

# クロストーク

実験・意見発表・討論・質問のページ

## PCソフトを活用したホーンの位相合わせ

豊かな音場情報の出現に大感激

### ユニウェーブ・スピーカとの出会い

昨年7月号の投稿記事がご縁で、高橋和正氏のお宅にて、ユニウェーブ・スピーカ・システムをじっくりと聴かせていただく機会を得ました。ひずみ感がなくクリアな音で、たいへん好感が持てる音でした。試聴したのは2ウェイから4ウェイまでの4システムで、すべてMFB付きです。驚嘆すべきは、そのいずれもが同じ音質であることで、これはひずみが少ないことの1つの証しでもあります。「シャキシャキした

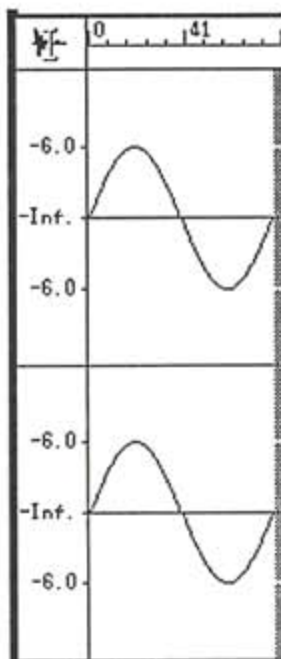
平本 修

クリアな音が好みだ」とのことでしたが、まさにそういう音でした。

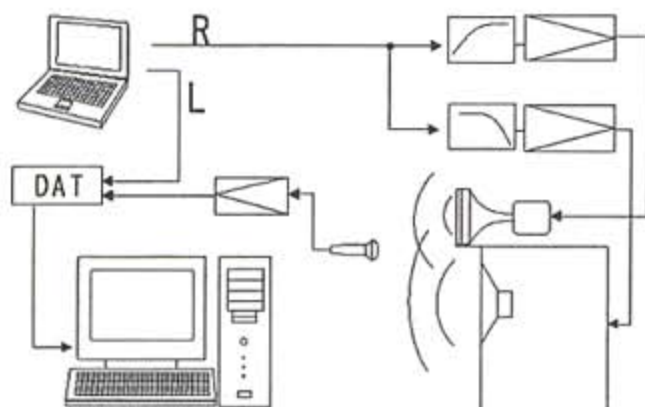
私のシステムは中高域がホーン・スピーカです。ホーン・スピーカは能率が高く「歯切れがいい」と巷間いわれており、私もこの常識(?)にしたがって、ホーン・システムを導入しました。しかし、高橋さんの音を聴いているうちに「このユニウェーブの音の方が自分のホーンよりも歯切れがいいではないか!?!」との複雑な思いを強くしました。かつて高橋さんが見限ったホーンではありますが、私にとってはまだ大事な財産です。ただちに捨て去る気にもなれません。

### ホーン・スピーカの位相合わせ

私のシステムは位相合わせに問題



◀(第1図) 単発サイン波



◀(第2図) 合成波形の測定法

があるであろう、と焦点を絞りました。位相合わせは聴感で行っており、その結果には自信がりましたが、何しろ感覚に頼った調整だけに、ひょっとしたら(?), との不安が拭えないでいました。

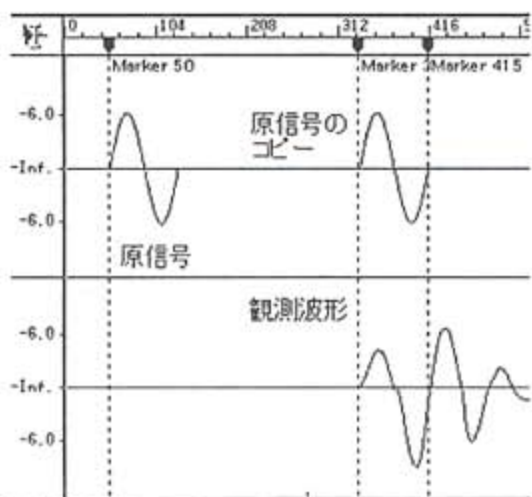
位相合わせには単発サイン波が有効であろうとは思っていましたが、仕掛けがたいへんで、おいそれとは取り掛かることはできません。

