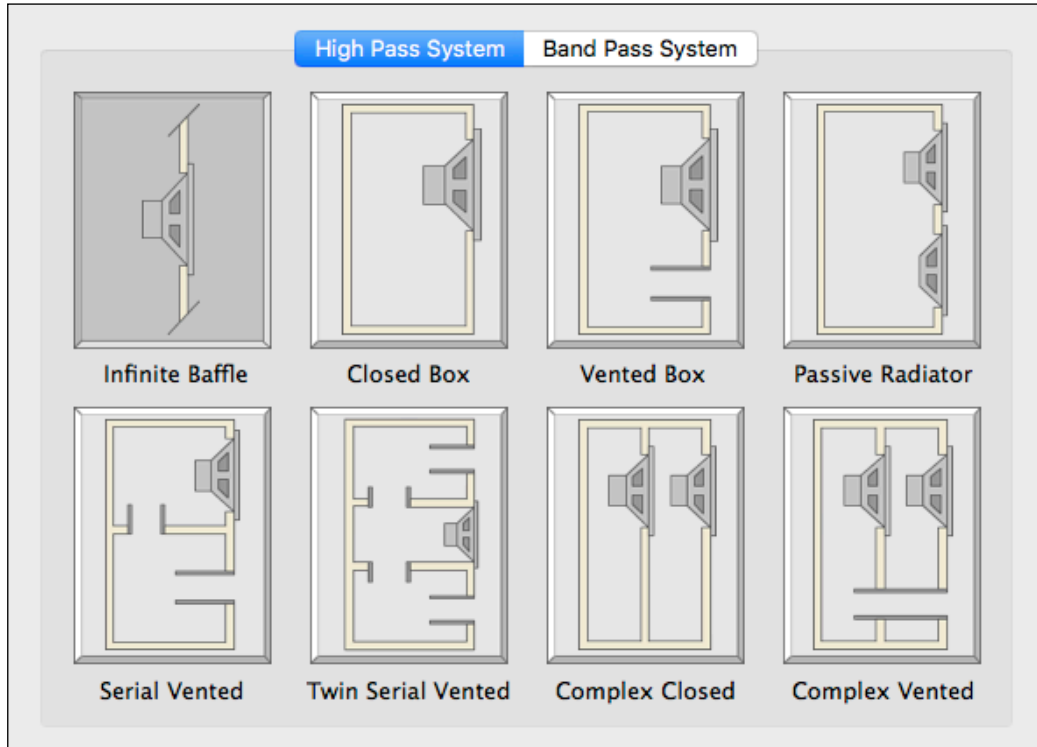
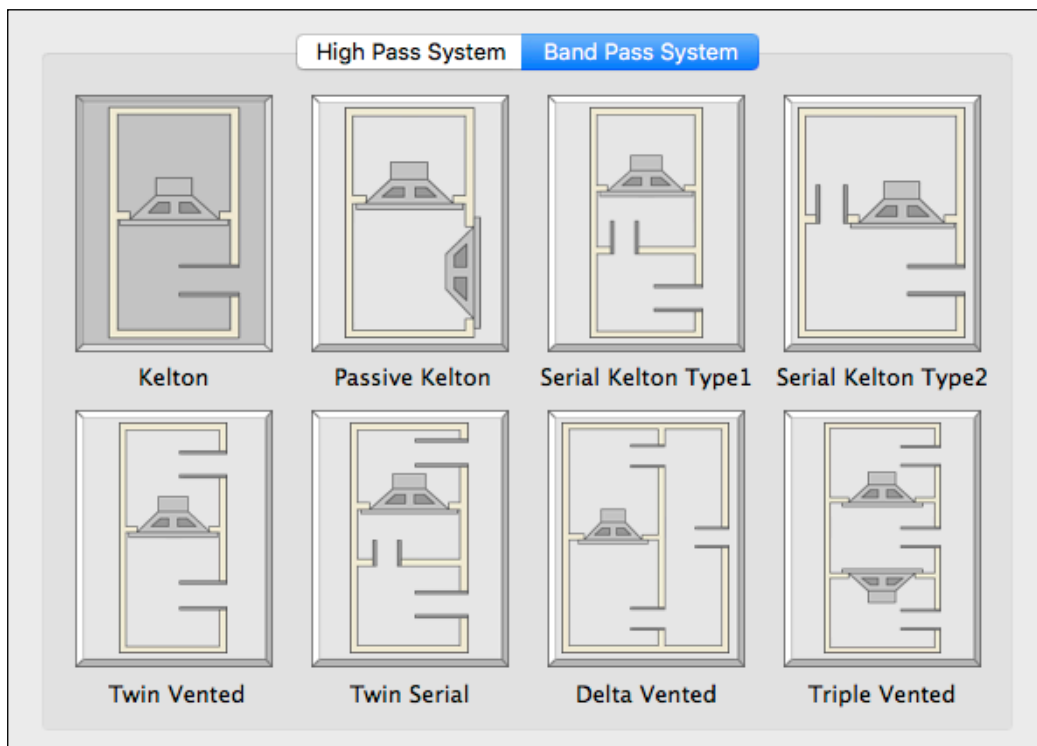


# BoxDesigner スピーカー方式の説明

Sonic Design Labo では、自作エンクロージャー派が出来るだけ多くかつ設計と製作が比較的容易な方式を厳選して搭載した。エンクロージャー設計アプリ「BoxDesigner」を提供しています。「BoxDesigner」は、以下の High Pass System 8種、Band Pass System 8種の計16種類のスピーカー方式の設計ができます。この冊子では、それぞれの方式について特徴・設計のポイントなどを記しています。



## High Pass System



## Band Pass System

「BoxDesigner」では、設計方法があまり難しくならず、しかし試行錯誤も楽しく行える様な設計メソッドを採用しています。

また、ベント（バスレフダクト）を持つ方式では、先ず周波数特性を決定してから各ベントを設計する手順を取っています。

本冊子では、一般的にバスレフシステムと呼ばれるものをベンテッドシステムとバスレフダクトをベントと呼びます。これは、ティール・スモールの論文での呼び方を尊重しての事ですが、便宜上両方の呼び方を使っているのですその都度、適切な解釈をお願いします。

## 目 次

### 1. High Pass System

- 1-1. Infinite Baffle System（無限大バッフルシステム）
- 1-2. Closed Box System（密閉ボックスシステム）
- 1-3. Vented Box System（バスレフレックスシステム）
- 1-4. Passive Radiator System（ドローンコーンシステム）
- 1-5. Serial Vented System（ダブルバスレフシステム）
- 1-6. Twin Serial Vented System（ツインダブルバスレフシステム）
- 1-7. Complex Closed System（複合密閉システム）
- 1-8. Complex Vented System（複合バスレフシステム）

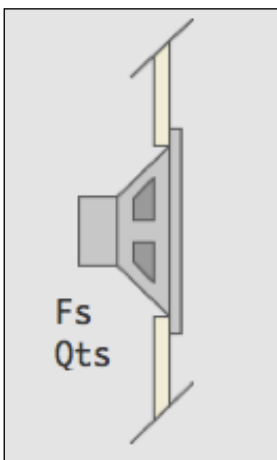
### 2. Band Pass System

- 2-1. Kelton System（ケルトンシステム）
- 2-2. Passive Kelton System（パッシブケルトンシステム）
- 2-3. Serial Kelton Type1 System（シリアルケルトンタイプ1）
- 2-4. Serial Kelton Type2 System（シリアルケルトンタイプ2）
- 2-5. Twin Vented System（ツインベンテッドシステム）
- 2-6. Twin Serial Band Pass System（ツインシリアルBPシステム）
- 2-7. Delta Vented System（デルタベンテッドシステム）
- 2-8. Triple Vented System（トリプルベンテッドシステム）

# 1. High Pass System

ハイパスシステムは、一般的なスピーカーユニット（SP）のコーンが外部から見える方式で高域側はそのSPの持つ高域特性が現れます。電子回路のフィルター理論に基づいて構築された、ティール・スモール理論では、電子回路のハイパスフィルターと等化な特性なのでそう呼ばれます。

## 1-1. Infinite Baffle System（無限大バッフルシステム）



無限大バッフルは、余り現実的な方式ではありませんが、そのSPの持つ本来的な特性を知る意味は、大きいと考え採用しています。T・SパラメーターFs、Qtsそのものの特性を見ることが出来ます。また、容積が無限大相当なのでVasは関係なくなります。各方式には、無限大バッフルとの比較モードが設けてあります。

（View Menu → Comparison IB）

密閉ボックスでは、SPのVasの5倍以上の容積の時、ほぼ無限大バッフルの特性になります。

ただ、20cmのユニットでVas = 50 Liter とすると 250 Liter の容積は、かなり非現実的な値と言えるでしょう。

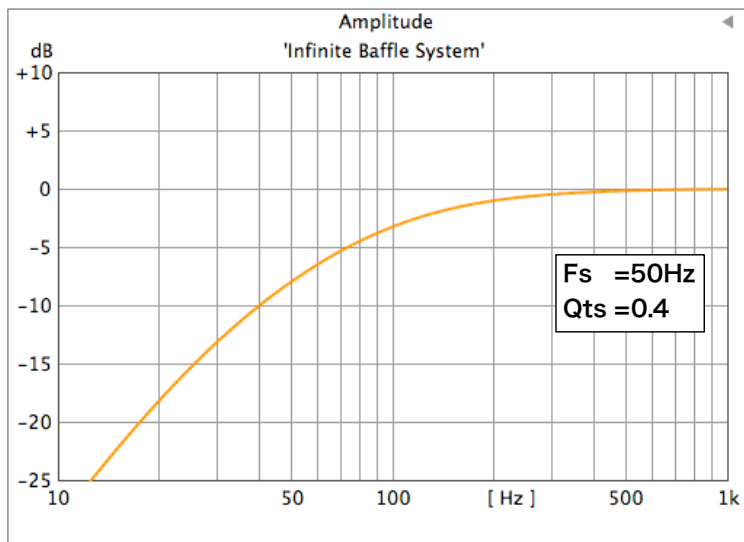


Fig1 Infinite Baffle 特性例

海外ユニットメーカーの多くは、スペックシートに載っている周波数特性の測定に非常に大きなバッフル（仕切られた部屋の仕切）に取り付けて行う事が多い様です。これは、ティール・スモール理論をベースにする設計では、都合の良い特性であると言えます。また、古くから使用されている測定規格にIEC、JIS規格の箱がありその容積は、約600 Literで、これで測定した低域特性は、小口径であれば無限大バッフルに近いと考えられます。

## 1-2. Closed Box System (密閉ボックスシステム)

近頃では、メーカー製や自作では単純かつ低域再生ができないなどで作るモチベーションが少ないせいかあまり見かけませんが、

[Linkwitz Transform](#) という密閉方式にアナログまたデジタルフィルターで低域ブーストしベンテッド方式以上の低域再生をする方法が提案されるなど見直されつつある方式です。

