

Bowers & Wilkins

Development of the DB1 Subwoofer



Bowers & Wilkins



背景

サブウーファーの主な用途は、ホームシアターで映画を鑑賞する時の低域効果音の再現ですが、メインのフロントスピーカーとサラウンドスピーカーの低音再生能力の補強にも使用されます。また、2チャンネルオーディオシステムで、メインスピーカーをコンパクトにする必要がある場合、低域再生能力を補強するという用途でも同じように有効ですが、それほど一般的ではありません。

映画での需要は広範囲にわたります。多くの映画は、現実をそのまま映し出すのではなくむしろ状況を誇張して描き、爆発や地震等のシチュエーションでは、サブウーファーに多大な堅牢性が求められます。しかし、音楽再生の場合には、マルチチャンネル・ホームシアターであるか、よりシンプルな2チャンネル設定であるかを問わず、さらに洗練された技術とコントロールが求められます。衝撃音を高レベルで表現することで、実際に本物の爆発音を耳にしたことがない大半の人の耳には印象的に響くものの、音楽のパフォーマンスでは単調になってしまうサブウーファーが多数市販されています。また、ダブルベースで演奏される音符のピッチを一つ漏らさず再現することができても、映画の効果音に求められる過酷な要求には対応できず、ひどい歪みが生じたり、最悪の場合には故障したりするサブウーファーもあります。課題はこの2つの両立です。Bowers & Wilkinsは音楽再生にルーツがありますが、それだけでなく当社製品は世界有数の映画スタジオでも採用されています。2つの要件を同時に満たせないと考えすることは、当社の考え方とは異なります。

超低域を大音量で再生させることが求められるスピーカーは、大型で場所を取りがちです。実際に、スピーカーがパッシブ方式の場合、エアボリュームは低域の拡張と効率に比例します。最近では、サブウーファーのほとんどがアクティブ方式となり、低音レスポンスの補正に電子イコライゼーションを用いることでキャビネットの小型化は可能です。しかし、キャビネットの小型化が進むほどレスポンスを補正するためのアンプのパワーがさらに必要となり、ドライブ・ユニットに高い耐入力性が求められます。そこで、サブウーファーをリスニングルーム内にどのように設置するかについては、最も適切だと思われるところで折り合いを付ける必要があります。スピーカーをリスニングルームの構造自体に内蔵して見えないようにする場合は、スピーカーを極端に小型化する必要も見た目を気にする必要もなく、黒い塗装だけでもかまいません。しかし部屋にそのまま設置する場合は、スピーカーは目に見えるため、デザインやサイズ、仕上げが問題になります。

Bowers & Wilkinsではカスタムインストール用のスピーカーを製造していますが、当社で設計されるサブウーファーの大半は、当社の主カスピーカーシリーズからヒントを得て設計されてきました。例えば、Nautilus 800シリーズとそれに続く800シリーズのサブウーファーは、キャビネットが木製の曲面パネルで、シリーズ同様に各カラーの木目突き板を採用していました。それとは対照的に、PV1では球状に近い形とアルミニウムのハウジングを採用するという大胆な設計を取り入れています。このいずれもサウンドの機械的・電気的原理に則ったものです。詳しい説明はこれまでの解説書をご覧ください。

DB1の開発は、こうした複雑かつ様々な要求を背景に始められました。



目的 DB1の開発は、800 Series Diamondの開発と並行して進められましたが、シリーズ専用のサブウーファーという位置づけを継承しないという決定が行われたため、旧モデルに代わる新シリーズ用としてだけでなく、シリーズの垣根を越えてもっと広く一般的に使用できるようにしなければなりません。

