

デジタルチャンネルディバイダ channeldividerF3B Ver0.64 について

1. 概要

channeldividerF3B は直線位相 FIR 型の 3Way チャンネルディバイダとして機能する、音楽再生ソフト foobar2000 用の DSP プラグインです。ChanneldividerF3B は、channeldividerF3 にスピーカのバッフルステップ補正用として直線位相 FIR 型の疑似シェルビングフィルタを加えたものです。

foobar2000 については公式サイトをご参照下さい。

<http://www.foobar2000.org/>

foobar2000 の日本語の解説については、こちらをご参照ください。

<http://foobar.s53.xrea.com/fbwiki/>

2. foobar2000 のバージョンとプラグインのバージョンについて

channeldividerF3B Ver064 は、foobar2000 Ver1.00 以降で使用できます。2010/08/29 現在、Ver1.00、Ver1.03、Ver1.1 での動作を確認しています。

3. 配布ファイル

- ・foo_dsp_channeldividerF3B.dll プラグインです。
- ・FirGain3B.exe フィルタの Tap 数と周波数特性の関係および疑似シェルビングフィルタの周波数特性を示すプログラムです。
- ・ReadMe3WayBSC.pdf 本文書です。

4. 仕様

現状の仕様は以下の通りです。

- ・動作条件：入力 2ch (ステレオ) のときのみチャンネルディバイダとして動作
- ・フィルタの種類：カイザー窓を用いた直線位相 FIR 型
- ・遮断特性：Tap 数(フィルタ段数)で指定 (Tap 数と遮断特性の関係については別プログラム (FirGain3B.exe) 参照)
- ・阻止帯域減衰量 (Stop Band Attenuation)： -144dB
- ・内部演算精度：64bit (倍精度浮動小数点)
- ・出力 ch：1ch 低域左、2ch 低域右、3ch 中域左、4ch 中域右、5ch 高域左、6ch 高域右
- ・疑似シェルビングフィルタ：低域側 (下限 40Hz) と高域側の周波数を指定すると両者を結んで直線的に低域を 6dB まで上昇可
- ・出力 bit 数：Output プラグインで指定

5. 動作環境

- ・foobar2000Ver1.00 以上が動作する環境
- ・OS：Windows XP、VISTA、7

- CPU : PentiumⅢ 1GHz 以上推奨
- サウンドカード : 6ch 出力をサポートしているもの。24bit 出力推奨

6. 使い方

(1) インストールなど

① foobar2000 がインストールされているフォルダの中の components フォルダに foo_dsp_channeldividerF3B.dll を入れてください。

foobar2000 Ver1.1 の場合は、上記の方法の他、次の方法でもインストールできます。File メニューより Preferences を選び、Preferences 画面の Components 画面を選択します。その画面の「Install」ボタンを押し、foo_dsp_channeldividerF3B.dll を選択し、「開く」ボタンを押すと、プラグインがインストールされます。

インストールされる場所は、c:\¥Documents and Settings¥User¥Application Data¥foobar2000¥user-components になります。

② メニューの foobar2000 から preferences を選び (図 1 参照) Available DSPs より channeldividerF3B をダブルクリックし、channeldividerF3B を Active DSPs に移し、有効にします。

③ Configure selected を押し、セッティング画面を出し (図 2 参照)、希望のクロス周波数などを入力し OK ボタンを押します。OK を押した時点で設定は変更されます。

(2) クロスオーバー周波数の指定について

クロスオーバー周波数はローパスとハイパスについて同一の周波数のみ指定可能です。

(3) 遮断特性

Tap 数で間接的に指定します。Tap 数は必ず奇数にしてください。(一応計算時には奇数に修正するようにはしていますが。) クロスオーバー周波数が低域になるほど、同一の遮断特性を得るためには大きな Tap 数が必要です。

