

BoxDesignerFA の利点と使用法

BoxDesignerFA の「FA」は、Filter Assiste を略したもので、端的に言えば2次の低域

ブーストフィルター使用して少ないエンクロージャー容積でより低域を再生しようと言う方式です。この方式を最初に提案したのが、エレクトロボイス時代の D. B. Keele, Jr の論文「A New Set of Sixth-Order Vented-Box Loudspeaker System Alignments」(AES ジャーナル アンソロジー Vol-3 P36~42) で、当時のエレクトロボイスのベンテッドシステムに採用されていました。具体的には、通常のフラット

の特性時に2個のベントを使用し低域伸張時を「ステップダウンモード」と称し片方のベントを塞ぎ低域共振を下げ、ダラ下がりな特性にし2次のブーストフィルターを加える事によりフラットかつ低域を伸張すると言うものです。この時ポイントとなるのがエンクロージャーの共振周波数とブーストフィルターの最大ブースト周波数を同じ値にすることで、エンクロージャーの共振点でユニットの振幅特性が最小になりその周波数をブースト最大ポイントと同じくする事によりトータルで振幅特性も最小になり大入力時でもコーンの突出事故を防ぐこととなります。左にその特性例を示します。

図1はノーマルモードの周波数特性で図2がその時の振幅特性です。図3がステップダウンモードの周波数特性でベントの片側を塞ぐと $F_b=35\text{Hz}$ になりダラ下がりな特性になります。緑が箱の裸特性、青がブーストフィルター、オレンジが