なにかいい方法はないかと思い悩んだ結果、SoundForge XP Studio<sup>(m)</sup>という波形編集ソフトに注目しました。このソフトにはサイン波の創成機能があり、しかも波形表示では、時間軸の分解能を1/48000秒にできるため、低い周波数ではストレージ・オシロ代わりに波形観測ができます。

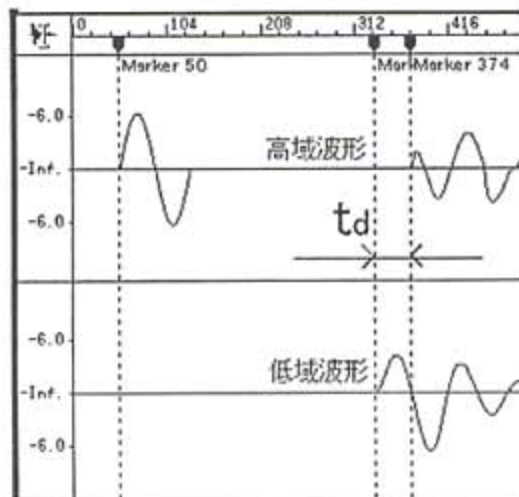
最初に単発サイン波を作ります。私のシステムのウーファとのクロスオーバー周波数は612 Hz (-6 dB/oct)です。2 msecの長さで16ビット、48 kHz、612 Hzのサイン波を作り、波形編集機能を使って1波の長さに切り取ります(第1図)。

ここで、測定方法を第2図に示します。上記単発サイン波はノート・パソコンで作成しました。ノート・パソコンが信号発生器になります。

ノート・パソコンから出たステレオ信号を2手に分けます。これがこの測定法のポイントになります。右チャンネル音はアンプに送り込みま



◀第3図▶  
最初の測定  
結果



▶第4図▶  
高低域それぞ  
れの波形

す。左チャンネル音は、DATの左チャンネルにつながります。マイクで取り込んだ再生音は、マイク・アンプ経由でDATの右チャンネルにつながります。

つまり、左右チャンネルをオシロの2チャンネル代わりに使うわけです。左チャンネルに原信号、右チャンネルに再生音が記録されます。この記録法の長所は、原信号を発した時点から、再生音を捕らえた時点までの時間遅れが正確に記録できることです。

DATに記録された信号は、オフラインでデジタル入力端子からデスクトップ・パソコンに取り込み、波形解析を行います。左右チャンネルの音が適正な音量バランスになるように音量調整をして測定開始です。

マイクはウーファのバッフル面から1.5mのところセットしました。高さは、ウーファとホーンの間位置です。こうして得られた波形が第3図です。一見サイン波らしく見えますが、よく見ると途中で段差があります。サイン波になっていません!!

### ホーンの音源位置はどこ?

ここで波形解析を行います。同じマイク位置で、別々に記録した低域波形と高域波形を原信号の位置でタ

イミングを合わせて、左右チャンネル上に並べてみました(第4図)。SoundForgeには波形のコピー/ペースト機能があるので、このような作業は簡単にできます。結果を見ると、明らかに高域のタイミングが遅れています。つまり、ホーン的位置が後ろの方に寄り過ぎていることになります。

時間軸上で両波形の立ち上がり時の目盛を読み取り、その差 $t_d$ を求めます。実測値は39 samplesで、距離に換算すると $340\text{ m} \div 48000 \times 39 = 276\text{ mm}$ になります。これはホーンの音源位置がウーファよりも28cmも後方に寄っていることを意味しています。その位置を探してみると、ドライバの後部近辺になっています。

ホーンは1枚の板に取り付け、この台座ごとウーファのボックスの上に乗せてあります。ごくありふれた設置スタイルです。ホーンの前脚位置はボックスの前端より少し飛び出しています。前に寄り過ぎているかも知れないが、決して後ろ過ぎるという配置ではありません。しかるに単発サイン波の応答をみると、後ろに寄り過ぎています。

私のドライバはTADのTD-4001、ウーファはTADのTL-

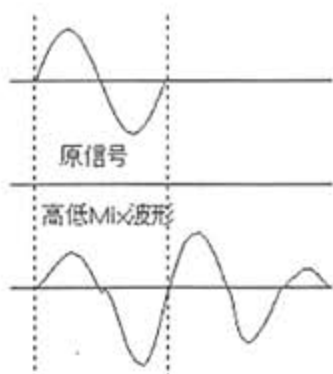
1601aです。TADには同じユニットを使ったスタジオ・モニタ2402があります。これはバッフル面にホーンを嵌め込んで取り付けてあり、私の設置方法と大同小異です。しかしこの設置方法では半波長近く位相がずれている、といわれては……。