製品概要では以下の項目が指定されました。

- 揺れと共振によるキャビネットからの不要音放射を最小とするため、機構的に背中合わせにした2つのドライブ・ユニットによるバランスデザインとすること。
- ディストーションを生じることなく要求レベルを達成するため300mm口径のロングストロークドライブ・ユニットとすること。
- キャビネットは主カスプーカシリーズとマッチするよう、木製構造とすること。
- キャビネットのサイズはドライブ・ユニットの収容に必要な大きさより若干上回る範囲にとどめること。
- 振動を最小限にするためにキャビネットを補強すること。ただし、内部容積の大半をドライブ・ユニットが占めるため、従来のMatrix構造による補強はできない。
- 要求レベルを満たすため1kWのアンプ出力を確保する。
- 各種のホームオートメーションシステムとの対応性。
- ハイレベルな対応と調整機能を実現するデジタル信号処理を採用すること。
- 不十分な室内音響特性の補正。
- パラメータ調整用の小さなOLED(有機EL)ディスプレイを使用したソフトウェア コントロールのメニュー構造。
- バランスとアンバランスの両方に対応した入力端子。
- 独立した、LFE入力とステレオ入力。

バランスの取れたデザイン

圧力容器の概念に基づいた過去の実験では、2つの同じドライブ・ユニットを背中合わせに設置して反力のバランスをとると、エンクロージャの振動によるカラレーションが大幅に減少することがはっきりと分かり、PV1サブウーファーとして結実しました。

正確な低音を出すのに不可欠な要素のひとつがサブウーファーの土台を安定させることです。ここで話の焦点となっている低域の音響出力を一つのドライブ・ユニットが出す場合には、キャビネットの揺れは、ほぼ避けがたいものであり、その揺れによって、知覚される低音の正確さと低音音符の開始と終了を定義するハーモニクスが損なわれます。以前より、スピーカーを床に設置する際にはスパイクを使用するのが常識とされてきました。床にカーペットが敷かれていて、スパイクをカーペットの上から下の固い面まで突き刺すことができる場合にはなおさらでした。この方法はある程度功を奏しますが、板張りの吊り床の場合には床自体が振動する可能性があります。バランスデザインのサブウーファーであれば、振動をおさえるだけでなく、メカニカルグラウンドを損なわずに床から分離する効果が得られます。

2つのドライブ・ユニットを対称に配置する場合の2つ目の利点は、内部のエアボリュームが折半されているということです。ドライブ・ユニットの間にパーテーションを置いても内部の圧力分布は変わりません。つまり、同じボリュームの負荷がひとつのドライブ・ユニットにかかる場合と比較して、エンクロージャ内の共振が、距離が短い分、高い周波数から始まり、サブウーファーのストップバンド(動作しない周波数領域)に多く分布します。

キャビネット

PV1のような圧力容器設計であれば、曲線を描くエンクロージャに薄い壁構造を採用することができ、内部の補強がなくても屈曲の動きに対する抵抗性は損なわれません。なぜならば、壁面に加わる力を均等に分散できるからです。DB1を長方形の木製構造にしなければならないということは、すなわち、カラレーションを許容できるレベルまで下げるには壁に十分な厚さがなければならず、内部に補強構造を加えなければならないことを意味します。

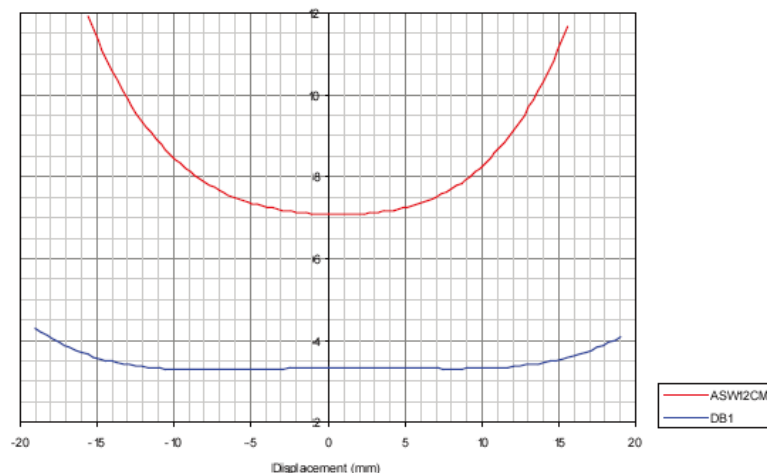
そこで、エンクロージャの壁構造には厚さ25mm MDFを採用し、18mmの補強板と相まってきわめて低い振動レベルを実現しています。