-12dB/oct でSPとしては最も少ない次数で低域がロールオフしベンテッドに比べ低域での位相回転、即ち群遅延が少なく上記を併用することにより原音再生（原音とはメディアに入っている波形の意味）により近づけられる可能性があります。

設計のポイントは、 $Q_{tc}$ （密閉箱のトータルQ）をどれ位に設定する

かで、フィルター理論では、

$Q=0.707=1/\sqrt{2}$  の時、最適平坦

（最も平坦な特性：バターワース

特性）とされており箱の容積  $V_b$

に依存し  $F_c$ （共振周波数）も一意的に決まります。ただし、 $Q_{ts}$ （ユ

ニットのトータルQ）が0.707以下

の場合では、ユニットを箱に入れ

る事により  $Q_{tc}$  は増加するので

（容積が少ないほど  $Q_{tc}$  は大きくなり無限大バツフルの時  $Q_{tc} =$

$Q_{ts}$ ）容積を大きくしても  $Q_{tc}$  は

$Q_{ts}$  以下にする事は出来ません。

$Q_{tc}$  により低域のスロープ（肩特

性）が決まるので重要な要素で  $Q_{tc}=1$  とかにし敢えてス

ロープに盛り上がりを受け低域の量感を増す方法も考えられ

れます。

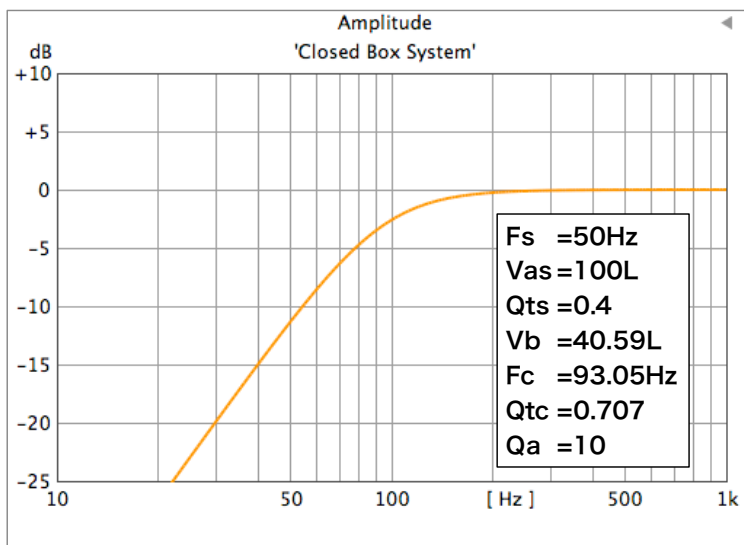
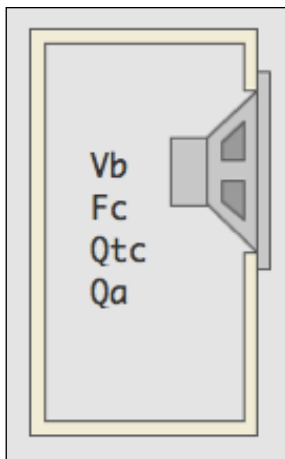


Fig2 Closed Box 特性例

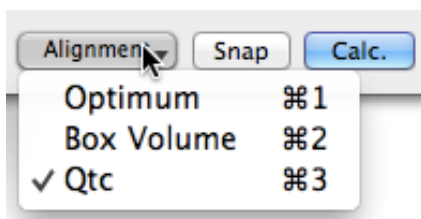


Fig3 Closed Box Alignment

Alignment には、

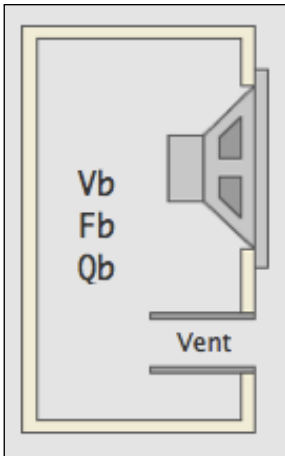
Optimum :  $Q_{tc}$  を 0.707  $Q_{ts}$  がそれ以上のユニットでは、現実的な容量で平坦特性に近づける

Box Volume : 箱容積 (Liter) を指定する

$Q_{tc}$  :  $Q_{tc}$  を指定する

以上3つを設けています。

### 1-3. Vented Box System (バスフレックスシステム)



今更ですが、内容積  $V_b$  とベントの気柱による ヘルムホルツ 共振  $F_b$  により増強された低域がベントより放射されコーンからの放射との合成音が再生音となる方式です。製作が簡単な割に上手く設計すれば低音も良く再生されるのでメーカー・自作派に関わらず最も人気の方式です。ベントからの放射はコーンの裏側の動作なので逆位相になり合成特性は、 $360^\circ$  位相回転し（密閉は  $180^\circ$ ） $-24\text{dB/oct}$  でロールオフし必然群遅延も多くなります。デジタル FIR フィルタを使用した群遅延補正などが今時のトレンドでもあります。BoxDesigner での設計方法は、まず、 $V_b$ （箱容積 Liter） $F_b$ （容積とベントでの共振周波数 Hz）と  $Q_b$ （箱の空気漏れなどによる

ロス成分による  $Q$ ：通常 7）の三つのパラメーターを好みの特性になるよう決定した後 Vent Menu → Vent Design Window でベントの各寸法・個数などの設計をしこれで一応設計工程は終了です。この設計手順は BoxDesigner 全般を通じ同じですのでお忘れ無いうよう。ベントの設計では、どんなパイプを使用するか迷うところですが、当サイト [Archives](#) ページに “塩化ビニールパイプ・紙管・ボイド管 規格” の pdf がダウンロードできるようにしてあるので参考になると思います。何れもホームセンターやハンズなどで入手できる物です。

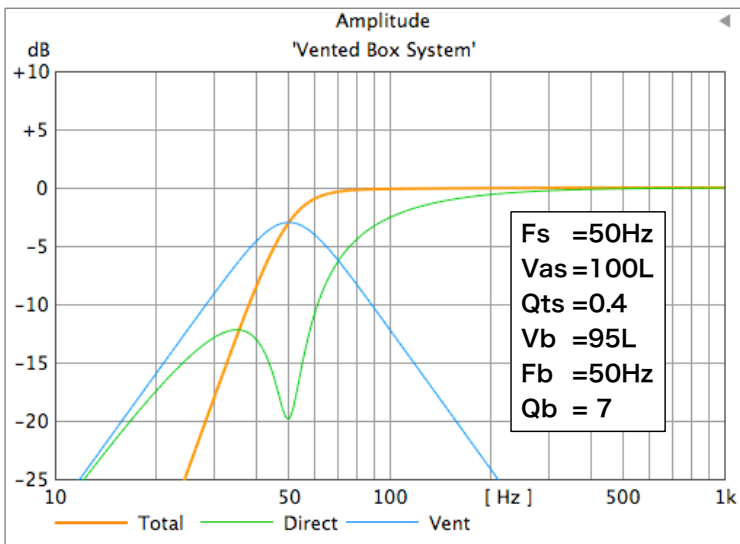


Fig4 Vented Box 特性例 Optimum

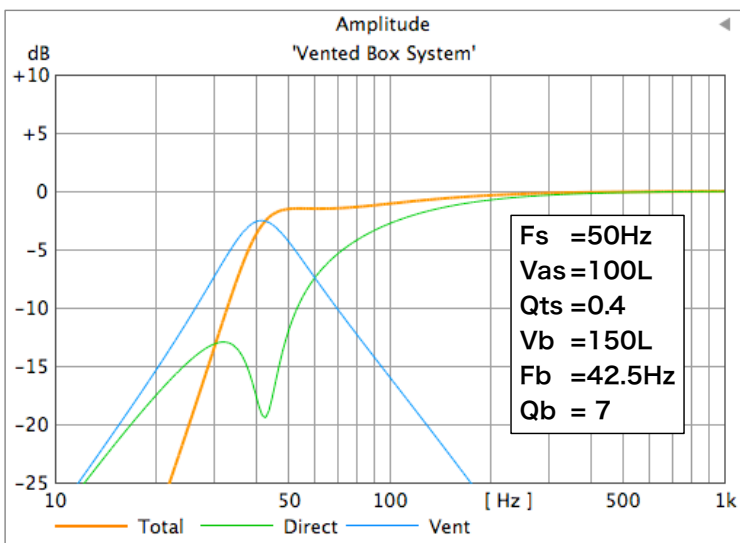


Fig5 Vented Box 特性例 Extend

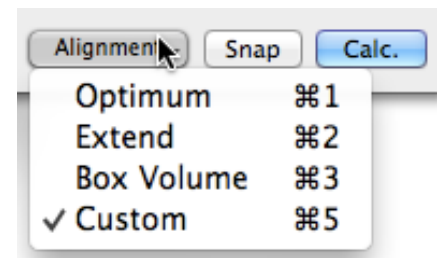


Fig6 Vented Box Alignment

Alignment には、

- Optimum : 最適平坦、 $Q_{ts}=0.4$  で4次のバターワース特性 (Fig4)
- Extend : 低域を伸張する設定、 $V_b$  を大きく  $F_b$  を低く設定 (Fig5)
- Box Volume : 箱容積を入力し最適な  $F_b$  を計算する
- Custom : カスタムモード (自由数値入力"編集"モード)

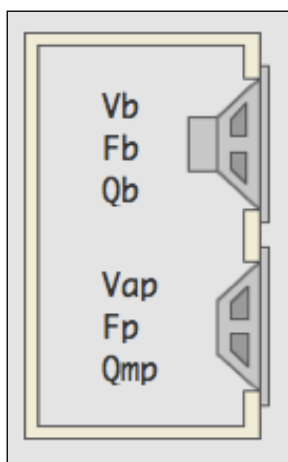
の4つを設けています。

因みに、どの方式でも「 $\#+5$ 」Key に Custom のショートカットを設定しています。  
なお、カスタムモードで「Calc.」ボタンをクリックするとそれ以前に行ったベントの設計が初期化されますので、特性がある程度決まってからベント設計に移行するのをお勧めします。これは、他のベントを持つシステムでも同様です。

更に詳しい設計方法は、別紙 [ベンテッド・システムの設計方法](#) をご覧ください。

**Top**

## 1-4. Passive Radiator System (ドローンコーンシステム)



ベンテッド方式のベント (ダクト) の気柱の代わりにSPからボイスコイルを取り外したパッシブラジエータ (ドローンコーン) を使用する方式でベンテッドと動作原理は、ほぼ同じですがパッシブラジエータ自体の共振周波数でディップが生ずるなど特性的には若干の違いがあります。メーカー製にはよくありますが自作記事では、あまり見かけない方式です。対応した設計ソフトが少なく設計も難しく、かつ、パッシブラジエータ自体の製品も少ないからようです。ベンテッドはベントから箱内部の背面音が放射されますが、そういう事が無くクリアな再生音が期待できます。近年パッシブラジエータの入手もしやすくなり自作も増えると思われま