TD-4001のダイアフラムはドライバの後部に位置しています。単発サイン波は、このダイアフラムの位置を音源位置として指摘しているようです。この部分をウーファ位置に合わせるとなると、ホーンはもちろん、ドライバ・ユニットの大半を空中に突き出さなくてはなりません。

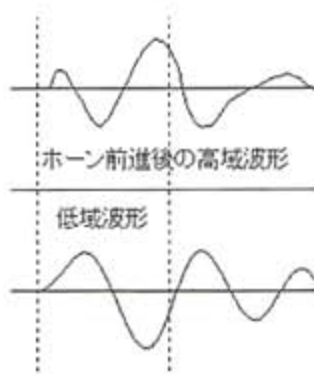
さて、どうするか? ホーンとドライバを合わせた重量は20kgを越えます。これを空中で支えなくてはなりません。仕方なくDIY店で大きな板を買ってきてボックスの上に置き、飛び込み台のように前方に飛び出させて固定しました。

### シミュレーションによる波形観察

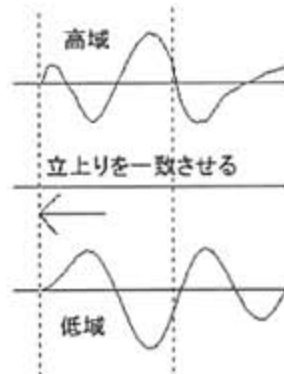
早速測定しようとしたのですが、マイク的位置で困りました。ウーファとの距離は1.5mでよしとしても、問題は高さです。ホーンの開口部はバッフル面から大きく飛び出しており、マイクをどの高さにセットする



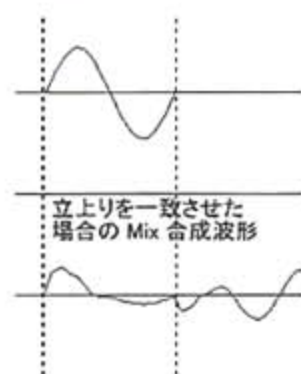
〈第5図〉 高低合成波形



〈第6図〉 ホーンを前へ移動



〈第7図〉 高低の位相を一致させる



〈第8図〉 位相一致時の合成波形

のが正解なのか、判断できません。事実、マイクの高さにより収録波形は微妙に変化します。

理想的には無限遠で測定するのがいいのですが、不可能です。そこで、これに代わる測定方法を考えました。高低両チャンネルのアンプを片側ずつ作動させて、各スピーカの真正面の高さで波形を測定し、この波形をデジタル処理で加算合成する方法です。SoundForgeには波形Mix機能があり、合成作業は簡単に行えます。

このMix機能の性能確認のため、第4図にて上段の波形を下段の波形にMixしてみました。第5図の下側の波形が合成波形です。第5図の上段のサイン波は比較検証のために貼り付けたものです。得られたMix波形は時間軸を倍にしてありますが、第3図の観測波形と同じであり、このMix手法が信頼すべき手法であることが確認できました。

バッフル面から1.5m離れた場所で錘を付けた糸を垂らして鉛直線を作り、マイクの前後位置をこの糸に正確に合わせました。高さは各スピーカの正面としました。こうして得られた波形が第6図です。

ここから音源位置合わせのシミュレーションの開始です。まず最初に高低両音の立ち上がりのタイミング

を一致させ(第7図)、両波形をMixします。得られた波形が第8図ですが、見るも無残な波形で、理論的には正しいはずの“立ち上がりを一致させる”という考えに無理があることがわかります。原因は、再生音が原信号を忠実に再生していないからに違いありません。

それでは位置関係をどう調整するのがいいのか? Undo(取消し)でMixを取り消し、Mix基準点を1sampleずらして再度Mix合成します。時間軸上の1sampleは実際の距離にして7mmに相当しますから、ホーンを7mm移動させた場合の波形をシミュレーションしたことになります。この作業は何度でも繰り返せるので、あっという間にホーンを7mmずつ移動させた場合のMix合成波形が確認できます。