ドライブ・ユニット

初期のプロトタイプは、当社の既存サブウーファアの250mm(10インチ)と300mm(12インチ)のドライブ・ユニットを使用していましたが、どちらも2つのユニットを背中合わせにする配置でした。この2つのユニットを平行でドライブしていたのが「カスタムシアター・シリーズ」の改良型SA1000アンプです。しかし、1000ワットのパワーが意のままになり、12インチのドライバー2つをフルに使っても、私たちの目指している出力音圧レベルに届いていないというもどかしさがありました。そこで、まずアンプのパワーアップから着手し、SA1000を1500Wにパワーアップし各ドライバーごとに一台ずつ使用するよう(すなわち合計3kWのステレオアンプ)に換えましたが、それによって音響出力が上がっている様子はありませんでした。

その元凶は、ドライブ・ユニットに使われているサスペンションの設計にあることが判明しました。長年、リアサスペンション(通称スパイダーまたはダンパー)はマグネットのトッププレートに触れる手前のぎりぎりのところで突っ張って止まるように設計するのが「良い設計」と考えられてきました。実際に、ダンパーが力まかせにトッププレートとぶつかる時に聞こえる鋭い異常音が破損につながることはめったにありませんが、この音は普通の人には大変耳障りです。この設計方法はパッシブ方式のバスレフ型スピーカーシステムには大いに役立ちますが、大半をサスペンションが突っ張る領域でドライバーとエンクロージャを一体としてに使用する場合、アンプパワーはすべてダンパーの硬さの克服に浪費されていました。

そこで、ダンパーには進化したロール形状を採用しました。この場合、ダンパーの幅全体で、力/変位のグラフが直線に近づくようにコルゲーションの大きさを変えています。また、直径100mmではなく75mmのボイスコイルを使うと効果があること、つまりダンパーの幅が広いほど、ダンパーの変位の直線性が増すことが判明しました。ダンパーがトッププレートにぶつからないように保護することについては、小さなキャビネットに閉じ込められた空気のスチフネス(圧力)を高めること、およびアンプの伝達特性で対処しています。



低い歪で必要な音圧レベルを実現するには±15mmのリニアストロークが必要であると計算されたため、駆動系は巻き幅40mmのボイスコイルと厚さ12mmのトッププレートを用いて設計されました。また、トッププレートの上下の磁束分布をできる限り対称に保つためT型のセンターポールが採用されました。ストロークの限界は±25mmにおよびます。

次は出力です。1kWのアンプが双方のユニットを平行に駆動し、私たちの目指している出力レベルに近づき始めたものの、ドライブ・ユニットの耐久性の不足が明らかになりました。ボイスコイルとロールエッジそれぞれの接着部でコーン(ペーパー/ケブラー® コンポジット・コーン)が層状に剥離することが判明し、また、リード線に疲労が生じて断線したのです。

そこでまずコーンをロハセル®に換えました。実際にはコアがロハセル®で、表面にカーボンファイバーを織ったものを貼り合わせたサンドイッチ構造だったのですが、それでも表面がコアから剥離しました。そこで、解決策として、プラスチック製の補強リングを2つ加えました。ひとつはコーンの内側にあってボイスコイル、ダンパー、コーンネック、ダストキャップが取り付けられ、コーンの外側の縁にあるもう一つのリングにはロールエッジが取り付けられています。

リード線が断線する問題は、コンピュータ・ディスクドライブで一般的に行われている、マルチコアのリボンケーブルに変更するという方法で解決しました。マルチコアだと、コアの1つが切れても残りのバックアップの