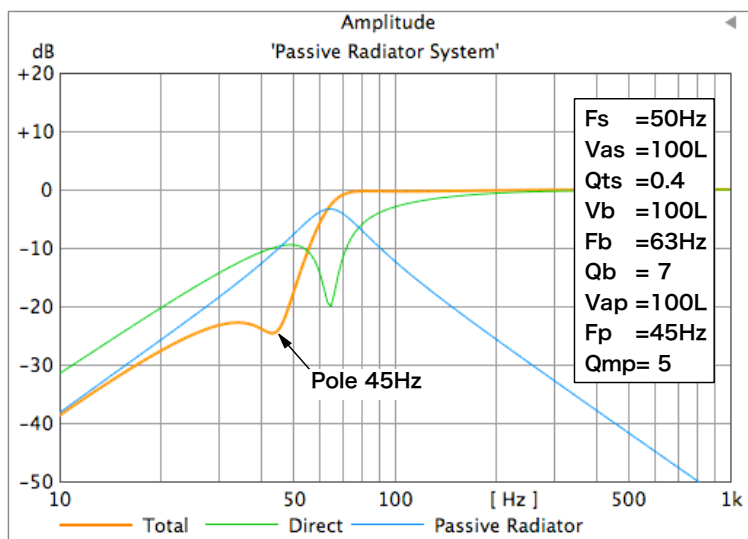


Fig7 Passive Radiator の特性例 1 Type1

BoxDesigner では、この方式を高いレベルでサポートしていますので設計・製作の助けになると思います。

Download ページの“Speaker Data Folder”には、Dayton、Peerless、Seas などの現在入手可能な Passive Radiator (以後 PR) のデータを入れてあるので活用して下さい。

Passive Radiator System の設計方法は、中々一筋縄では行かない難しさがありますが、第一に使用するSPユニットに適合するPRユニットを見つけるのに難儀する

事でしょうか。BoxDesigner では、デフォルト値で最適  $V_{ap}$  (PR の音響容積) と  $F_p$  (PR 自体の共振周波数) を計算しますが、その値に適合する PR ユニットが少なく適合範囲もシビアで近い値の PR を入れてもシックリくる物に出会えませんので、片っ端から



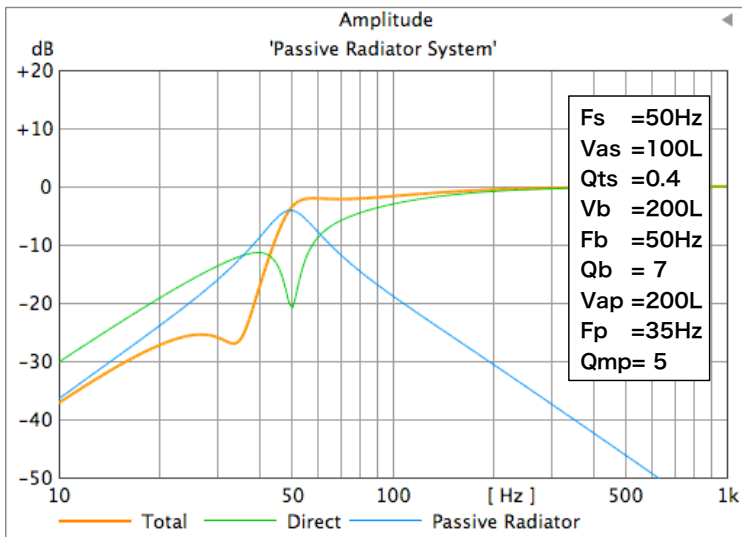


Fig8 Passive Radiator の特性例 2 Type2

試して見るのが一番の方法ではないかと思われます。第二に PR ユニットの決めると変更出来るパラメーターが Vb (箱容積) と PR のユニット個数しかなく自由度が少ない点も設計を難しくする要因です。試しに PR の個数を 2 個にすると意外に合ったりしますが、コストや大きさ面での制約がなければの話になります。上記の如く Fp でディップ (ポール、極) がありその影響で思ったほど低域が伸びないのに少しガッカリするかも知れません。

Passive Radiator の設計は、先ず、BoxDesigner で希望の S P ユニットの PR System を選択し、次に PassiveRadiatorDB で PR の Icon ファイルを起ち上げ、Vap と Fp の近い値の PR を選択し右上の「Send」ボタンをクリックします。すると BoxDesigner

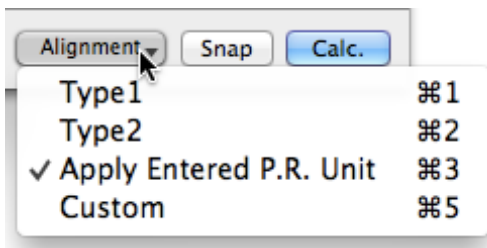


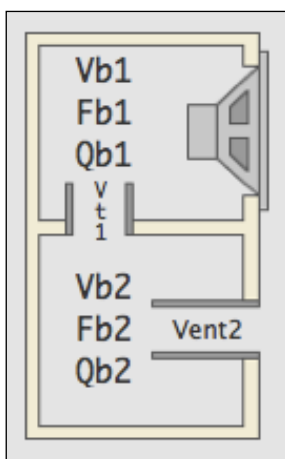
Fig9 PR System Alignment

側で Passive Radiator Data Enter Window が現れますので「Apply」ボタンをクリックしデータをインポートします。BoxDesigner が “Apply Entered P.R Unit” を自動選択して適応させます。後は、Vb か PR の個数を変更して特性を見、ダメなら同じ繰り返しをします。Alignment は、Fig9 の如くです。

当サイト「[DOWNLOAD](#)」ページに掲載の「PR\_Calculator.app」は、希望する Fp に対する追加マス (質量 g) の計算出来るので利用下さい。

**Top**

### 1-5. Serial Vented System (ダブルバスレフシステム)



世間一般では、ダブルバスレフシステムと呼ばれていますが、余り脳がないと思い独自に「Serial Vented System」と名付けています。他の方式も通り名は使わず独自名を付けています。あしからず左図のようなベンテッドの中にもう一つベントを付けた構造で、メーカー製には、余り見掛けませんが自作派には人気のある方式のようで、FOSTEX からキットが出ているようです。長岡鉄男氏の解析が有名で自作派は、これに基づいている方が多いようです。ただ、長岡理論は経験と実験がベースになっており純粋理論的根拠が乏しい印象を受けます。BoxDesigner では、T・S 理論に基づいた等価回路から計算式を作っていますので理論的な正しさには自信を持っています。

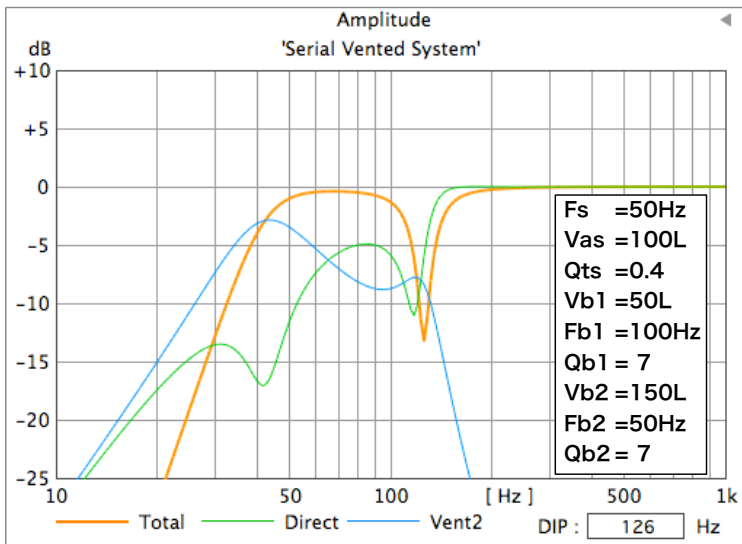


Fig10 Serial Vented の特性例 1 Type1

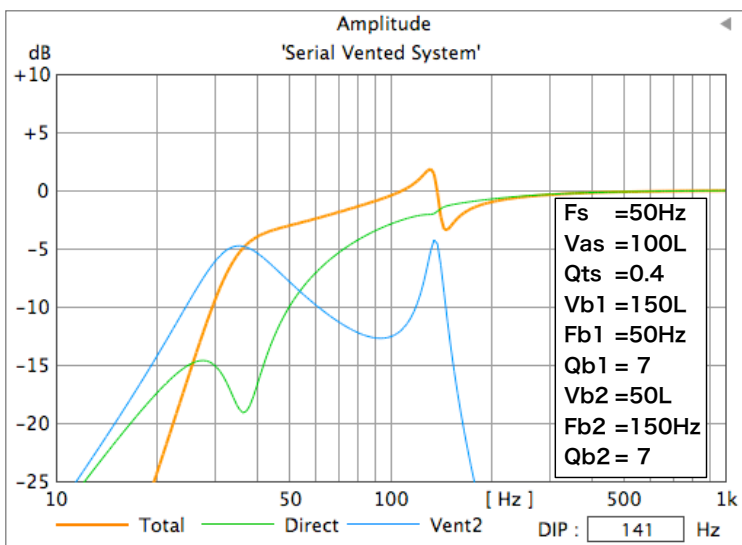


Fig11 Serial Vented の特性例 2 Type3

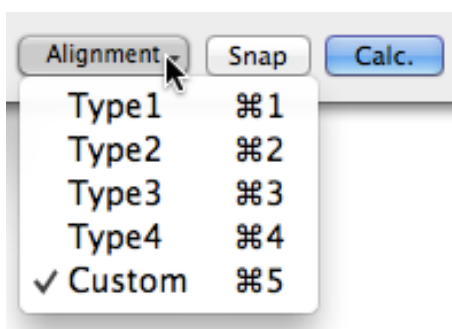


Fig12 Serial Vented Alignment

Serial Vented の欠点は、中・低域にディップが生じる事と2つの容積の合計は、ベンテッド方式と比べかなり大きくなる事です。

Vent1 の共振周波数を高くすればディップ点も高くなり小さくできますが動作が単なるベンテッド方式に近づき意味が無くなりますし高い周波数に同調するベントの面積が大きくなりすぎ現実から乖離してしまいます。実現可能な範囲のボックスだとディップを回避するのが難しくなります。

Alignment には、Type1～Type4 があり中には、Fig11 のような特性もありますがフラットな特性にするのは難しいようです。ただ、Fig10 のような急峻なディップは聴感上余り気になりませんので、小口径のユニットで出来るだけ低域再生を目指したい人には、向いている方式と言えるのではと思います。



