

## オーディオと計測(スピーカを中心として)

エタニ電機株式会社

日野 捷吉郎

### 1. はじめに

皆様は、オーディオにおける計測に対して、どのような期待をお持ちでしょうか。簡単に言い切るのには難しいかもしれませんが、一緒に考えてみたいと思います。対象となるオーディオ機器を測定してみて、何が得られるのでしょうか。「ある」特性を測ったときに、その「ある」特性における良し悪し(変化)がある量で測られます。そのデータを見て問題があるかどうか、どの程度悪いのか・良いのかを読み取る力も必要です。しかし、そのデータから音の良し悪しに直結した答えを導く事は、それほど簡単では有りません。このことを言い換えれば、オーディオにおける測定の働きに、未だ不足している点があること、あいまいであることなどの問題が含まれている事を示しています。最終的に出てくる音の判断は、単なる音波の物理的な現象としてだけでなく、人の聴感(感覚や心理的反応)が主体となって判断されます。これは、大変多くの要素が絡み合った形であり、複雑な事象の結末として表されます。このような状況下で測定を活かそうとするときに重要な事は、複数の要素が絡み合っていることを理解した上で、このそれぞれの要素が見切れてはいない、即ち分っていない部分もあることを頭に残しながら読み解いてゆくことが、客観性や今後の進歩につながると思います。このような姿勢で挑めば、より多くのことを測定データから導く事が出来るでしょう。

### 2. 測定の現状

ここでは、オーディオ機器の中でもアンプなどに比べると最も物理特性が貧弱な、スピーカの測定を中心に進めてゆきたいと思います。スピーカの測定データと言えば、最も一般的なのは音圧周波数特性です。このための測定器は、1950年代には大きなラック1~2本程度のサイズであったものが1980年代には卓上ラック程度に、そして現在ではプリンタを除けばアタッシュケースに入るほどに小型化されました。装置金額も、計測用マイクロホンを含んでも数千万円から50万円以下に下がっています。PCのオーディオインターフェースと、フリーソフトで測ればもっと安くて済みます。従来は高価な計測システムとして、無響室のような基準となる環境に設置されていました。現在は安価で小型になったことで、実際に音を出す空間でも簡単に測れる機会が増えたとも言えます。音を出す現場で音を測り、調整(チューニング)や保守に使用したり、システムの開発者が実際の音を聞くとときに確認のために測ったりする、といったことも簡単にできるようになりました。

### 3. スピーカの測定：他のオーディオデバイスとの違い

電子的な動作をするアンプなどと違って、スピーカはある質量のものを振動させて音を出さねばなりません。ここに意識をおいて考えてみてください。本稿では、極力一般的なスピーカの

例として示しています。図を見れば、電子的動作の機器に比較して、スピーカの難しさがお分かりになると思います。

### 1) 周波数特性と測定用信号

スピーカの測定では、周波数を連続的に変化させたサイン波信号(掃引正弦波)を使うことが望まれます。その理由は、スピーカの振動系がもつ固有な共振によって、周波数特性の山や谷が多く存在するからです。アンプのように、いくつかの固定周波数だけの測定では、この山谷が反映されない恐れがあります。

日本ブランドの同じ製品7個を測定して、そのデータを重ね表示した例を示します。この製品は、2個のセットで数万円のもので大変良くそろっており、良く管理されている例だと思えます。なお、本稿で示す全ての測定データは、反射性の壁のある弊社の試聴室における測定データです。