この時点では、Mix合成で最適な波形が求まる位置を探せばいいと思

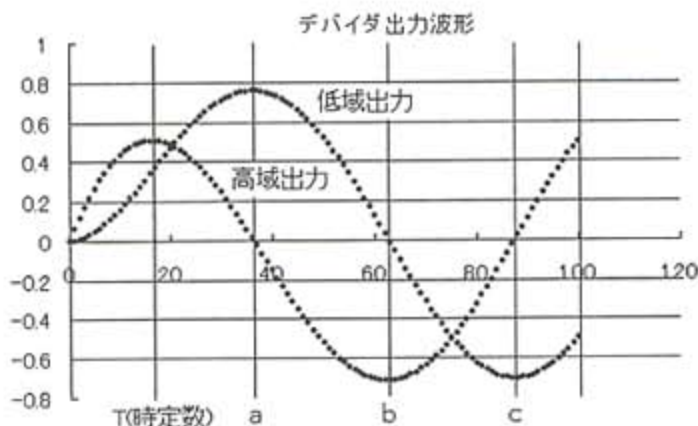
っていましたが、再生波形がひずんでいる状況下では、再生音が理想波形に対しどのようにひずんでいるかを解明しないと前に進めません。まず、高低両チャンネルの理想波形を明らかにする必要があります。

### 波形ひずみの実態把握

チャンネル分割フィルタはCR1段です。コンデンサがあるために過渡現象を生じます。このために、立ち上がりの波形を求める演算式は複雑になりますが、表計算ソフトExcelの関数機能とグラフ機能を使うと、立ち上がり特性を簡単にグラフ化できます。こうして得られた2つのグラフを重ね合わせたものが第9図で、実際のアンプの出力端で確認した波形が第10図です。

このアンプ出力端の波形とスピーカの再生波形とを比較してみると、低域は第11図になります。立ち上

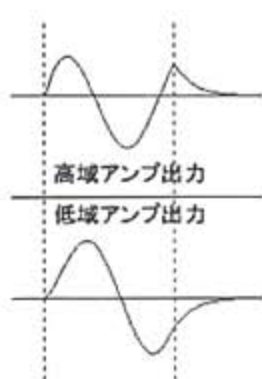
〈第9図〉 デバイダの出力波形(シミュレーション)



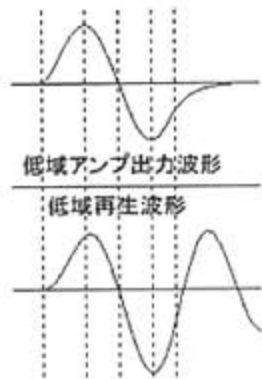
がりにやや鈍さが感じられますが、まあまあの波形です。つぎに高域波形の比較が第12図です。かなりひずんでいます。第9図のa, b, c点に相当する相対位置を見つけようと高域波形を動かしてみました。波形がひずんでいるため、3点どころか、2点で合わせることもできません。さらに高域側のひずみの実態を明らかにする必要があります。

第12図をよく観測すると、2つの波形は一見似たように見えるのですが、どう見ても再生波形の周期が早くなっています。入力波形より再生波形の周期が早くなるということは、物理的に考えられません。何らかの理由で、立ち上がり時に大きな非線形のひずみが生じているのに違いありません。ホーンには魔物が棲んでいるのか？

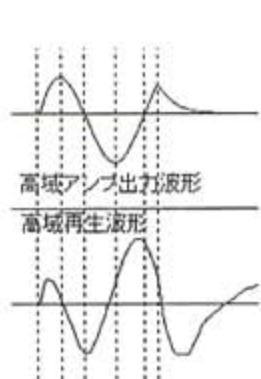
大いに悩みましたが、この魔物の実態を明かすには単発サイン波では限界があるとの思いに至りました。そこでさらなる検証手段として、分



〈第10図〉アンプ出力波形



〈第11図〉低域波形の比較



〈第12図〉高域波形の比較

割フィルタを通さずに、直接アンプにトーン・バースト波を入力してみることにしました。1波から5波までの信号を0.5秒おきに並べ、再生音を記録してみました。代表して5波の記録を第13図に示します。懸念したとおり、位相が前に寄っていました!! これがホーン・スピーカの魔物の正体です。リニアフェーズ化を図る場合、これは致命的な欠陥になります。