## 1-6. Twin Serial Vented System (ツインダブルバスレフシステム)

ダブルバスレフをツインにした構造なのでこの名称にしました。動作は、相当複雑で単純にダブルバスレフを2個重ねた物と考えるのは間違いで4つのベントによる共振が複雑に影響し合い安易な設定では、幾つものピーク・ディップが生じます。筆者も動作原理を十分に理解出来ていないのが実情で、一見上下2つの容積とチューニングを同じにすれば単純なダブルバスレフと同じになるように思いますが、そうはならず、ひどいピークが生じたりします。

実は、この方式のアイデアは「[多自由度バスレフ研究所](#)」のMCAP-CR型から拝借しておりオリジナルは、もっと複雑な構造をしていてこれは、MCAP-CR型の最もシンプルな形状ではないかと思われ

ます。MCAP-CR型では、2個のVent1が違う寸法になっていますが、本Twin Serialでは、複雑化を避けるため同じ寸法にしています。私の今までの研究では1つの容積はベントを複数取り付けても1つの周波数で共振するという結論に基づいているのですが、第二・第三の容積とベントが繋がった場合どうなるかは、更なる研究課題となります。設計手段としてVb1とVent1 x 2の共振を基本にしVb2とVent2、Vb3とVent3の共振は別物として考えます。実際にはお互いの相互作用で複雑化しますが、便宜上別々に考えざるを得ない訳です。

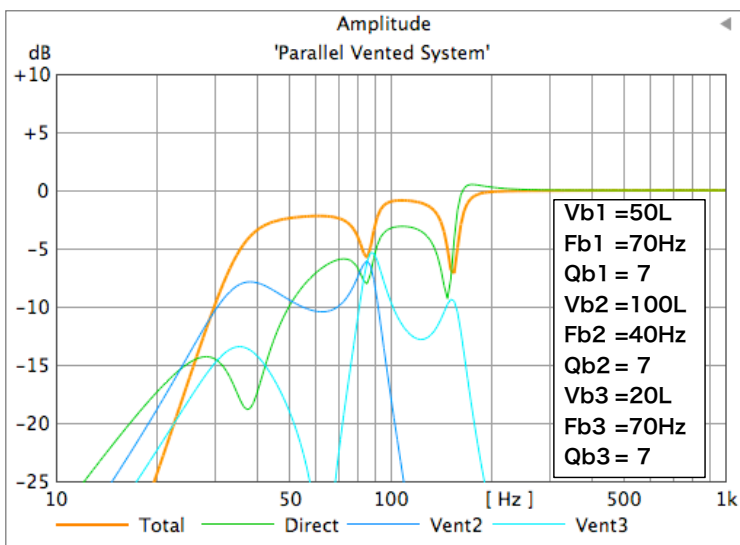
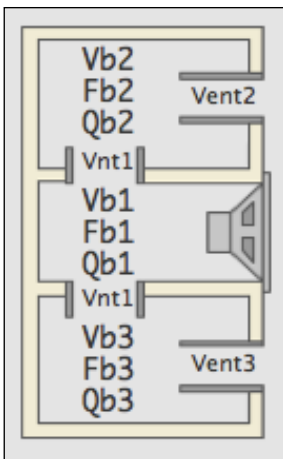


Fig13 Twin Serial Vented の特性例 1 Type1

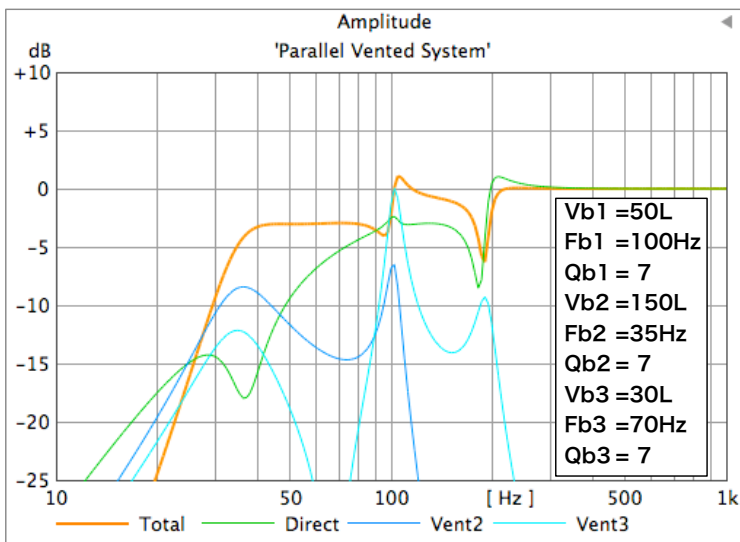


Fig14 Twin Serial Vented の特性例 2 Type2

行錯誤で新たな特性を創造してみるのも面白いでしょう、今の処、理論的に平坦な特性を計算するアルゴリズムが無いのでユーザーのチャレンジ精神に期待します。

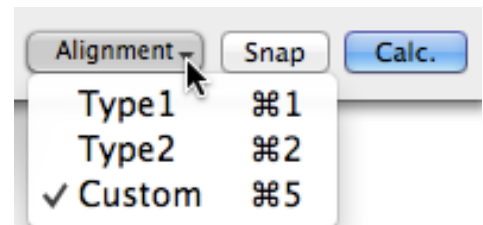
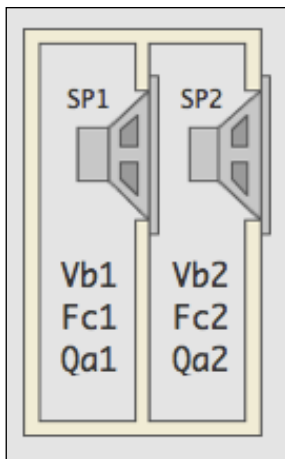


Fig15 Twin Serial Vented Alignment

Alignment は、Type1、Type2 の2つを用意してありますので、これを元にオリジナル化するか試

## 1-7. Complex Closed System (複合密閉システム)



密閉ボックスの裏側にもう1つの密閉ボックスを設け前面のSPの低域での振幅の容積による制限を少なくし低域再生を伸ばそうとする方式です。ざっとですが -6dB 70Hz の密閉ボックスに比べ同じ合計容積で 60Hz 位に低くなります。SPを2個使ってこの程度の改善では、製作する意味は余り感じないでしょう。

今の処、前後のSPを同じユニットに設定するしか出来ませんが、後側のユニットを大きな口径にすれば更なる改善が望めると思いますが、しかし、最大前面SPの無限大バッフル特性までになります。この方式は、オルソンの音響工学（日本語版1959年）に「複合型直接放射スピーカー方式」という名称で載っています。

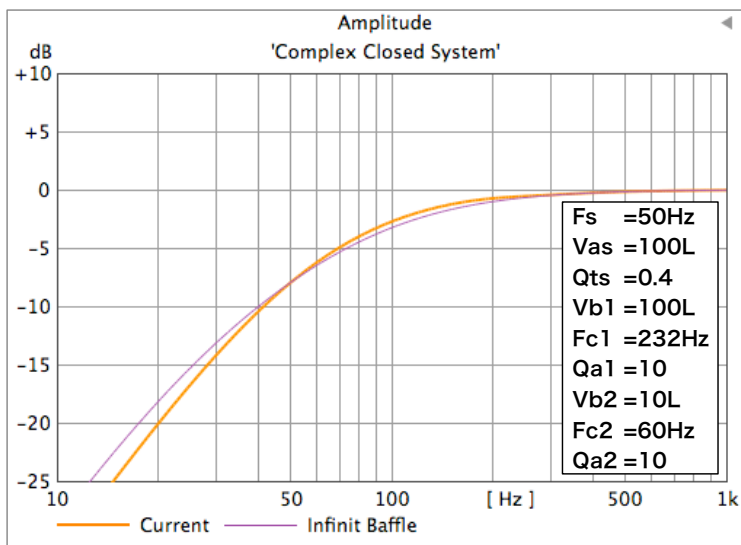


Fig16 Complex Closed Infinite Baffle との比較

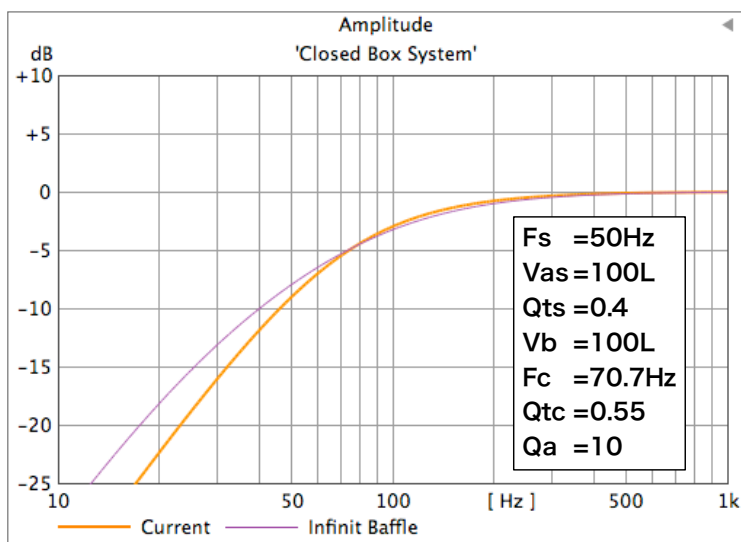


Fig17 Closed Box 100L の Infinite Baffle との比較

50~60年前の雑誌にこのような製品が載っていたような記憶がありますが、現在は、ほぼ見掛けませんので、製品化するメリットが余り無いということでしょうか。Fig16は、後側の容積Vb1をVasと同じ大きさにした時の無限大バッフルとの比較ですが、密閉ボックスで容積をVasと同じにするよりは、無限大バッフルに近づいています。Fig17参照

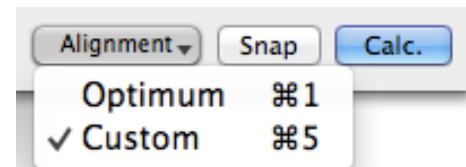


Fig18 Complex Closed Alignment

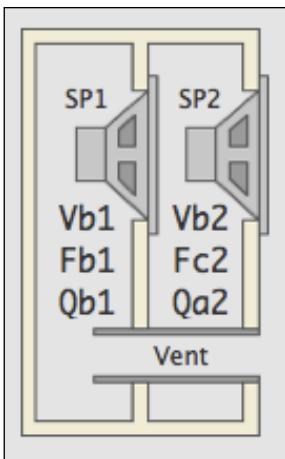
蔵書を調べた処、1992年の別冊ラジオの製作”Hi Fi スピーカーへの招待”に「アクティブ・バックプレッシャー・コントロール」