(4) シェルビングフィルタの指定

指定した 2 つの周波数を結んで、直線的に低域の周波数特性を増幅させることができます。上昇が終了する周波数 (40Hz が下限)、上昇を始める周波数、増幅させる量 (6dB が上限) を指定します。

(5) 遅延

遅延はサンプリング周波数 44100Hz のときのサンプル数 (Tap) 単位で与えてください。サンプル数を入力すると距離を計算し表示します。

(6) レベル調整

0.5dB 単位でアッテネートできます。OK ボタンを押さないと音量は変化しません。音量は単純な掛け算で音量を絞っていますので、あまり、減衰させることは bit 落ちを招くので好ましくありません。ただし、フィルタ演算の結果が 1 を超えた場合の悪影響を防ぐために高域、低域とも -3dB 以下にすることをお勧めします。(基準とするほうを -3dB とし他をそれ以上に減衰させる。) 詳細は、9. 測定(6)を参照してください。なお、全体の音量調整は、bit 落ちのことを考えれば、DA コンバータの後のアナログボリュームで調整したほうが良いです。多チャンネルのアナログボリュームになかなか安価で良いものがないのが悩ましいところですが。

(7) 各種設定の反映

クロス周波数、フィルタ長 (Tap 数)、ディレイ、シェルビングフィルタの設定、レベルは、いずれも設定画面の「OK」ボタンを押した後有効になります。

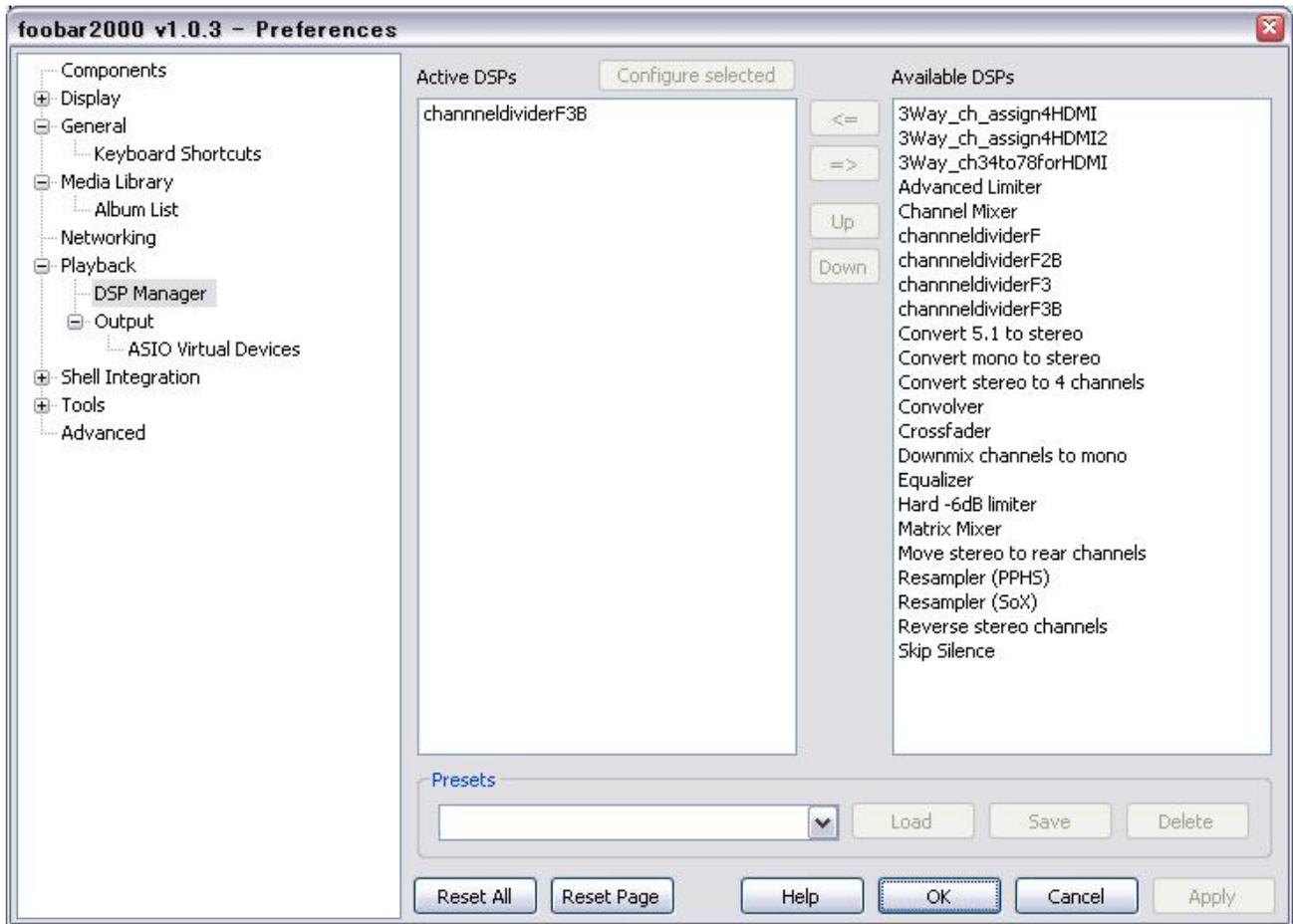