コアに電流が流れるので、疲労に対する抵抗力があることが分かりました。

最後のパワー試験では、世に出回っている中で最もサブウーファーの負担の大きい映画を、24台のサブウーファーを用いて1か月フルパワーで絶え間なく流し、見事目標をクリアしました。

エレクトロニクス

エレクトロニクス部分は以下の5つに大別することができます。

入力ボード

すべてのコネクタはアナログ入力ボードにマウントされ、相互影響を排除するためバッファリングされます。

マザーボード

もう一つのアナログボードで、入力の選択とソース機器の出力レベルに対する感度の調整を行います。

デジタル信号処理(DSP)ボード

アナログ/デジタル(A/D)変換、デジタル/アナログ(D/A)変換を含め、デジタル処理はすべてこのボードで行われます。

DSPは、アナログ・デバイセズ のシグマ・チップを中心に構築されています。これは、高性能24ビット・コーデックとそれを補足する厳選されたアナログコンポーネントから成る28/56ビット・デバイスで、アセンブラコードは最大限の汎用性と効率を得るために直接チップに書き込まれています。サンプル・ベースの処理モードで動作し、約50MIPSの処理能力、1024ワードのプログラムメモリ、2048ワードのデータメモリがあります。

クリップ検出機能が内蔵されているチップにはバイカッドが21あり、次のように使われます。
キャビネットに装着されたドライバーの周波数レスポンスを補正するメインイコライゼーション用(4)
映画に対して、よりドラマチックなイコライゼーション(EQ)を行うインパクト・オーバーレイ用(2)
ローパスフィルタと位相補正用(4)
5バンドのグラフィックイコライザ(ユーザーEQ)用(5)
室内音響補正用(4)
ダイナミックEQ用(2)

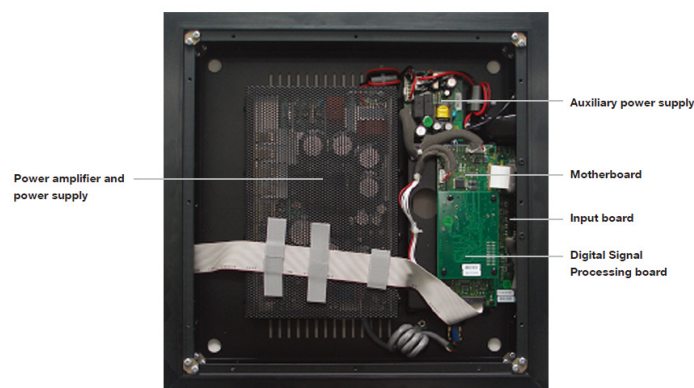
アトメルArm7ベースのマイクロ・コントローラーが、GUIを動かし、ホームオートメーションに対応してDSPをドライブします。

パワーアンプと電源ユニット

アースされたシールドケージに入っており、使用モジュールは、1000Wスイッチングアンプと電源ユニットを組み合わせたアイスパワーASP1000で、これはSA1000カスタムアンプにも使われているものです。

補助電源ユニット

補助電源ユニットは小信号回路すべてに電源を供給します。スタンバイモードでも有効な唯一の電源ユニットであり、スタンバイモード時の消費電力は現行法に則り1Wを下回ります。



ファームウェア

ファームウェアは、グラフィカル・ユーザーインターフェース(GUI)を制御するセクションと、オーディオパスに対するデジタル信号処理(DSP)を制御するセクションの2つに分けることができます。

ユーザー・インターフェース

DB1は、Bowers & Wilkinsの歴代サブウーファーのように多数のノブとスイッチはなく、設定パラメータを制御するメニューベースのインターフェイスがあります。インターフェイスは小さなOLED(有機EL)ディスプレイと上・下・左・右・中央の5つのボタンで構成されています。視野角が広いことからLCDタイプではなくOLED(有機EL)ディスプレイが選ばれました。