(ABC SP) という名称で製作記事を見つけました。低音は出ないが端正な音質との評価です。

擬似的に無限大バッフルの特性を得たいという向きには、適していると思います。

前後2個のSPは並列接続が基本です。

## 1-8. Complex Vented System (複合バスレフシステム)



前出の Complex Closed の後側の容積にベントを取り付け バスレフ型にした方式で、同じく前出 ABC SP の記事でも言及されていましたが、製作記事は有りませんでした。珍しい方式なので意外と製作する価値があるのかも知れません。Fig19 に Optimum 特性を Fig20 に同じ合計容積の Vented の特性を示しますが、本方式の方が少ない容積で低域が伸びているのが確認出来ます。知人が FOSTEX の 10cm ユニット (FF105WK) で作ったのですが、合計 5 Liter 程の容積でそこそこの低音再生をしていました。後側の SP はバスレフ動作を前側の SP は密閉動作を分担しているので、歪に対して有利ではないかと思われます。

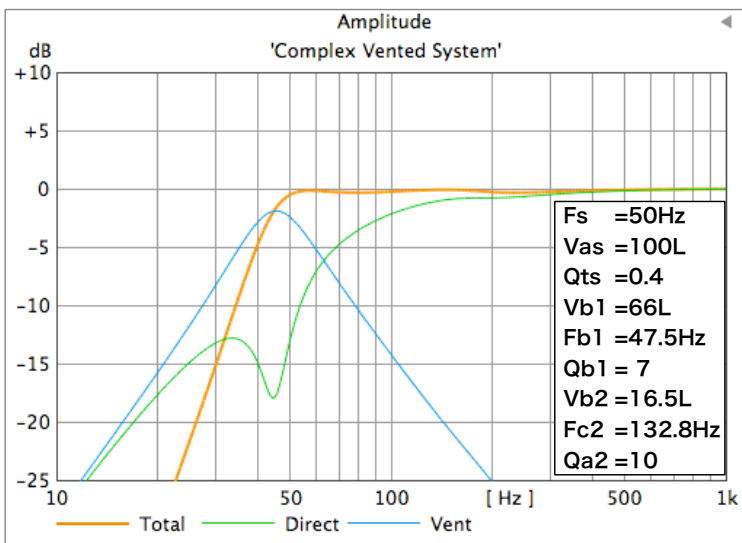


Fig19 Complex Vented 特性例 Optimum

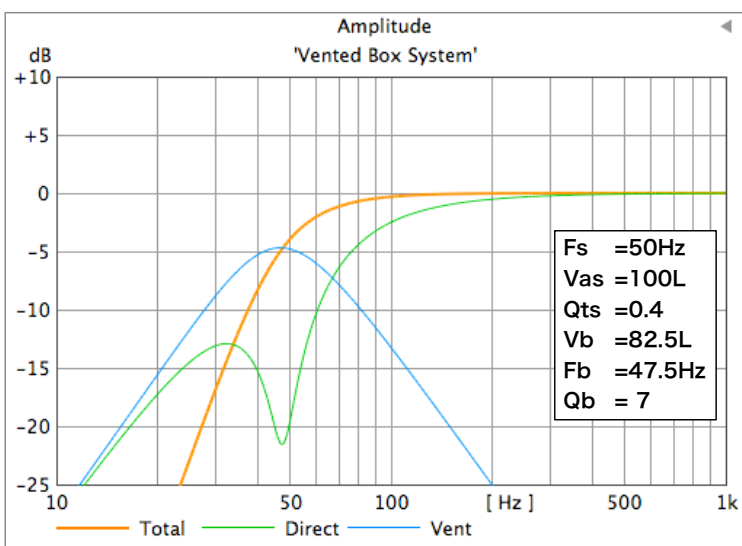


Fig20 Vented での同じ Vb・Fb の特性

現在は、Complex Closed と同じく SP1 と SP2 は同じユニットしか設定出来ませんが後側の口径を大きくしバスレフ共振を低くして再生帯域を下げられる可能性があります。

Fig19 では、Vb2 が少なめなので SP1 (Direct) は、SP2 のバスレフ動作の影響を受けてディップが生じていますが、前面の Vb2 を大きくすれば SP1 からの影響が少なくなり密閉ボックスの動作に近づいて行きディップが少なくなります。と言う事は、前後 2 つの SP の動作をある程度まで分離する事が出来るので、この方式独特の音作りが出来る可能性があります。

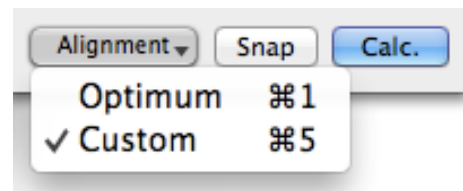


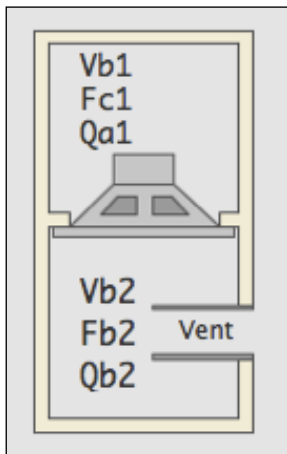
Fig21 Complex Vented Alignment

変則的な方法ですが、SP1 のみにローパスフィルターを通す事によりベントから漏れる中高音をカットし音質を改善できる可能性があります。前後 2 個の SP は並列接続が基本です。

## 2. Band Pass System

バンドパスシステムは、スピーカーユニットが外部から見えず内部に組み込まれた形式のシステムで、例えばベンテッドシステムのコーンからの直接放射は使用せずベントからの放射のみを利用する方式で、高域は周波数と共に減少して行く特性になります。電子回路のバンドパスフィルターと等化な特性なのでそう呼ばれます。

### 2-1. Kelton System (ケルトンシステム)



ケルトン方式は、左図のごとく密閉ボックスとベンテッドボックスの仕切りにSPを取り付けて結果ベントからの出力のみを利用する方式で、古くからASW (Acoustic Sub-Woofer) 等と呼ばれ、現在でも2・1ch用や追加型のサブウーファ等多くの製品が存在しています。長所として出力がバンドパス特性なので既存の装置に手を加えること無く追加するだけで低域拡大が図れる事でしょうか。短所としては、能率が低くなるのでケルトン用にパワーアンプを追加する必要があるのと2・1chにするには、L・Rの低域ミキシング回路の必要があり中・高域SPとのマッチングを図るためのハイカット・ローカットフィルターを入れたい事です。中・高

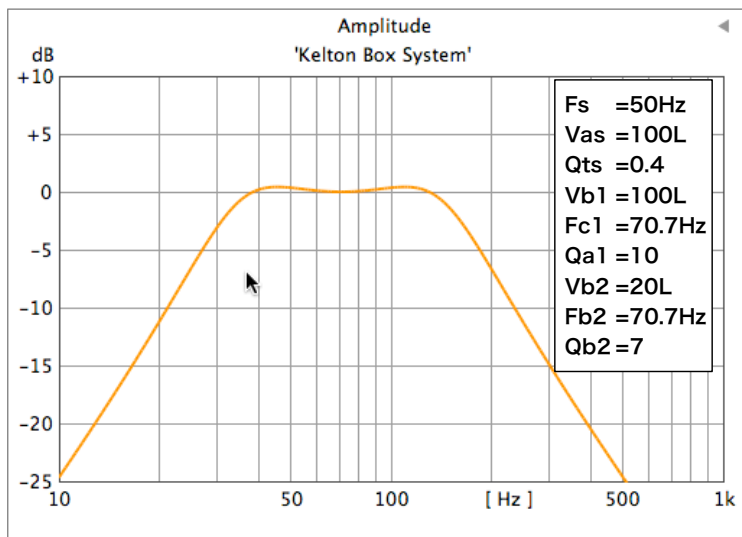


Fig22 Kelton System 特性例 Type1

域SPの低域をカットしてケルトンとの被りを無くし、中・高域SPの入力保護するためにも少なくともローカットフィルターは入れたい処です。また、ベントから内部の中・高域成分が漏れてきますが、ハイカットフィルターにより漏れをを少なく出来るのは長所と言ってもいいかも知れません。通常のベンテッド方式ではこういった処理は出来ませんし、ケルトン方式の設計ポイントは、この方式にマッチしたパラメータのユニットを選定するのと密

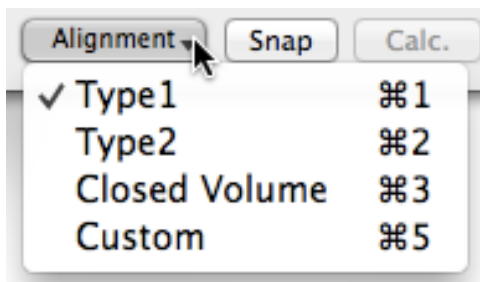


Fig23 Kelton System Alignment

閉部の容積を出来るだけ大きく取る事によりベンテッド部のチューニング周波数を低くし再生帯域を下げるようにする事です。Alignmentの“Closed Volume”で密閉部の容積“Vb1”を入力する事により“Fb2”も同時に変更されます。Fc1=Fb2の時、平坦な特性になります。ユニットによっては、ベンテッド部の容積が少なくなりすぎ現実的に作れなくなる事があるので要注意です。当[ウェブサイト](#)に製作記事がアップロードしてあるので参考になると思います。



## 2-2. Passive Kelton System (パッシブケルトンシステム)

パッシブケルトン方式は、前述のケルトン方式のベントの代わりにパッシブラジエータ (PR) を取り付けた方式です。考え方は、ケルトン方式とほぼ同じですが、PR特有の特性と言うか癖があるので注意も必要です。ケルトン方式に対して長所は、内部の中・高域成分の漏れがなくPRからの放射のみが得られベントによる気柱共振もなく素直な高域のロールオフが得られるのでハイカットフィルターの必要がなく音質も良くなる可能性等でしょうか。

短所は、PRの分コストが増えるのとハイパス型PRと同じように適合するPRを見つけるのに難儀すると思います。製品によっては重りを追加してFpを変えられる物もあり、この時、重りの追加で

Fpは低くなりますがVapは変化しません。基本PRの口径はSPユニットと同じ以上がいいようで1サイズか2サイズ大きい場合に適合するケースが多く見られ、20cmのSPユニットならPRは、20、25、30cmになります。PRユニットを2個にすると適合する場合もあります。密閉部容積(Vb1)を大きくすれば特性が低い方にシフトするのは、ケルトン方式と同様です。