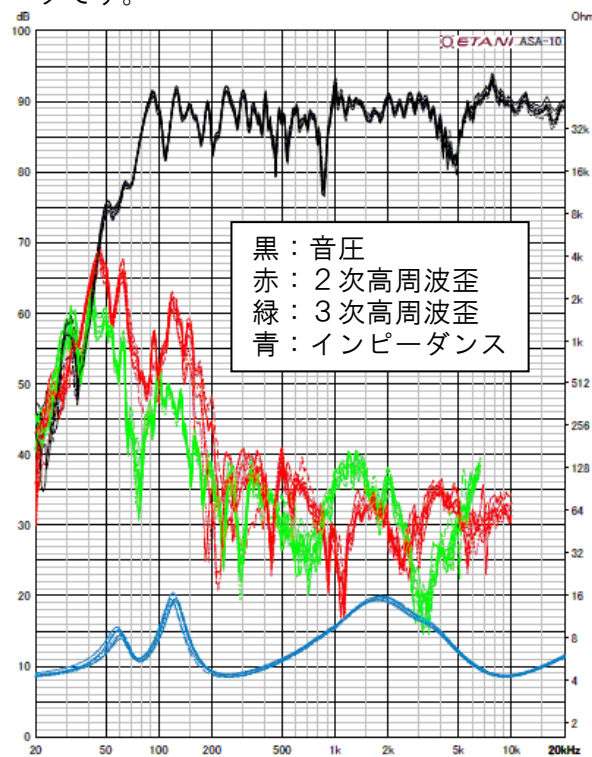


図1: 小型スピーカ7個の例

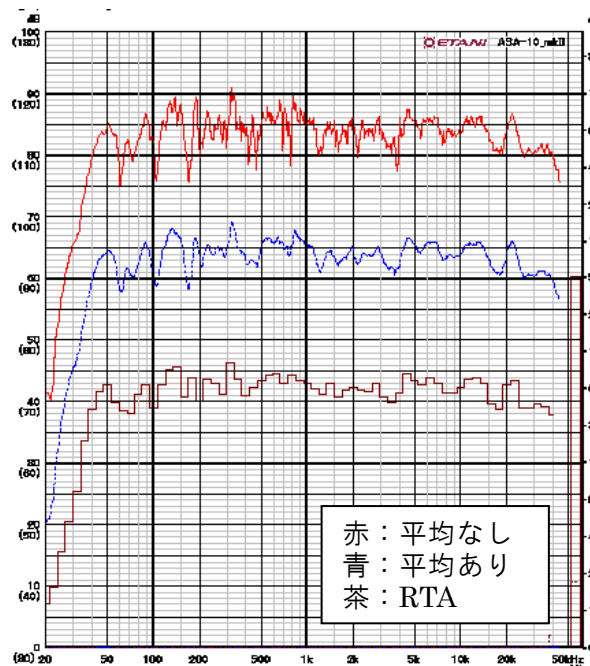


図2: 2)項の周波数軸の移動平均の例

### 2) 実音場での周波数特性測定

実際の音場では、どうしても音の反射の影響が取りきれません。後に述べるインパルス応答による測定では、反射音から後ろを切り捨てれば良いとの意見があります。目安として約8.5m(20Hzの半波長)以上、壁から離れていれば良いでしょう。しかし普通の部屋で信号の切り捨てをすると、波形の頭から切り捨てたところまでの時間で表される信号しか無いことになり、この長さ以上の時間が必要な低い周波数成分が失われてしまいます。従ってその分析結果に影響が出てきます。それではどうしたら良いでしょうか。一つのやり方として、極端なピーク・ディップは周波数領域での平均により、平坦化する方法があります。なお、RTA(リアルタイム

スペクトラムアナライザ)とピンクノイズを使った測定では、そこで使われるバンド幅で、周波数軸上の平均化を行っているのと等価になります。その参考例を、スイープ波での平均無し・スイープ波での1/6オクターブバンド相当の幅での移動平均つき・1/6オクターブバンドのRTAの測定を重ねた例を示します。ここでは、RTAより移動平均の方が、平均の効果を上げながらスムーズなカーブ表示が残せるので、実態を良く表していることが分ります。いずれにしても、低域での反射の影響を含んで測り、実態を知ることは意味が有ります。

3) 高調波歪特性・IM(混変調)歪特性・ソナグラフ/スペクトログラム

通常のハイファイ用アンプでは、高調波歪の量が使用域で1%を超えることは、一部を除いて殆どないでしょう。しかし、スピーカの場合には、これを超える例が多くあります。しかも、通常測られる2次・3次の高調波歪みだけでなく、4次~10次以上でも多く現れる事が有ります。このことはあまり知られていません。これらの例を次に示します。

POWER	THD[%]	1st[dB]	2nd[%]	3rd[%]	4th[%]	5th[%]	6th[%]	7th[%]	8th[%]	9th[%]	10th[%]
0.25W	3.98	85.45	3.46	1.25	0.69	0.72	0.51	0.40	0.37	0.31	0.29
1W	6.08	91.16	5.72	1.52	0.68	0.58	0.50	0.36	0.36	0.30	0.30
4W	10.18	96.87	10.00	1.22	0.60	0.67	0.46	0.67	0.44	0.25	0.27
12W	15.86	101.22	15.69	1.01	0.80	1.38	0.49	0.97	0.28	0.20	0.29

図3: 高調波歪の例(径: 10cm、400Hz)

