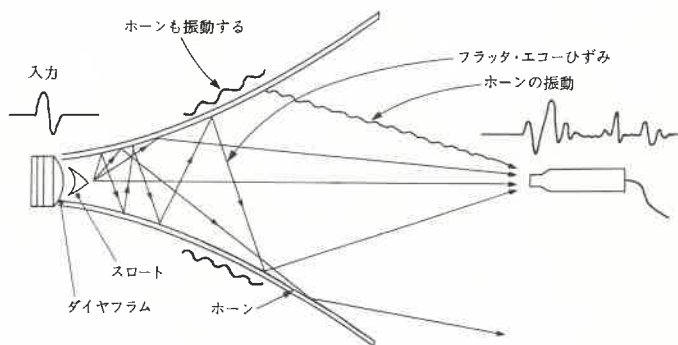
周波数が増えながらも同じような波形を再生している点で、好感が持てる応答である。しかし 6.65 kHz~15 kHz まで特徴的な e 波が現れ、その周期から、左右の板の間での反射であることがわかる。また、この間の c 波がいずれも同じ形をしている、つまり入力周期に関係なく発生しているのが気になる。これもまたホーン鳴きであろう。

一カの応答を観測しましたが、今回観測した限りでは、「ホーン型は過渡応答に優れる」との民間伝承を裏付けるデータは得られませんでした。ホーンの音は立ち上がりに優れているとか、応答が早いとかいわれますが、波形を見る限りでは、コーン型やドーム型と比べてもどうってことはありません。応答に優れるという意見は、振動板の質量が小さいからそうなるはずだと、合理的に考えられた現象ではないでしょうか。少なくとも本当に過渡応答に優れるのであれば、連続波による高域特性も伸びなければなりません。

むしろ入力が消えた後の不要振動が、ホーンの特徴的な音を作り出しているように思われます。どのようなホーンでも、ホーン自体の鳴きと、ホーン内部の反射波が入り交じり、ホーン独特の音を作り、その音が立ち上がりに優れた音と勘違いされていたのではないのでしょうか。ただし、この振動を快く感じるか否かは、別の問題です。

また、ホーン型は周波数による応答波形の変化が激しいようです。ただし今回測定したホーンは、広帯域をねらって設計されたものではないのかも知れませんが、他の機種も計ってみないことには断定できません。

さて、この周波数による波形変化は、聴きかけ上の音源位置変化の原因となっているように考えられます。第9図に示すように、ホーン内を通過する音波は、振動板から放射される球面波だけではなく、壁の間を跳ね返った波も含まれます。そしてこれらの反射波と直接波は干渉を生じますし、もちろん



〈第9図〉 ホーン内では複雑な反射がある  
共振板から放射された音波のみが伝わるのではなく、ホーンの壁で反射された波も伝わる。このため周波数によって波形が変化し、聴感上の音源位置が前後するのである。

波長に応じて山谷のでき方が異なります。このため、波長に応じて波形が変化し、音源の位置が前後するように感じられるのではないのでしょうか。また、聴感的な音源は、振動板よりも手前にしか出現しない点からも、反射波が影響しているように考えられます。

また、今回測定したラジアル型のホーンは2機種とも、上下（または左右の）板の間の反射によって、フラッタ・エコーひずみとも呼ぶような反射を生じています。これはホーンの鳴きによるものでなく、その形状によって発生するものですから、ラジアル型に共通の傾向でしょう。おそらくはマルチ・セルラー・タイプも、対向する面がいくつもありますから、同様のひずみを伴っていると考えられます。もちろんこれは、デッドニングや吸音処理によっても防ぐことはできません。

なお、フラッタ・エコーひずみはオシロスコープで見えるだけでなく、耳

にも聴こえます。そして単発サイン波を聴きながら、その周期を探り当てることもできます。音楽再生にも影響を及ぼしているに違いありません。

### おわりに

一部のオーディオ・マニアの間では、ホーン型は最高級のスピーカということになっていますが、今回の測定ではホーン・スピーカの優秀性をサポートする結果は得られませんでした。（優れているとされる）立ち上がりにしたところで、波形的にはコーン型と差があるように見えません。むしろホーンの鳴きやフラッタ・エコーひずみなど、ホーン型特有の弱点が大きく現れる結果となりました。

なお、今回のデータはいずれもホーン・スピーカ単体の応答ですが、システムとして構成されますと、通常2次以上のフィルタが使用されますから、ネットワークの過渡ひずみ（前号参照）や、音源位置ずれによるひずみなども加わり、再生波形は悲惨なものとなるでしょう。しかし、それでも多くの方が定位感や音像感に不満なく聴いているのですから、人間の適応力はたいへん広いものなのでしょう。

### 参考文献

- 1) ステレオ・パーツは何がよいか、ラ技増刊 1971-1
- 2) 出原真澄, マルチアンプシステム, p. 122, 日本放送出版協会



フォステクス T 825 トウイーク