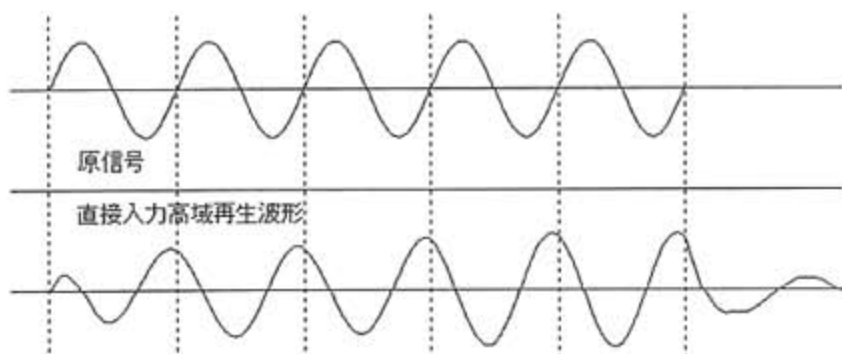
原因はイコライザの問題か、ホーン内のマルチパスひずみか、リバーブひずみか(?) 残念ながら浅学の

私には説明することができません。

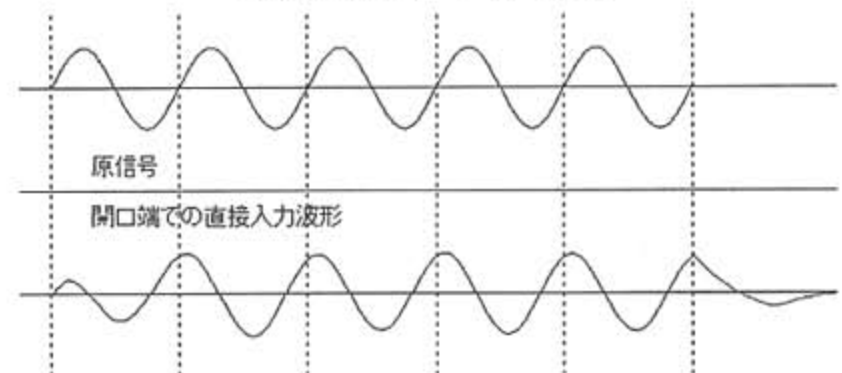
嘆いても始まりませんので、次善の策を考えることにします。第13図では、どうやら第1波の頭の部分が欠けて、全体が前に寄っているようにも見えますが、終端位置がはっきりしないので判断ができません。

そこで室内残響の影響を受けにくいホーンの開口端で波形を調べてみました。第14図が開口端での波形です。終端がはっきりと波形に現れており、原信号の長さや再生音の長さがびたり一致しているのがわかります。これは頭が欠けて前に寄っているのではなく、全体の位相が前進し、さらに第1波に振幅ひずみが発生しているとみるべきでしょう。面倒なことは、第13, 14図では位相の進み具合が異なることです。ますますホーンは不可解です。

スピーカ内で位相が前進するのであれば、なんとかもとに戻せないか? とりあえず第13図で位相を合わせるべくタイミングを遅らせてみると、第15図のようになりました。第2波以降で位相はほぼぴったり合いますが、結果として、しっぼがはみ出してしまいます。これは原信号には存在しない波形で、後に続く音の位相にも影響を与えます。しっぼのことを考えると、頭の位置を合わせるしかありませんが、この場



〈第13図〉高域のトーン・バースト応答



〈第14図〉開口端でのトーン・バースト波形

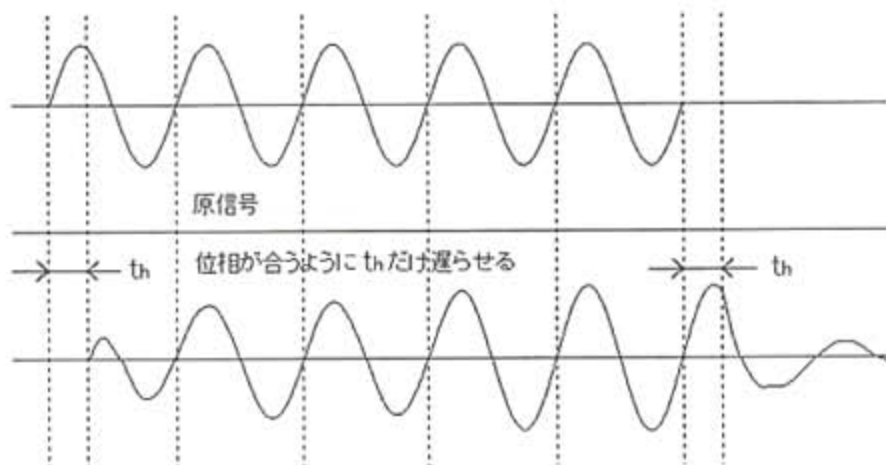
合の最終波形は第8図で示したとおりです。何を最優先させるか？

結論としては「クロスオーバーでの波形再現をベストにする。しっばの影響には目をつぶる」と考えることにしました。すなわち、第15図の $t_h$ を距離に置き換えて補正することにした。クロスオーバー周波数以外では狂いが生じてきますが、止むを得ません。