Input: 200.00Hz: 2000.00Hz = 8.484V: 2.121V

POWER	IMD[%]	-6f1	-5f1	-4f1	-3f1	-2f1	-1f1
0.25W	4.23	23.97	30.72	34.41	16.42	42.87	39.09
1W	6.62	29.05	39.53	39.50	32.71	49.65	52.51
4W	12.03	42.07	50.58	47.75	54.98	57.77	64.47
12W	20.94	59.67	63.46	54.72	64.32	64.58	72.33

+1f1	+2f1	+3f1	+4f1	+5f1	+6f1
32.90	35.00	-6.20	17.54	1.12	9.61
45.46	38.25	18.45	23.58	9.99	13.55
58.62	48.83	33.47	28.24	25.33	18.16
68.23	63.78	51.82	39.07	25.64	32.85

径 10cm、  
200Hz、2kHz を  
4:1 で混合

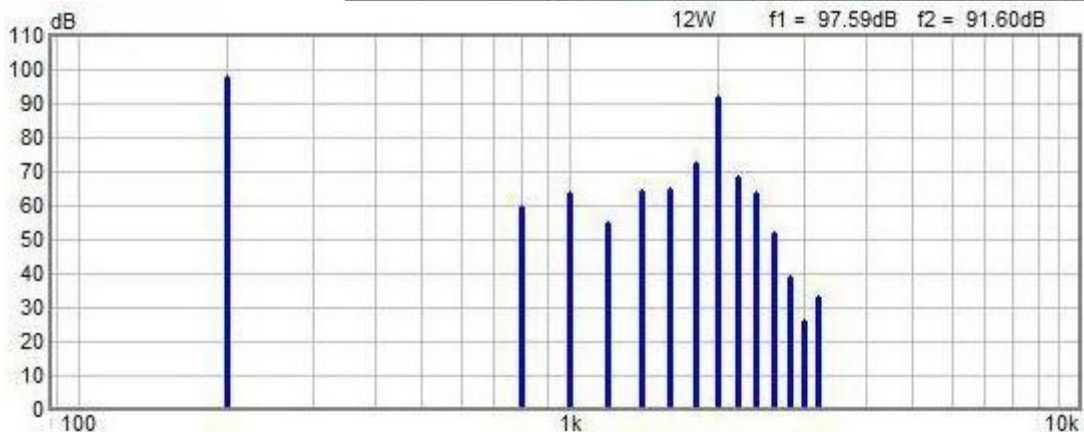


図4: IM歪(SMPTE)の例 2kHzに変調がかけられて側帯波が多くみられる

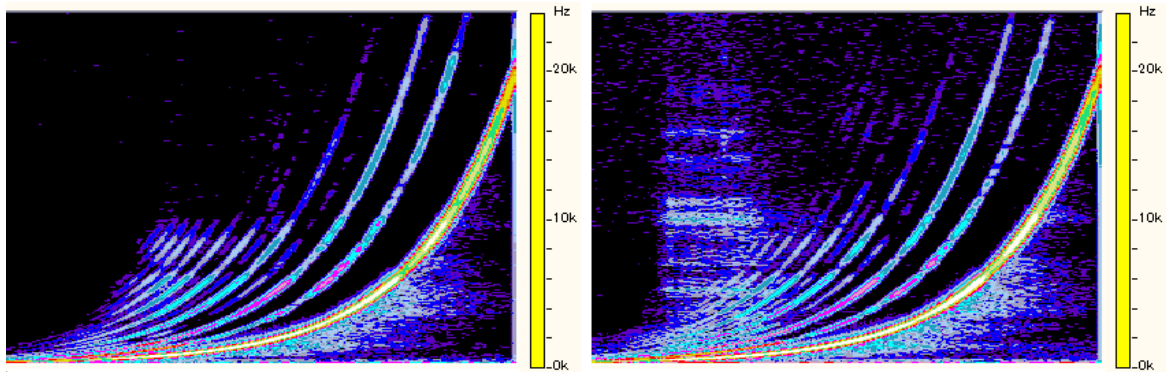


図5: ソナグラフ/スペクトログラムの例(正常品と異常音=ビリ音有りの比較)

対数スイープサイン波 横軸：時間 縦軸：周波数(直線尺) 色で音のレベルを表示  
 一番下側の弓なりカーブが基本波 その上に表れているのは2次・3次...高次歪  
 右側の不良品は低域で2k~17kHzの広い範囲に異常音が表れている

#### 4) 波形応答

スピーカは、音響エネルギーを放射するために、マイクなどに比べて質量の大きな振動系で空気をドライブしなければなりません。このときの振動運動には慣性が働いており、入力された電気信号に追従してそのままの形で振動する事は難しくなります。ここでは、スピーカの例とヘッドホンの例を示します。ヘッドホンの方が振動系が軽く、振幅も小さいので動きは良くなっています。