図 1 foobar2000 Preferences 画面

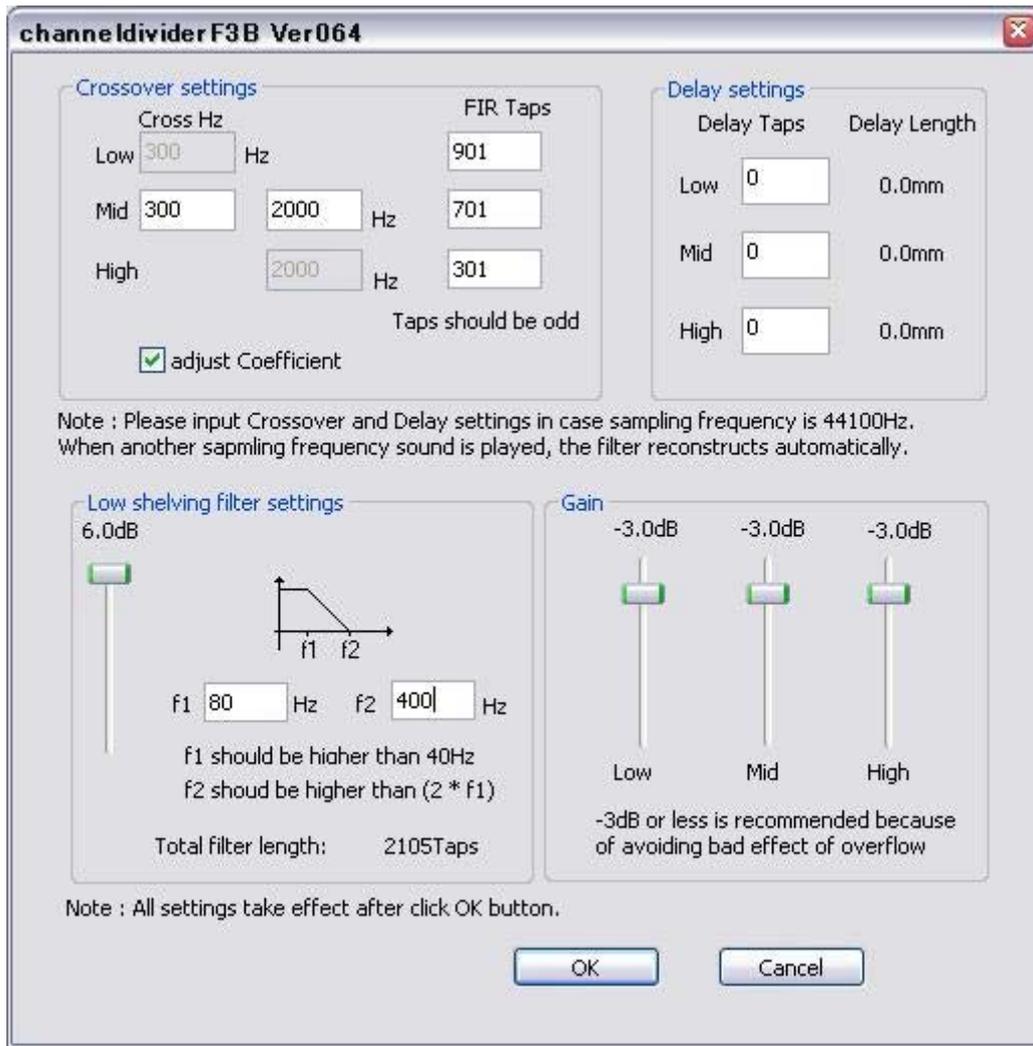


図2 channeldividerF3B Configure selected 画面

7. 使用上の注意及び免責

本プラグインは作成途中であり、思わぬところで雑音が出る可能性があります。従って、ツイータ保護のために、ツイータとアンプを直結せず、必ず保護用のコンデンサを直列につないでください。

また、Windows の警告音を出さないようにするため、コントロールパネルの「サウンドとオーディオデバイス」を選択し「サウンド」タグのサウンド設定から「サウンドなし」を選択するか、Windows の警告音や他のアプリケーションの音は別のサウンドカードから出力させることをお勧めします。（これをやらないと警告音が大音量で出てビックリすることがあります）

本プラグインは、再生する音源が 2ch の時のみチャンネルディバイダとして動作します。4ch や 5.1ch の音源を再生した場合は、音に何も加工せずそのまま出力します。このためツイータに損傷を与える場合がありますのでこれらの音源を再生しないで下さい。モノラルの音源を再生した時もチャンネルディバイダとして動作させたい場合は、標準でついてくる DSP の「Convert mono to stereo」を channeldividerF3B の上に置いておけば、チャンネルディバイダとして動作します。