PRユニットデータの取り込み方は、1-4. Passive Radiator Systemと同様です。

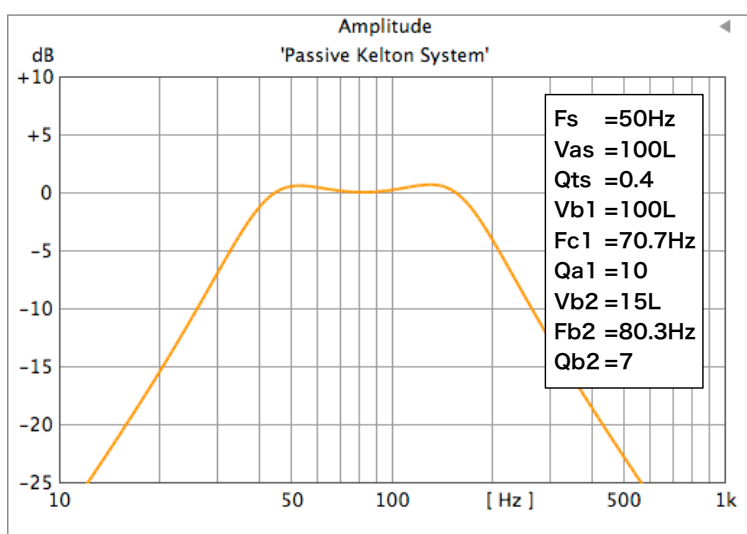
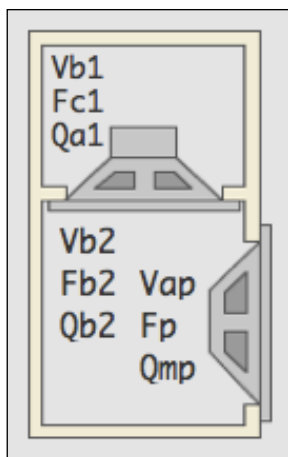


Fig24 Passive Kelton 特性例 Type1

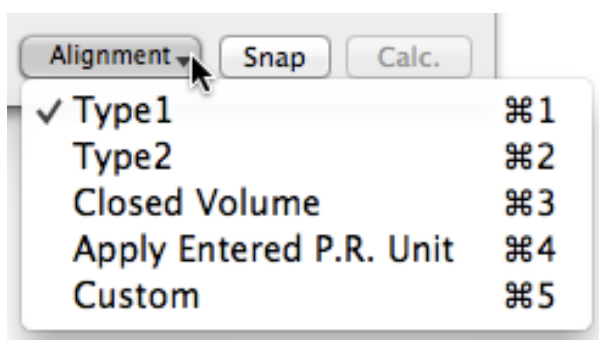


Fig25 Passive Kelton Alignment

Alignmentは、Fig25です。

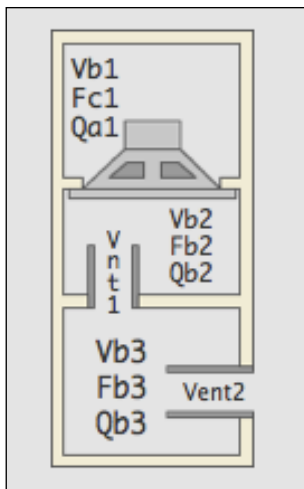
近年様々なパッシブラジエータの入手が容易になってきているので、次に製作するサブウーファは、このシステムにしようと考えています。ケルトン型は、サブウーファとして手軽かつ作り易く失敗も少ないと考えています。⌘3「Closed Volume」は、密閉部容積を任意に入力した時その他のパラメーターを最適に調整するアライメントです。

前述の「Kelton System」でも同様です。

当サイト「[DOWNLOAD](#)」ページに掲載の「PR\_Calculator.app」は、希望するFpに対する追加マス(質量g)を計算出来るので利用下さい。



## 2-3. Serial Kelton Type1 System (シリアルケルトンタイプ1)



変形ケルトン型で、ダブルバスレフ (Serial Vented System) の下部構造を取り付けた形になります。

ケルトンと同じく密閉部分の容積を大きくすると低い方へ特性がシフトします。

ケルトン型の欠点は、低域限界が密閉部の容積の大小に左右される事です。

今回、このSerial Kelton Type1と次項の Type2 のアライメントを刷新し、より低い周波数までの再生を図りました。

容積とチューニング周波数の変更可能な相互関係にあるパラメーターが  $Vb1 \cdot Vb2 \cdot Fb2 \cdot Vb3 \cdot Fb3$  と5個あるので調整は、難しくなりますが、作れる可能性のある特性は、非常に多くあると思われ

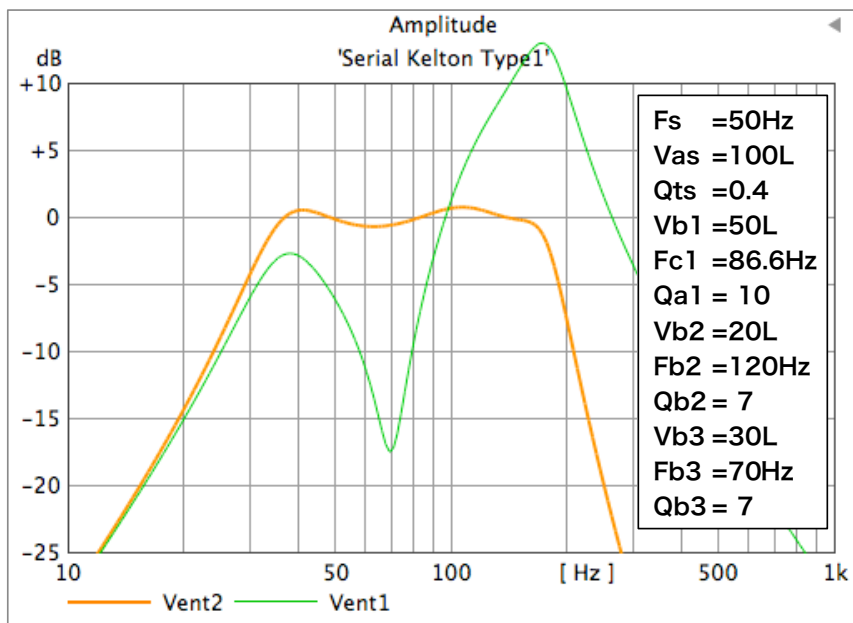


Fig26 Serial Kelton Type1 (⌘ 1) 特性例

思われます。

しかし、3つの合計容量は、それなりに大きくなりますので、その面から余り実用的と言えないかも知れませんが、色々試して挑戦して見るのには面白いシステムかも知れません。帯域幅は約 2.74oct です。

Vent1 のディップは、 $Fdip = Fb3(70Hz)$  です。付け加えますが、この説明に使用しているユニットのパラメーターは、分かり易くするため現実の物とは違い実際のユニットなら特性はもっと低域システムとして使用可能な低い方へシフトします。

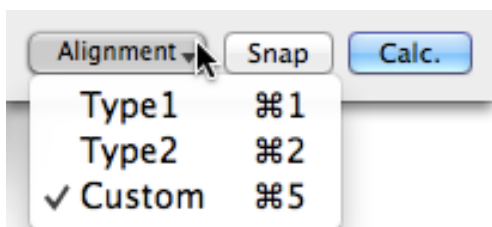


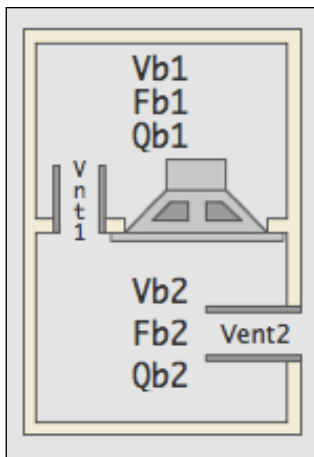
Fig27 Serial Kelton Type1 Alignment

調べた処 長岡鉄男氏が Double Resonance Woofer という名称で発表していました。

Alignment は、Fig27 です。

この方式は、複雑なので「Closed Volume」のアライメントを設定していませんが、今後の課題です。

## 2-4. Serial Kelton Type2 System (シリアルケルトンタイプ2)



これもケルトン型の変形ではありますが、Vb1とVb2 の間にベントが付いた形状になっていますので、ケルトン型と言って良いのか、疑問ですが適当な名称を思い付かないので取り敢えずです。システム全体で一つの周波数に共振しているのが、Vent1 特性のディップに現れているのが分ります。

ディップ周波数は、 $F_{dip} = F_{b2} / (1 + V_{b1} / V_{b2})^{0.5} = 46.1\text{Hz}$  です。

Alignment Type1では、前述の Serial Kelton Type1とほぼ同じ帯域幅 (約 2.74oct) になります。

Serial Kelton Type1 と比べ合計容積は、90%程になるのでこの方がやや小さく出来ますし、能率は 0.5dB 程高くなります。

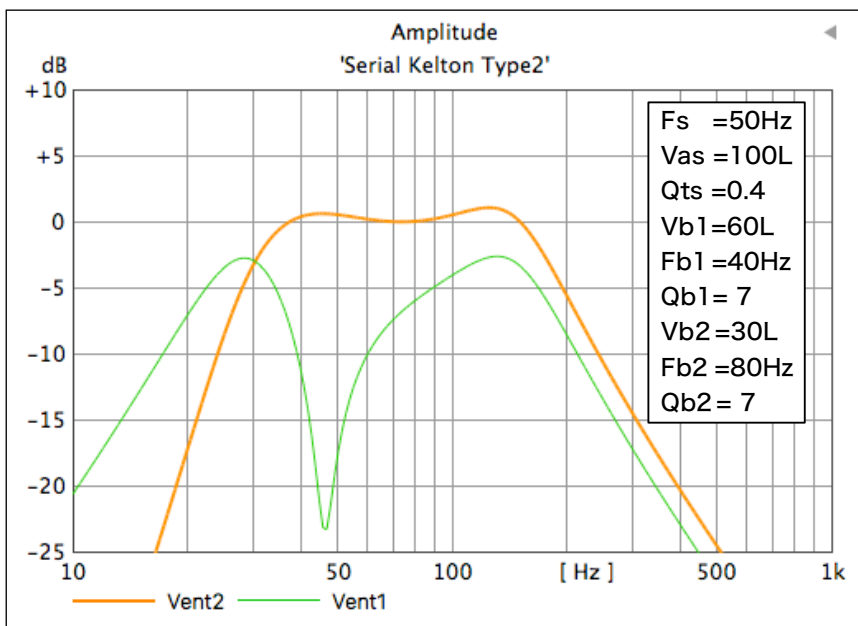


Fig28 Serial Kelton Type2 (⌘ 1) 特性例

S Pユニット 1 個使用で、2キャビネットの方式ではバンドパス型の中で容積効率が一番良いようで、少ない容積で低い周波数まで再生出来帯域幅も広く出来るので、サブウーファー製作の第一候補になると思われます。