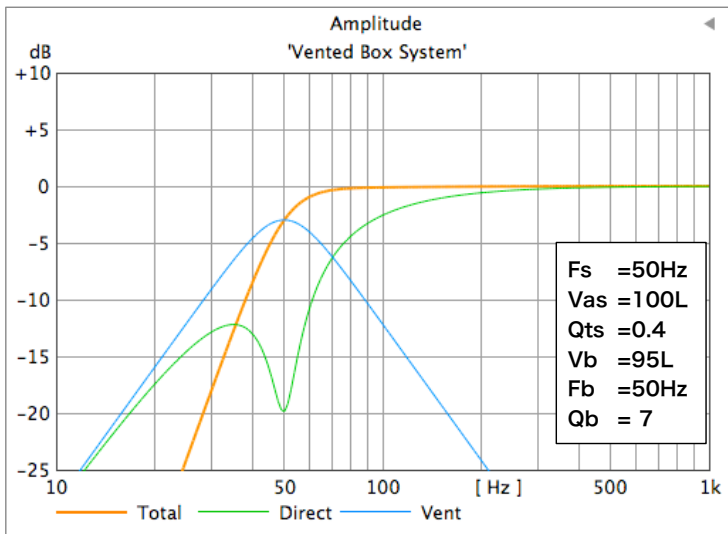


図1 ノーマルモードの周波数特性

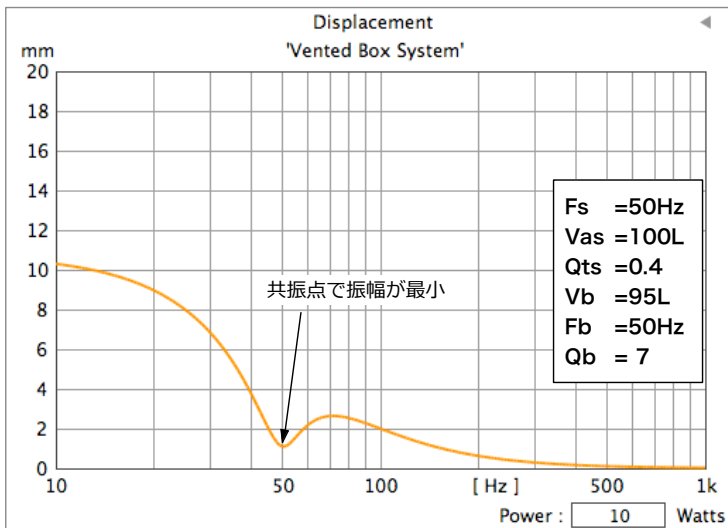


図2 ノーマルモードのコーンの振幅特性

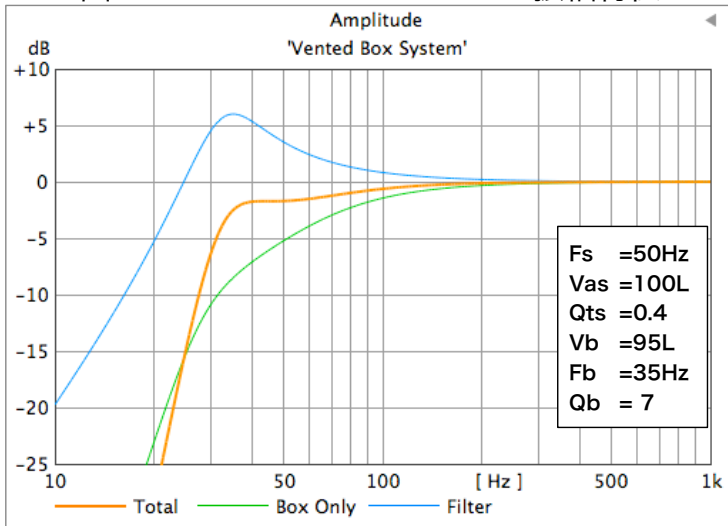


図3 ステップダウンモードの周波数特

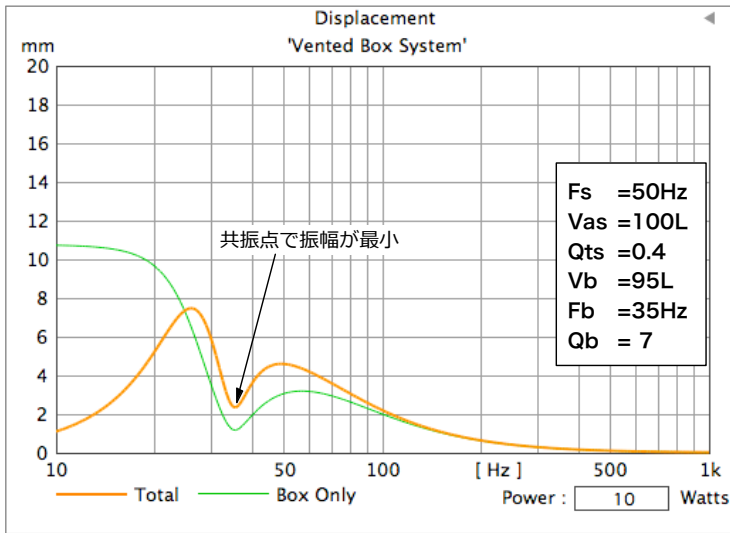


図4 ステップダウンモードの振幅特性

ブーストした特性です。図4が振幅特性ですがコーン振幅が共振点でブーストしない時に比べ余り増加していないのが判ると思います。ステップダウンモードのもう一つの特徴としてブーストフィルターはハイパスフィルターとしても働き超低域の成分をカットしユニットを保護する働きもする事です。これは当時のプロシステムとしては画期的で同一のシステムにブーストフィルターの追加（XEQ-2 と言うクロスオーバーネットワークに1cm角のモ

ジュールを差し込む事で実現）のみで低域を0.5オクターブ伸ばす事が出来ました。

ベンテッドシステムは、4次の特性を持ちブーストフィルターが2次の特性なので6次のアライメントと呼ばれています。ステップダウンモードは一般的に +6dB のブーストを基本としている様ですが、それに拘る必要はなく、+3dB、+9dB、+12dB 等のブースト値でも共振点を上手く合わせる事により可能になります。