「Convert mono to stereo」はモノラルの音源にのみ作用しますので、モノラルとステレオとを演奏する場合もこれを入れっぱなしにしておいてかまいません。

なお、本プログラムを使用することにより生じたいかなる損害についても、作者は一切の責任を負わないものとさせていただきます。また、本文書にも誤りのある可能性があることについてご容赦下さい。

8. チャンネルディバイダの仕様の詳細

(1) 遮断特性

① 遮断特性指定方法など

このプラグインで用いているフィルタ係数は教科書通りのカイザー窓を用いたものです。カイザー窓で FIR フィルタを設計する場合、通常、通過帯域 (pass band)、阻止帯域 (stop band)、阻止帯域減衰量 (stop band attenuation) を指定すると、指定性能を満足する必要 Tap 数 (フィルタ長) が計算され、計算された Tap 数分のフィルタ係数が計算されます。チャンネルデバの場合、CD のダイナミックレンジや DA コンバータのダイナミックレンジ、サウンドカードの出力 bit 数などを考えると阻止帯域減衰量は -144dB あれば十分なので、これで固定とすると、あとは、通過帯域と阻止帯域を指定すればよいこととなりますが、二つの数字を指定するのは面倒? (プログラムのにも) だったので、Tap 数を指定することにより間接的に両者を指定することにしました。