方形波を入力した例(1kHz)

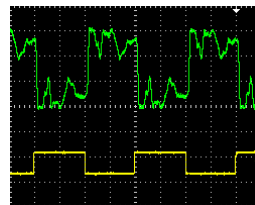
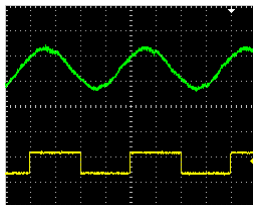
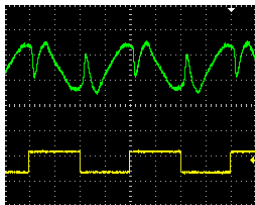
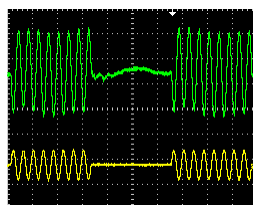
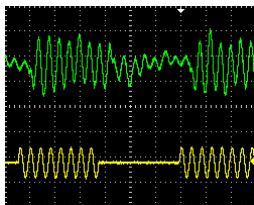


図6: 方形波・スピーカ 図7: スピーカ(ウーハのみ) 図8: 方形波・ヘッドホン  
 2 wayのスピーカなので位相が乱れていて波形も乱れている  
 ウーハのみだと波形がなまる

トーンバースト波を入力した例(1kHz、8波 ON/OFF)



ここの波形図はすべて  
 上側 緑：マイクからの波形  
 下側 黄：ドライブ波形

図9: スピーカ 図10: ヘッドホン  
 スピーカでは、無音区間でも波形が残っている

5) インパルス応答から得られるデータ

インパルス応答をFFT分析すれば、ここで示すような音圧・位相周波数特性や、立下りパワースペクトラム(ウォーターフォール)特性が測れます。

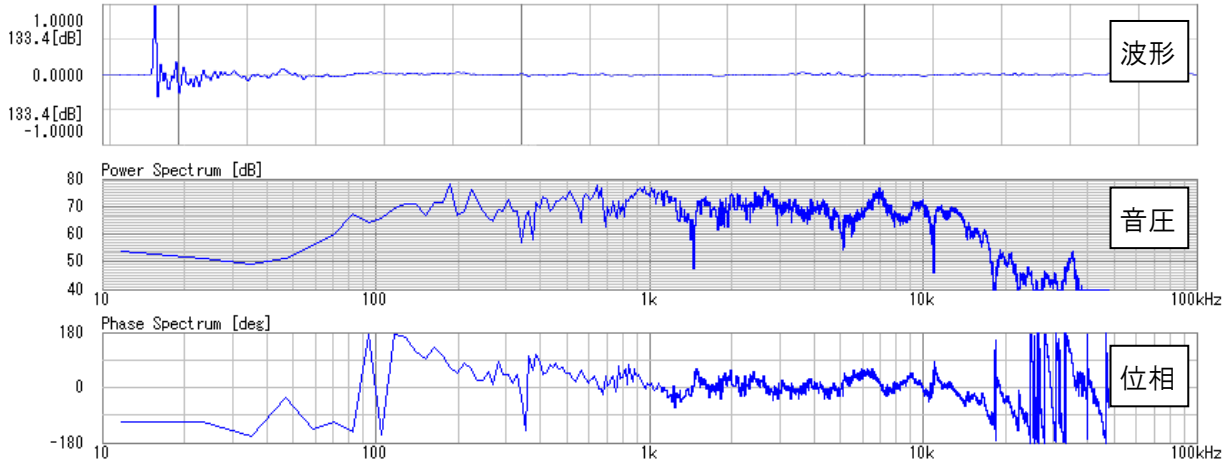


図11: 音圧・位相周波数特性の例(径：10cm、シングルコーンタイプ)