一般的な（ステップダウンでない）ローブーストアライメントの式は、D. B. Keele により与えられ。Fb = FAUX：ボックスチューニング周波数またフィルターのピーク周波数、Vb：ボックス容積は、

$$Fb = 0.3 \cdot \frac{Fs}{Qts} = F_{AUX} \quad \text{ボックスチューニング・フィルター周波数}$$

$$Vb = 4.1 \cdot Qts^2 \cdot Vas \quad \text{ボックス容積}$$

オペアンプを用いたサレンキー型のブースト回路を図5に示します。

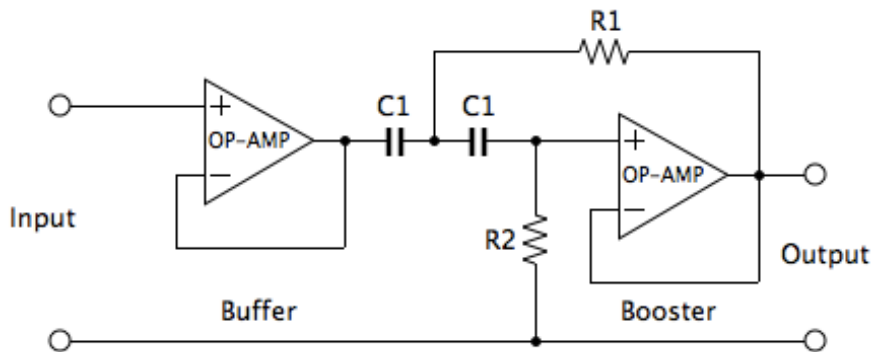


図5 サレンキー型のブースト回路

左側のオペアンプがバッファで右側がフィルター本体になります。バッファはフィルター特性を安定化するために付けて置いた方が良いでしょう。二つの C1 は同じ値です。

C1、R1、R2 の求め方を以下に記します。

1. 先ず適当な C1 を設定します。

$$2. \quad F_C = F_{PK} \sqrt{1 - \frac{1}{2 \cdot Q_{PK}^2}} \quad F_{PK} : \text{ブーストピーク周波数、} Q_{PK} : \text{ブースト} Q$$

$$3. \quad Rf = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot F_C \cdot C1} \quad F_C : \text{フィルターのコーナー基準周波数}$$

$$4. \quad R1 = \frac{Rf}{2 \cdot Q_{PK}}$$

$$5. \quad R2 = 2 \cdot Q_{PK} \cdot Rf$$

計算例；

1. C1 : 0.47 μ F、 F_{PK} : 40Hz、 Q_{PK} : +6dB で 1.927

$$2. \quad F_C = 40 \sqrt{1 - \frac{1}{2 \cdot 1.927^2}} = 37.21$$

$$3. \quad Rf = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 37.21 \cdot 0.47e-6} = 9100$$