ただ、ベントの設計で径とベント内空気振動速度の折り合いが難しくなります。バンドパス型では、帯域幅と能率はトレードオフの関係になり、これは、オペアンプのGB積と同じでSPの音響理論でも同様です。

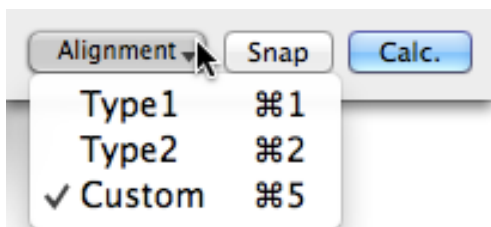


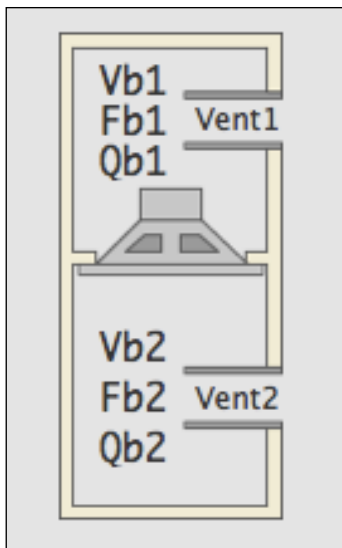
Fig29 Serial Kelton Alignment

設計自由度は、Vb1・Fb1・Vb2・Fb2 の4つになり難しくなりますが製作はダブルバスレフ (Serial Vented System) とほぼ同じで比較的容易だと思われます。

この方式も Serial Kelton Type1 と同じく解析が充分されていないのでこれからの課題とします。

Alignment は、Fig29 になります。

## 2-5. Twin Vented System (ツインベンテッドシステム)



この方式は、タンデムシステムと言った方が通りが良いかも知れませんが、30年位前から雑誌などで頻繁に見掛けた記憶があります。

長岡鉄男氏も Push Pull Woofer という名前で発表していましたし、BOSE もアコースティマスという名称で作っていました。(プロ用では、今も存在しています。)

米国内音楽ホールの固定用サブウーファとしてサイドスピーカーの場所に設置している写真と設計図を見た記憶があります。アメリカでは、設備音響でもDIY的チャレンジがされていたようなので自作派にも実用性は高そうです。

ただ、Fig30 の特性例では、Vb2 が 200L とかなり大きくなるので設備用ならともかく家庭用としては、大きくなりすぎる

傾向があります。

対応策として Vb2 を 6~8 割程度にすれば帯域は狭くなりますが実用特性内で行けますがそれでも 50L 減です。(Fig31)

自力でアライメントするには Fb1 と Fb2 の間隔の調整、Vb1 と Vb2 を同じ割合での増減また Vb2 の単独での増減などでしょうか。因みに Vb1 側と Vb2 側は、S P の裏表で位相が逆になるので両側の容量と周波数を同じにすると打ち消して原理的には無音になります。

Alignment は、Fig31 です。

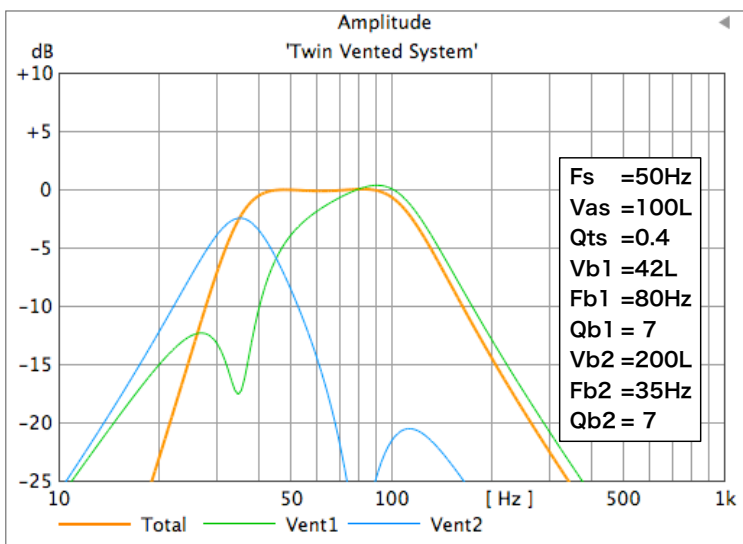


Fig30 Twin Vented 特性例 1 (⌘ 1)

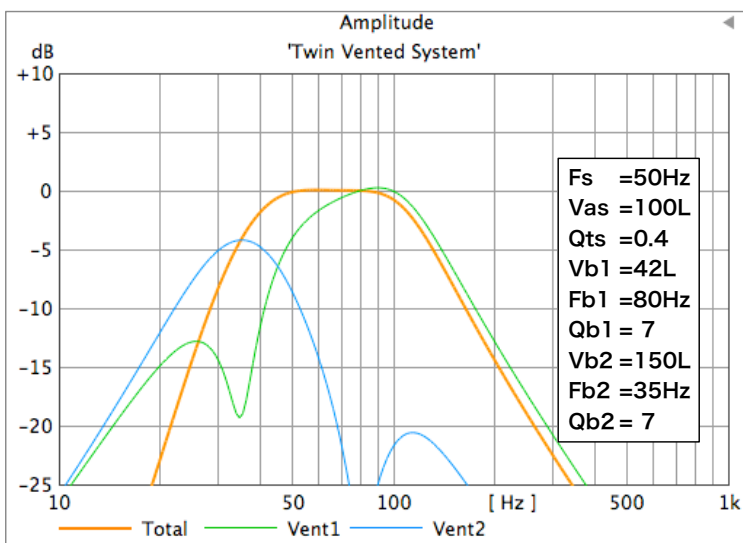


Fig31 Twin Vented 特性例2 (Vb2 50L減)

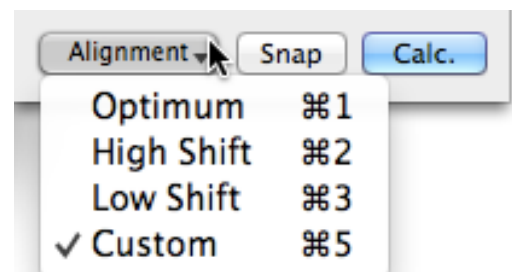


Fig32 Twin Vented Alignment

High Shift、Low Shift は、周波数を平行移動した特性です。

## 2-6. Twin Serial Band Pass System (ツインシリアルBPシステム)

バスレフとダブルバスレフをSPユニットの前後に取り付けた方式で、前項のツインベンテッドの変形とも言えます。

何処かには、有るかも知れませんがこう言うのは、見た事がないので一応筆者のオリジナルと言う事にします。

ただ、この構造の箱を製作するのは、かなり面倒だと思います。設計に当たっての注意点は、安易に設計すると Fig34 のように特性中にディップが出やすい事です。他のバンドパス方式では、適当に設計してもこのようなディップは生じませんが、構造上の理由からディップが発生しますので要注意です。Fig33 は、パラメーターを上手く調整してディップを打ち消すようにしています。

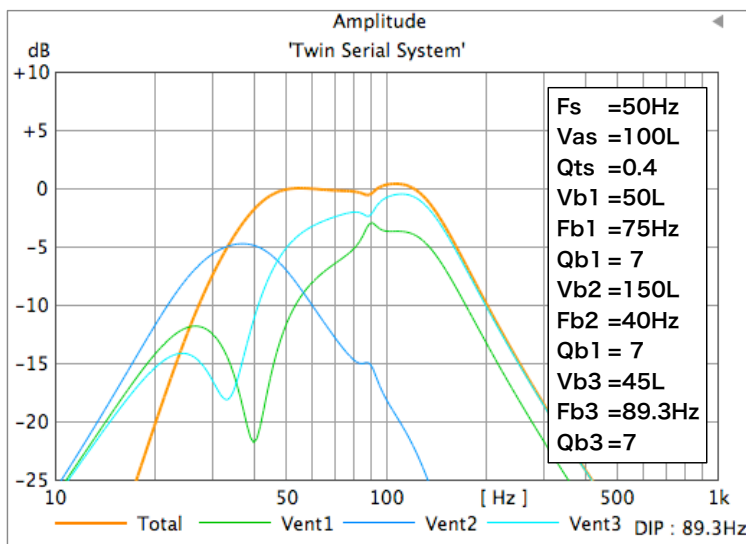
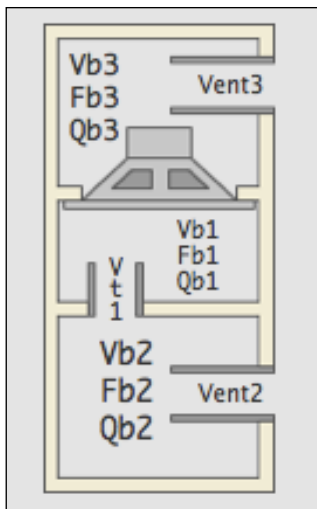


Fig33 Twin Serial System 特性例 1 (㊦ 1)

再生帯域は、これまでのバンドパス型では、比較的広いのが特徴でしょうか、難しいシステムに挑戦したい方にはお勧めです。

Alignment は、Fig35 です。

㊦ 2 の Dipped は、Fig34 の特性に対応します。

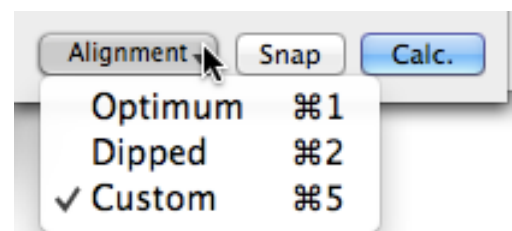


Fig35 Twin Serial Alignment

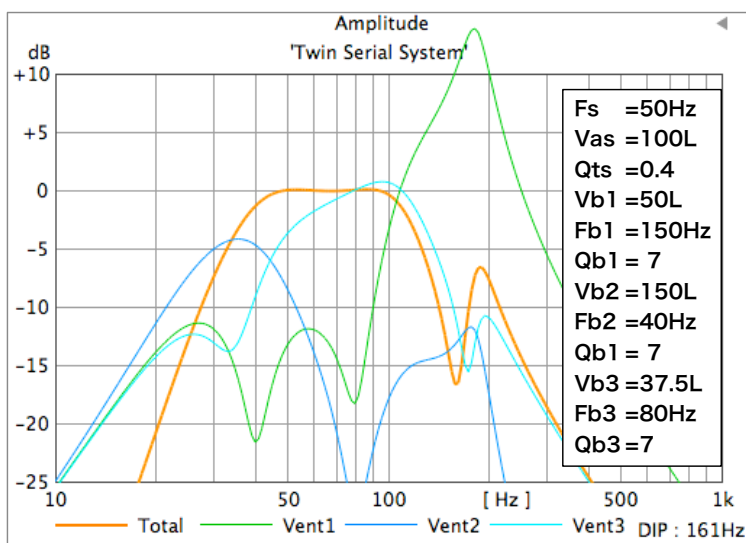
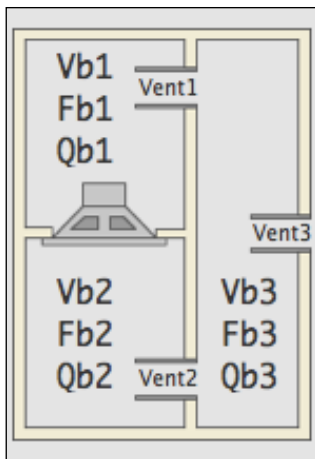