一方「ホーン・スピーカは周波数により音源位置がころころと移動する」との説がありますが、これが事実ならニアフェーズ化はさらに絶望的です。そこで100 Hzから4 kHzまでの11種類の単発サイン波を作り、これを0.5秒間隔で並べて、その応答波形を記録してみました。各単発サイン波の原信号に対する遅れを調べたところ、周波数によらず一定であることがわかりました。単発サイン波の応答を見る限り、音源位置は極めて安定しています。

### ホーンの最適位置設置

ホーンを実際に設置します。第15図での立ち上がりの遅れ $t_h$ と同じ時間差になるように、低域波形に対して高域を遅らせればよいことになります。実際に作業を行う前に、シミュレーションで合成波形をチェックしてみます。時間軸スケールを読み取ると、 $t_h$ は24 samplesになり



〈第15図〉遅延処理をして位相をそろえてみる

ます。低域信号に対し高域を $t_h$ だけ遅らせて Mix 合成したのが第16図です。下側の波形が合成後の波形で、無限遠ではこのような合成波形になるはずですが、第8図よりははるかに良好です。音源位置調整前の第5図の波形と比較してみても、立ち上がり部に乱れはあるものの、段差が消えているのが確認できます。

実際に音源位置の調整を行います。第15図の $t_h=24$ をもとに距離を算出します。現在の音源位置は第6図よりすでに4 samples遅れていることがわかります。残り20 samplesぶんだけ後ろに寄せればよいことになります。これは距離に換算すると142 mmです。ホーンを142 mmほど後に寄せて最適位置への設置は完了です。

つぎにリスニング・ポジションで総合波形を記録したものが第17図です。第16図のシミュレーション

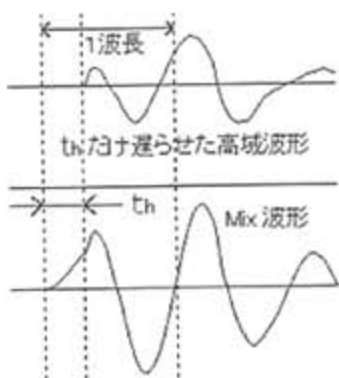
波形と実によく似ています。シミュレーション手法による音源位置合わせは大成功といえましょう。

念のためトーン・バーストでも確認してみました。途中から室内反響の影響が出ているとは思いますが、第18図がその応答波形です。

### 調整後の音質変化

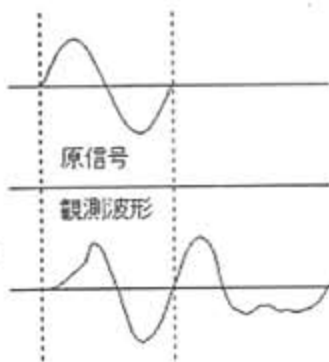
最後に音の報告です。問題の多い位相合わせではありましたが、調整前の音に比べ、澄んだ感じの音になり、当初目標のシャキシャキ感が出るようになりました。が、それ以上に驚いたのは、いままでどこに隠れていたのかと思われるほどの豊かな音場情報の登場です!!

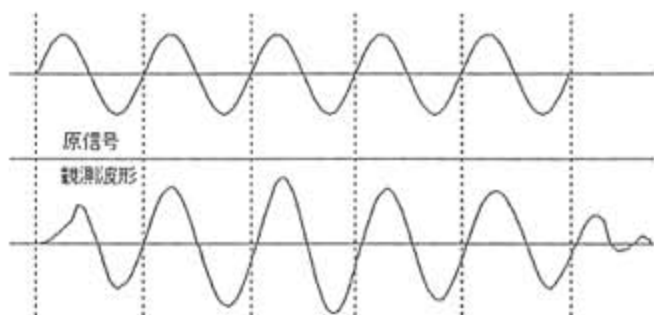
さらに驚くことには、「音場スコープ」が消失していました。2チャンネル再生では、2つのスピーカを結ぶ限定された空間内に音場が現れるのが普通です。再生音はスピーカのみまわりにまとわりついている感じで、双眼鏡で覗いたときの視野の狭さに似ています。私はこの音場領域を「音場スコープ」と呼ぶことにしています。いままでは、この音場スコープが現れるのは2チャンネル再生の宿命だと思っていましたが、いま目の前に展開する音場には音場スコープが見当たりません。音場視野の境界線