$$4. \quad R1 = \frac{9100}{2 \cdot 1.927} = 2361\Omega$$

$$5. \quad R2 = 2 \cdot 1.927 \cdot 9100 = 35072\Omega$$

Q_{PK} の参考値 : +3dB→1.305、 +6dB→1.927、 +9dB→2.772、 +12dB→3.949

今回 C1 を 0.47 μ F としましたが、C1 を大きくすれば R1、R2 は小さくなり、

C1 を小さくすれば R1、R2 は大きくなります。

求まった R1、R2 は、[E系列](#) 抵抗値の近い値から選びます。

○ 密閉システムでのローブースト

同時期、W. Marshall Leach, Jr の論文「Active Equalization of Closed-Box loud-

speaker Systems」(AES ジャー

ナル アンソロジー Vol-2 P232~

234) で、やや特殊なブーストフィル

ターを使用した密閉システムの

ローブーストを提案していました。

図6~7に6次アライメントと同じ

ブースト回路を使用した特性を載せ

て置きます。密閉システムでは、

コーン変位を制限する機構が無いの

でコーン突出の危険性は、大きくなり

ます。が、昨今はコーンストローク

(Xmax) が非常に大きなユニット

が存在するのでそう言うユニット

を使用すれば後述の Linkwitz

Transform と合わせて密閉に対す

るローブーストの可能性は大きいと

言えます。

この場合、密閉システムが2次、

フィルターが2次で4次のアライメ

ントになり、位相回転やグループ

ディレイ(群遅延)が少なくなり音

質に与える影響も少なくなると考え

られるのは長所の様に思われます。

ブーストフィルターの設計は6次の

場合と同様です。

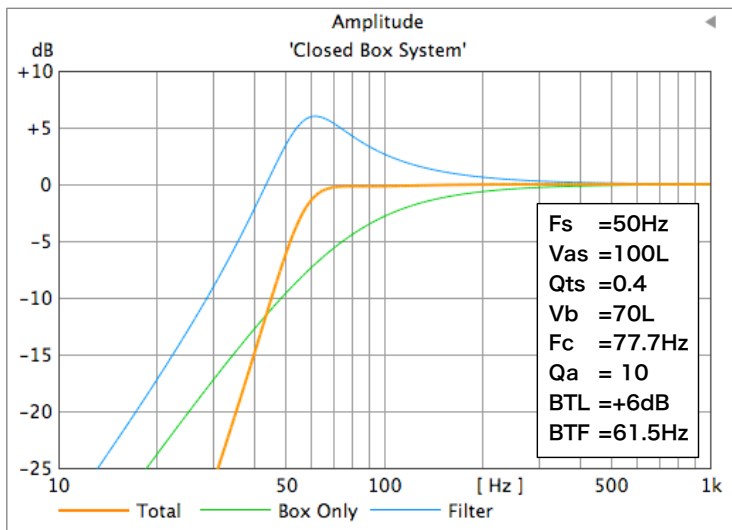


図6 密閉システムのローブースト例

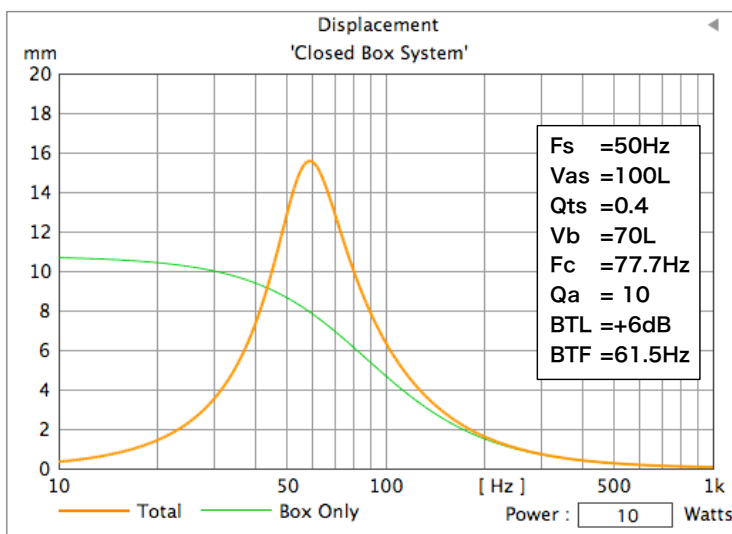


図7 密閉ローブーストのコーン変位例

○ Linkwitz Transform (リンクウィッツ トランスフォーム) の可能性

数年前、チャンネルデバイダー回路で有名な Siegfried Linkwitz さんが密閉システム (2次) にローブーストする方式「Linkwitz Transform」を公表して自身作のユニークなシステムに採用し、ちょっとした話題になりました。このシステムの低域部分のみを抜き出すと、直径 10cm 程の塩ビパイプを密閉エンクロージャーとしその上端に 16cm 径のコーンストロークの大きな Seas のユニットを取り付け低域の不足分をこの Linkwitz Transform という 1 次のローブースト回路で補うと言うシステムです。