Fig34 Twin Serial System 特性例 2 (㊦ 2)

## 2-7. Delta Vented System (デルタベンテッドシステム)



ベントの配置が三角形なのでデルタベンテッドと命名しました。長岡鉄男氏も発案していたようですが、製作までには至っていないようです。BOSE もアコースティマスの名称でサブウーファとして作っていました。スケルトン（アクリル？）で内部構造が見えるデモ機が印象的でした。

基本構造は、Vent1 のチューニングを高くし Vent2 を低くし Vent3（出力）を中間に設定してバンドパス特性を得るもので、広い帯域特性が得られるのが特徴です。Vent1 と Vent2 は、入れ替えても同じ特性になりますし、同じにすれば Twin Vented と同じようにキャンセルして音は出ません。

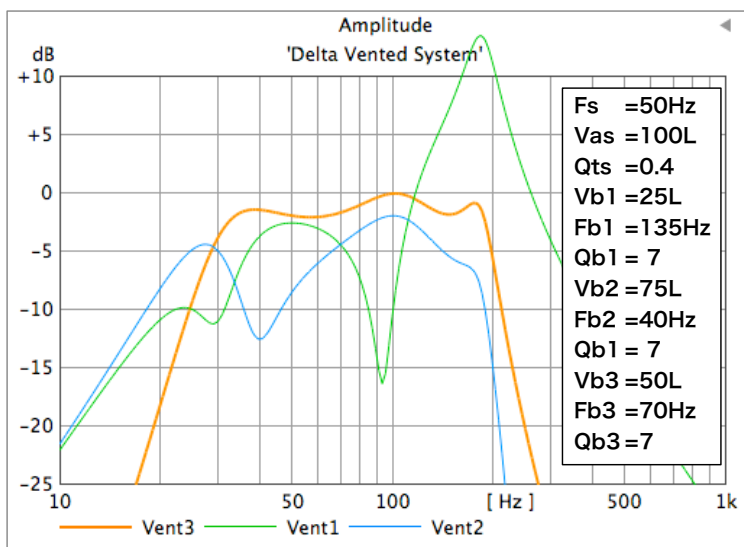


Fig36 Delta Vented System 特性例 1 (⌘ 1)

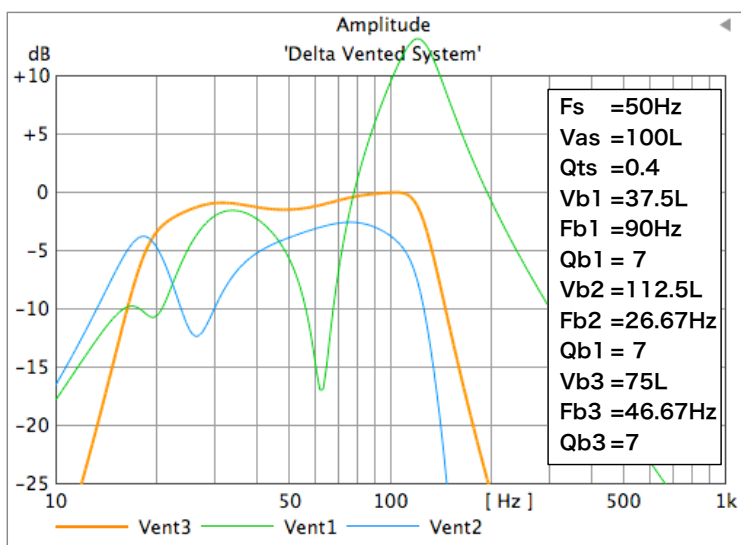


Fig37 Delta Vented System 特性例 2 (⌘ 3)

三つの容積を持つ割に合計容積は前述の諸システムより少なくなるのも長所です。

製作は、大変になりますが BOSE で実績があるので D I Y してみる価値は大きいと思います。

BOSE がどのような容積比率なのかは、判りませんが 16cm 以下のユニット (Fs が高い) を使用していた記憶で、比較的小さなユニットでも低い方まで再生出来ます。

Alignment は、Fig38 で、Fig37 の特性例 2 は、Low Shift に対応

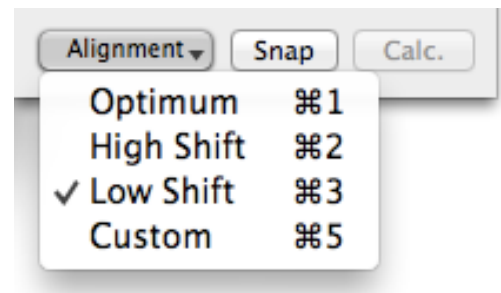


Fig38 Delta Vented Alignment

します。この場合の Alignment は、Optimum の値に Vb は 1.5 を掛け Fb は 1.5 で割ることで得ていなので、1.5 を任意の数値にすれば、お好みの特性を得ることが出来ます。Vb1 と Vb2 間 Vb3

間の比率は、あまり変えない方が無難です。



## 2-8. Triple Vented System (トリプルベントシステム)

ユニットを2個使用しベント3個からの出力を利用するシステムです。民生用には殆ど見掛けませんが、プロ用の設備音響で散見されます。なんと言っても2個使いによるハイパワー化がプロ仕様に合致するのだと思われます。

考え方として3個のベントそれぞれ違ったチューニングにする方法と Vent1 と Vent2 を同じチューニングにする方法がありますが、この場合は、Twin Vented と同じ特性になりハイパワー化にはCPが良くなります。他に上述の Vent1+Vent2 と Vent3 のセットの再生帯域を入れ替える方法もありますが、合計容積は同じになります。この Alignment は、⌘1 と ⌘2 で再現出来ます。

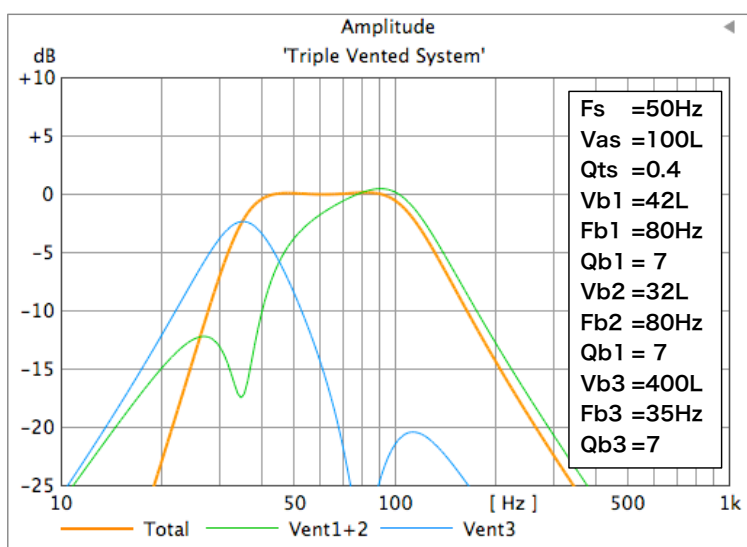
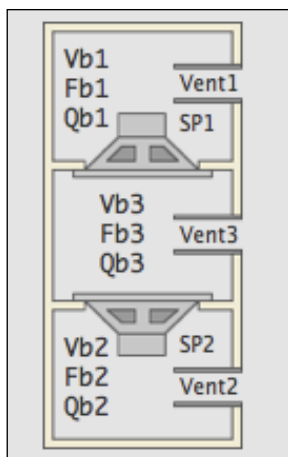


Fig39 Triple Vented System 特性例 1 (⌘1)

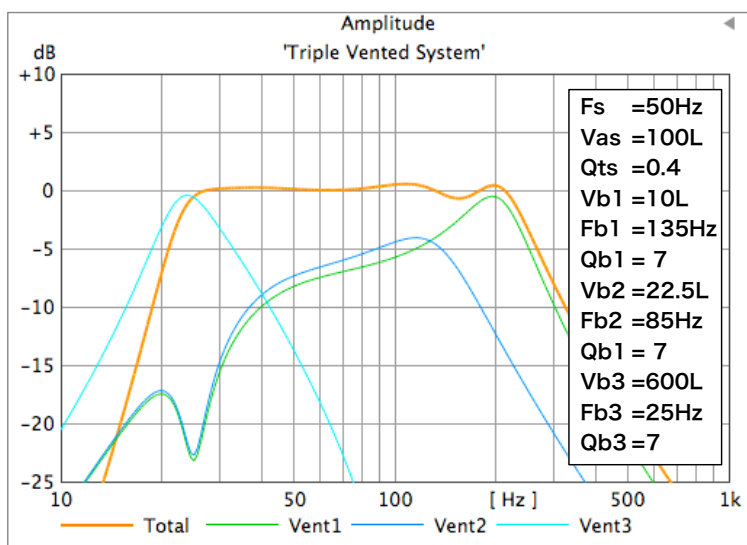


Fig40 Triple Vented System 特性例 2 (⌘4)

三つを違ったチューニングにする方法は、⌘3 と ⌘4 に組み込まれています。この Alignment では、非常に広い帯域を得ることが可能になりますが、最低域を受け持つ容積も大きくなります。

スピーカーの世界に限らず低域限界と能率・容積はトレードオフの関係にあり物理法則上致し方ないです。(GB積 (Gain x Band幅) 一定の法則) 同一径でFsの低いユニットは、能率が下がる物理現象です。能率の低いユニットは、コーンストローク Xmax が大きい必要性も出てきます。

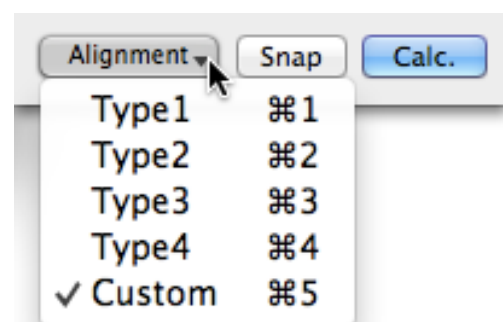


Fig41 Triple Vented Alignment

Alignment はFig41 になります。以上で16種類の方式の説明を一旦終わりますが、新しい発見や思い付きがありましたら随時 Archives へ追加して行く積もりです。