メニュー構造を設計している段階で、同じ目的を達成するのに多くの方法があること、そしてどのようなレイアウトでも気に入らない人が必ずいるということがすぐに明らかになりました。携帯電話を例にとると、各メーカーには独自のやり方があり、作りによって操作性は異なりますが、結局のところ、人は自分が慣れているものを使いたがるものなのです。そして、最終的に、類似の操作を論理的にまとめる方向の構造が採用されました。

通常操作では、ディスプレイのホームページには現在使われているプリセットと[Volume Trim(音量微調整)]レベルのみが表示されます。プリセットはNo.1~5が付けられていて、名前を付け加えることもできます。[Volume Trim]は個々のプログラムソースに対してサブウーファーレベルを微調整することを目的とした電圧ゲイン調整機能です。もしサブウーファーをスタンバイに切り換えて再びONにするとこのゲインは0dBにリセットされます。これらの2つのパラメータは左・右のボタンを使ってディスプレイページをサイクルさせて、また、関連ページのパラメータは上・下ボタンを使って変更ができます。当初、これら2つのパラメータは、音量は上・下ボタン、プリセットは左右で直接ホームページから変更するようになっていましたが、今後もっと複雑なデバイスにも応用できるようなメニュープラットフォームの作成を進め、全体をサイクルできる「ホット」ページというコンセプトが採用されました。こうして、必要に応じて後からページを足すことができるようになりました。

センターボタンを長押しすると設定ルーチンが開始、終了されます。設定の手順については、詳しく説明されている製品マニュアルをご覧ください。

デジタル信号処理

DB1のフィルターはすべて倍精度で処理していますので、ノイズフロアが増加することなくシグナルチェーン全体が最高解像度で処理されます。

ダイナミックEQの設計には先端の音響モデリング法が採用されており、ベース・アライメントをリアルタイムに変更し、出力レベルの増加に伴うドライブ・ユニットとエレクトロニクスへの過負荷を防ぐことができます。

ソフトウェア

サブウーファーのディスプレイは小さく、本体下の目立たない位置にあります。読みながら操作するのが難しい人もいることを想定し、当社ウェブサイトからダウンロードできるPCアプリケーションを用いてパラメータを設定する方法をご用意しました。このアプリケーション、SubApp™(サブウーファーアプリケーションの略称)には、DB1本体のGUIから実行できない2つの設定機能、すなわちプリセットのネーミング機能とルーム補正手順の実行機能が含まれています。

SubApp™のインターフェイスは3ページあります。1頁目の[Global Settings(グローバル設定)]は、アプリケーションが何であっても変わらず、主にハードウェアの互換性に関連するパラメータが記されています。2頁目は[Presets(プリセット)]です。5つのプリセットで用途別にシステムを調整することができます。例えば、音楽を聞く時、映画を鑑賞する時、ゲームをする時で設定を変えたい人もいるでしょう。また、用途は同じでも、人によって好みの設定が違う場合もあるでしょう。3頁目は[Room Compensation(室内音響補正)]の手順です。

設定をSubApp™で行ったか本体のGUIで行ったかを問わず、行った変更はすぐに反映されます。プリセットが5つあるため、様々なオプションをその場で比較することができます。また、室内音響補正イコライゼーションのINとOUTの切り換えもできます。

室内音響補正

初めに申し上げておきますが、これは部屋を補正することではありません。部屋での音響環境はどうしても変えられません。せいぜい改善効果がある程度です。また、補正の対象はサブウーファーだけであり、インストレーションされた他のスピーカーには反映されません。リスニングルームの音響を改善する最良の策が、トラップ、吸音材、反射板、その他これに相当するもの、あるいは何らかの有効なものを用いて部屋自体の響きを変更することであることに変わりはありません。しかし、当社は、どのような理由があってもそうしたものを使いたがらないユーザーが多いことを認識し、室内の煩わしい共振の発生が減るようにサブウーファーのレスポンスを変える手段を提供します。