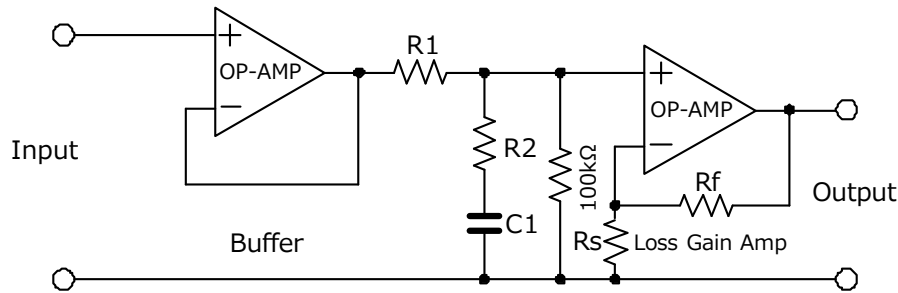


図 8 Linkwitz Transform 回路

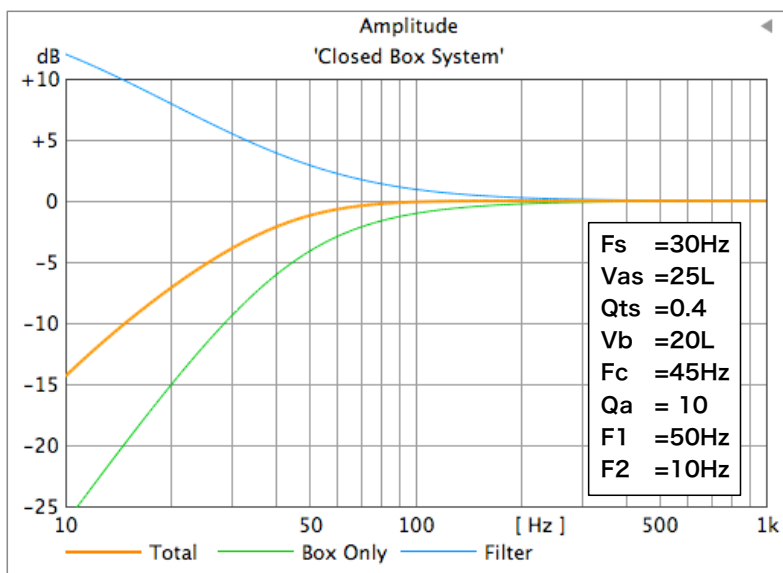


図 9 Linkwitz Transform 特性例

図 8 に Linkwitz Transform 回路を示します。この回路はパッシブ型 (アクティブ型もあります) なので 2 段目のオペアンプでゲインロス分を増幅します。図 9 に特性例を示します。実際の Linkwitz Transform は、DSP を使用してもう少し複雑な特性を用いていますが、密閉システムでも事実上ローブーストが可能である事を示しています。現在 BoxDesignerFA に Linkwitz Transform の採用を検討しています。

○ まとめ

オーディオファンは、一般的にブーストやイコライジングを嫌う傾向がありますが、自作派オーディオ、特にフルレンジ派に言いたいのですが、こういった傾向に余り捕らわれること無く低域の不足に対しては、ローブーストを積極的に考えて見てはどうかと提案します。ハイレゾとかまで行かなくても低域と高域は伸びているのに越したことがなく、一度 20Hz まで再生された音に接してしまうと後戻り出来なくなります。

本冊子は、小口径のユニットでも上手くローブーストを施せば、かなりの低域再生が可能となる事を大きな口径なら更なる低域再生が可能になる事を示す目的で記されました。

読者の参考になれば幸いです。

※本冊子の著作権はフリーとします。

記：長谷川義之「BoxDesignerFA の利点と使用法」 2019/05