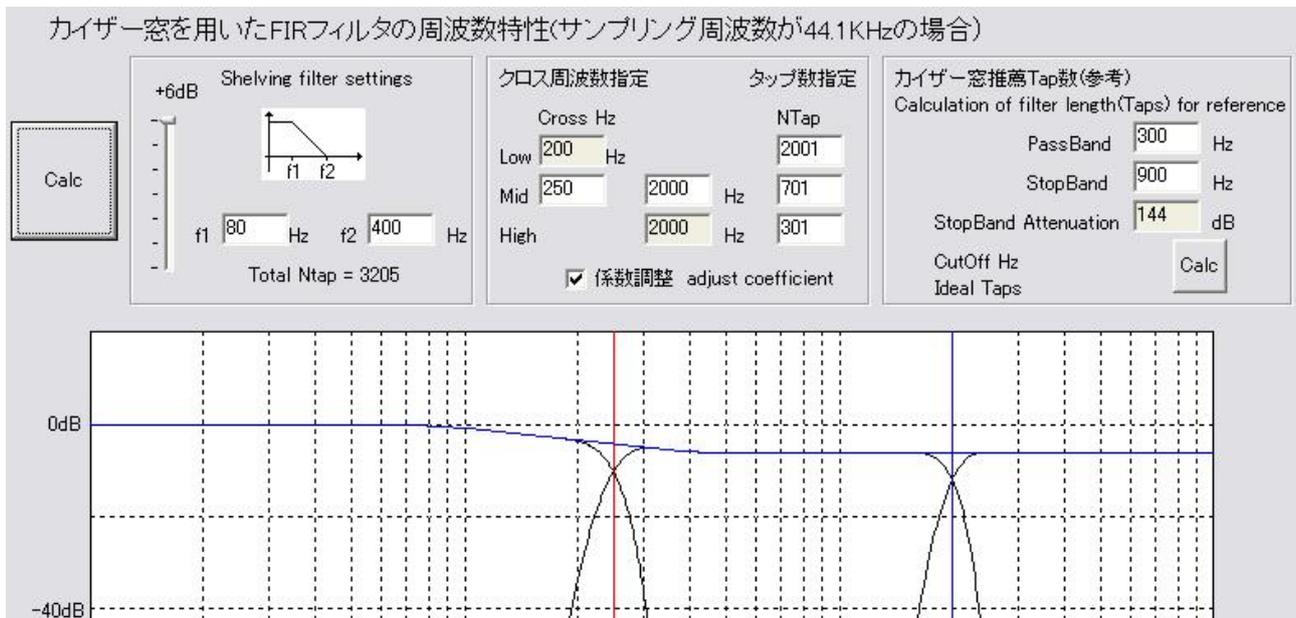
② FirGain3B.exe について

Tap 数から遮断特性を想像するのは結構難しいので Tap 数と周波数を指定すると周波数特性を描画するソフト FirGain3B.exe を別に作成しました。

プログラムを立ち上げると、図 3 のような画面 (一部) がでますので、カットオフのところに希望のクロスオーバー周波数を入れ Tap 数を入力し、フィルタ特性計算ボタンを押すと、指定したクロスオーバー周波数と Tap 数の周波数特性が出ます。カイザー窓推薦 Tap 数 (参考) の欄は、単なる参考であってプラグインの周波数特性推測には関係ありません。(手抜きプログラムですみません。)

バッフルステップ補償用の疑似シェルビングフィルタについても、シェルビングフィルタとして動作させる低域の周波数 (40Hz が下限)、高域の周波数 (指定した低域の周波数の 2 倍以上を指定)、および、持ち上げる量を指定すると周波数特性を計算し表示します。

合成周波数特性は青色の線で示されます。係数調整のチェックをしたりはずしたりして計算をさせると係数調整 (詳細は後述します。) の効果がわかりやすいと思います。



③ 遮断特性・遅延とサンプリング周波数の関係

遮断特性と遅延の指定はサンプリング周波数 44100Hz の場合の Tap 数を指定することにより行いますが、他のサンプリング周波数の音源の場合は、44100Hz とほぼ同様の減衰率、