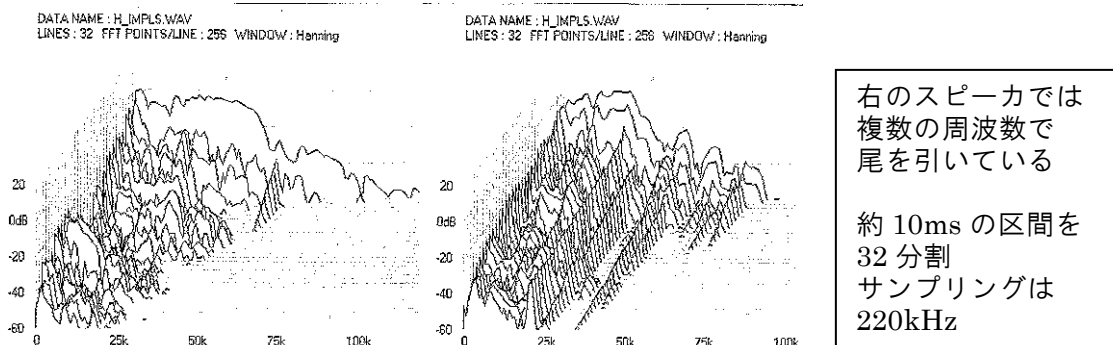


図12: 立下りパワースペクトラム(ウォーターフォール)特性の例

以上、スピーカの測定例をいくつか示してきましたが、その多くは大分以前から測られてきたものです。最近はどうのような、いきさつは知りませんが、カタログに周波数特性のデータが載らなくなっています。(どなたかご存知であれば教えてください。) また、スピーカに関連する作り手の方々は、過渡応答や歪みの現状についてさらに見直されるように希望します。

4. 測定における注意

正しい測定を行うために、次のような点に注意してください。

- ・ 正確さ：校正された機器を用いる。
- ・ 再現性のある測定：測定条件を揃える・統一する。
- ・ 雑音や騒音を減らす：SN比が取れるようにして測定する。  
 大きな音量で測る。スピーカとマイクの距離を出来るだけ近くする。
- ・ 測定する位置を決めておく。(特に有響室の場合)

## 5. 測定における今後の方向

スピーカの指向性やパワー出力周波数特性、及びサラウンドなどの音場に関する分野は、今回は触れませんでした。これらはさらに興味深いものであり、多くの発展が期待できると思います。

ここではスピーカの応答を中心にした測定の進歩に向けて、その要素になると思うものを上げておきます。ぜひ皆さんも考えてみてください。

1) 過渡応答の測定法・評価法について良い方法を見いだす

2) 複数の音によるドライブで発生する問題の解析方法

人は変化する音・動いている音を聴いている。このように変化する音のときによけいな音を出してしまうといった、機器の挙動分析の高度化を進める。

3) 聴感との関連を突き詰めてゆく

検知限界等のデータは古いものが多い。最新の機器を用いて、追加検証などを通して、再検討すべきであろう。

4) 人が嫌う音・嫌な音はどのような音か

その量と合わせての検討は、事例が少ない。スピーカの異常音(ビリ音やこすれ・当りなどの音)に関して、どう扱うべきかの検討が望まれる。

スピーカだけでなく、オーディオ測定全般に及ぶこととしては、

5) デジタルの量子化精度・高分解能化が進んでいる

24ビット・32ビットやハイサンプリング周波数など。スピーカだけではなく測定系全体に言えることですが、これに対して測定系におけるアナログの精度が追いついていません。例えば、24ビットで表される信号のダイナミックレンジは144dB、32ビットでは192dBにもなります。これをきちんと評価するだけのアナログ信号処理系の確保は、大変難しいと思われます。

## 6. 最後に：まじめなマンパワーの蓄積や努力の結果を活かす風土の再現

少々キツイ言い方になりますが、本稿で挙げた例は、数十年も前に日本で行われてきたものがほとんどです。これらを活かして経験の上に立って進めようと思いを巡らすと、最近の企業や市場での動きは心配な点が多く見受けられます。これは、本当に良い音を目指した製品作りを進めることの重要性にもつながります。最近では、単に価格が安いことを優先した製品が目につきます。多くの場合、決められたデバイスや回路を組合せて使うだけに偏り、早く・安く市場に出す流れになっています。実現が難しいことは理解出来ますが、それぞれの立場で最高に手を尽くした製品が少なくなっています。例として、デジタルパワーアンプ出力部のフィルタの省略や、スイッチング電源の多用によるパルス性ノイズの垂れ流しなど、単にオーディオだけでなく広い範囲でいろいろな問題を見受けられます。これでは、日本的な良い文化から離れるだけでしょう。今後は、「安くてもさらに良い音を作ろう」につながる努力を期待したいと思います。

著者略歴：'73年にエタニ電機株式会社創立。以来音響計測、特にスピーカ関連のものを多く手がけ、国内の主なスピーカメーカーの標準的システムとして採用されている。この十年は、計測とデジタル信号処理をつなげた、自動音場調整可能な実用機器も手がけている。