室内の共振は加算共振と減算共振があります。加算共振は出力が何倍も拡大され個別の周波数から分離できない最も煩わしいものです。減算共振は信号の打ち消しによるものでレスポンスに大きなディップが出ます。耳はこうしたディップを間違っただけの音として知覚しますが、エネルギーの不足に伴う耳障りは、エネルギー過剰に伴う耳障りほど問題ではありません。

イコライゼーションは4つパラメトリック・フィルターで構成され、レスポンスのピークがある場合には出力を減らし、ディップがある時には出力を上げることができます。しかし、レスポンスのない周波数で出力を上げてほとんどパワーの無駄です。出力が反射波でキャンセルされる場合、スタートレベルはほとんど問題ではなく、結果は大して変わりません。こうした事情から、フィルターは4つの最も目立ったピークを下げるためにのみ使われます。

また、以下の2つの条件を盛り込むことも早くから決まっていました。

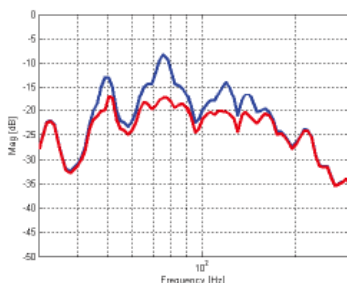
1. 最良のイコライゼーションを決める際にユーザーは関与しない。
2. 補正は複数のリスニングポジションに対応できるものでなければならない。

修正フィルターをユーザーが手動で調整できるようにすると間違っただけの判断が下される可能性が生まれます。たとえ共振の本質について説明しても、ユーザーにはレスポンス・ディップを埋めようとする傾向が常にあり、音響のブラックホールにどんどんエネルギーが注入されて過負荷につながる恐れがあります。また、複数のポジションから得られる一連の測定値をユーザーが分析するのはまず不可能です。

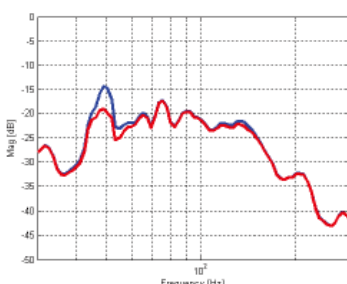
室内の共振は、聴く人のポジションによっても音源のポジションによっても変化します。そのため、聴く人のスペースをすべて正確に補正するような普遍的なイコライゼーションは不可能です。それどころか、あるポジションでは正確に補正ができたのに、別の場合では事態が悪化する危険が常にあります。

ここで採用している補正手順では、リスニングエリア内の8ポイントの測定値を使います。8ポイントのエリアが狭いほど、正確なレスポンスが可能で、プログラムはすべての測定値を分析し、共通点を抽出し、共通点のみを扱います。そのためリスニングエリアが広いほど、補正の程度は低くなります。

次に、同じ室内の同じポジションにある同じサブウーファーについて行った2組の測定値を紹介します。どちらの場合も、青は補正前のレスポンス、赤は補正後のレスポンスです。いずれも、8ポイントの測定値の空間平均値を示しています。



1つ目は、すべての測定を一つのリスニングポジションの周りで行ったものです。4つの大きなピークが下がり、全体的になだらかなレスポンスになっています。



2つ目は、測定範囲を広げて3人がけのソファと後ろにイスが2脚ある環境で測ったものです。50Hzのピークは全てのポジションに共通して下がりましたが、75Hzのピークだけが残っています。なぜならば、このピークは測定ポジション全体でバラツキが大きく共通の現象ではないからです。

結論

DB1は、幅広い音響環境、用途、ユーザーの好みに対応できる、極めて自由度の高いサブウーファーです。極めて低歪の大音量再生を実現でき、映画でも音楽でも高性能を発揮する一方で、生活空間の中で邪魔になるほど大きくはありません。