〈第16図〉遅延処理後の合成波形

〈第17図〉聴取位置での実測単発サイン波





〈第18図〉聴取位置での実測トーン・バースト波

が見えず、音場が広く前面空間に展開しているのです。

話は少し遡りますが、実は高橋邸での試聴でもこの音場スコープが見られ、これは2チャンネル再生の宿命なのだと納得していました。しかし4カ月後にふたたび訪れたときには、いちじるしい音質の向上が図られていて、前回は確認できた音場スコープが消えていました。音場は自然な広がりを見せ、スピーカの束縛を逃れた音が伸び伸びと鳴っていました。“音場スコープは2チャンネル再生の宿命”との私の考えはまちがいであったのです。

この高橋邸で体感した音場スコープの消失がわがリスニング・ルームでも起こったのです。この2つの体験から察すると、「リニアフェーズ化で音場が良好に再生されると、音場スコープは出現せず、音は完全にスピーカから開放される」と断言していいでしょう。音場スコープは音場再生に問題を残しているというバロメータだったのです。

### 生演奏の感動を

とはいえ、2チャンネルでの再生音場はあくまでも平板的で、現実の音場感覚とは異なります。卑近な例ではイカがスルメイカになったような感じです。ソフトウェアの世界には圧縮という作業がありますが、これ

にたとえるならば“音場圧縮”が生じているといえましょう。3次元音場を2チャンネルで収録すれば、自動的に音場圧縮が起こります。これをもとの丸みを帯びたイカに戻すには“音場解凍”が必要です。この解凍用のツールとして私が提唱しているのが「3D音場」です。生演奏の奥行感やエネルギー感を得るには、どうしても3次元的な音場が必要になってきます。

ごまかしの位相合わせではありましたが、「3D音場」のチューニングを綿密に行ってみると、背筋がゾクゾクとするようなリアルな音像が現れました。これまでに比べ、格段に生々しさが向上しています。昨年7月号で「3D音場」を提唱したときは「生演奏を垣間見た」と表現しましたが、このたびの“準リニアフェーズ化”で「生演奏の感動を得ることができるようになった」といい換えていいでしょう。ピーク音量レベルを95dB程度にして聴くと、体感的には実演さながらの音量感があります。一方、微弱音もよく聴き取れ、聴感上のダイナミック・レンジが広がっているのが実感できます。何よりも嬉しいのは、演奏のエネルギーがひしひしと迫ってくるのが感じられることです。

3D音場が心理面に及ぼす影響は予想をはるかに越えるもので、再生

音楽といえども、生演奏に近い感動を与えてくれることがわかります。“スーパーステレオ”の開発者である故富成博士は「音の実像が立つ」と表現されていました。生演奏の再現は永久に不可能な課題でしょうが、生演奏に近い感触を得ることはもう身近なテーマとなりました。これを克服するには、少なくとも、

- ・リニアフェーズ化
- ・3D音場再生

の2つの条件が必須条件であることが、これまでの研究で明らかになってきました。

なお、ここで紹介した測定法では5kHz近辺から上の周波数領域では時間分解能が不足し、十分な波形観測ができません。私のシステムではスーパートウィータを12kHzクロスオーバー、-18dB/octのハイパス・フィルタ経由で付加していますが、ホーン位置のわずかな移動で音色は確実に変わります。ここでも、位相が音質決定に大きな役割を果たしていることがわかります。

オーディオは最終的には音波を扱う技術です。音波は扱いづらい対象ではありますが、これに目をつむっていたのでは本末転倒です。ホーン以外のスピーカ方式のかたがたも含めて、今後多くの方々が波形を捕らえた位相合わせに挑戦されることを期待いたします。

注)  
本稿で使用したSoundForge XP Studio 5.0はSoundForge Studio 6.0にバージョンアップされています(定価19,800円)。操作画面や操作方法、ネット購入先は下記サイトを参照ください。  
<http://homepage2.nifty.com/stereohall/>