遅延となるよう内部で簡易的なやりかたでフィルタの再構成を行います。具体的には、指定した Tap 数を内部でサンプリング周波数に比例して増加させています。従って画面で 4001Tap の Tap 数を指定した場合でも、88200Hz の音源を再生する場合は 8003Tap の計算を行うこととなります。現在個人で手に入れられるソースはサンプリング周波数 44100Hz のものに限定されていると思うので、ここまでやる必要があるのかどうか疑問でしたが、異なるサンプリング周波数のものを間違えて再生した場合のツイータの保護などを考慮しこのような構成にしました。

④遮断特性の対称性について

カイザー窓を用いた FIR フィルタの場合、ローパスとハイパスで同一の周波数・Tap 数を指定した場合、周波数特性は実数軸において対称となり、オーディオで標準的に使われている対数軸では対称になりません。バンドパスフィルタ（中域）のローパスとハイパスについても同様です。従って、対数軸で表示した場合は中域についてはハイパスフィルタの切れが悪く、ローパスフィルタの切れがやけによいように見えます。カイザー窓を使っている限りバンドパスフィルタ(中域)のローパスとハイパスの遮断特性は個別には指定できないのでこの点をご容赦ください。係数調整にチェックを入れるとバンドパスフィルタの特性は低域と高域の Tap 数で決定されるので、見かけ上、ある程度中域の遮断特性をローパスとハイパスで別々に変更できるようになります。)

⑤フィルタ係数の調整について

カイザー窓を用いた FIR フィルタの場合、見かけ上同一の遮断特性を得るためにはクロス周波数が低いほど大きな Tap 数（クロス周波数に反比例した Tap 数）が必要になります。このため、3Way では各フィルタのタップ数を同一とした場合、低域と中域の遮断特性をある程度急峻にすると高域では著しく急峻な特性となります。周波数特性のグラフを対数軸で見ると特にこれが強調されます。

図 4 は、scilab (matlab 互換の数値計算用ソフト) でカイザー窓を用いたフィルタ (300Hz、2000Hz のローパス、バンドパス、ハイパス、それぞれ Tap 数 901Tap のもの) の周波数特性及び合成特性を計算させたものです。合成特性はフラットですが高域の遮断特性はものすごく急になっています。

scilab についてはこちらをご参照ください。

<http://scilabsoft.inria.fr/>

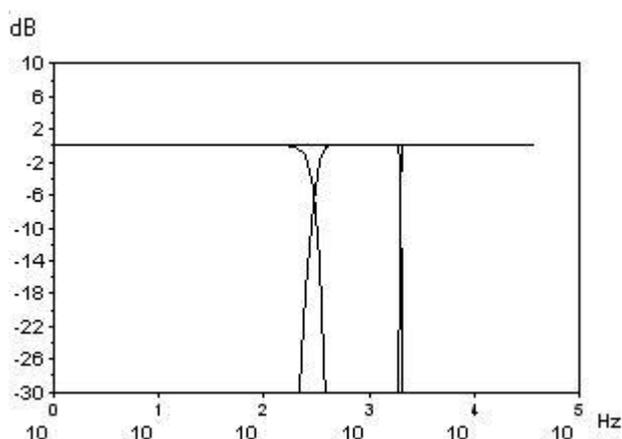


図 4 カイザー窓で低中高音同一のフィルタ長とした例

これを避けるためには、各フィルタ毎に Tap 数を指定すればよいわけですが、カイザー窓でこれを行うと問題が生じます。

FIR フィルタは、計算の起点となる時点はフィルタ係数の中央ですから、まず、タップ数の異なる3つのフィルタの群遅延をそろえるために、フィルタ係数の中央をあわせ、Tap 数の短いフィルタの前後にゼロを詰めます。こんな感じです。



これで一応群遅延は合うわけですが、このフィルタをそのまま使うと、合成特性がクロス周波数でフラットになりません。クロスオーバー周波数を 300Hz、2000Hz、Tap 数を 901Tap、701Tap、301Tap としてゼロ詰めしたものの合成特性を `scilab` で計算したものは図5の通りで、合成特性はフラットになっていません。

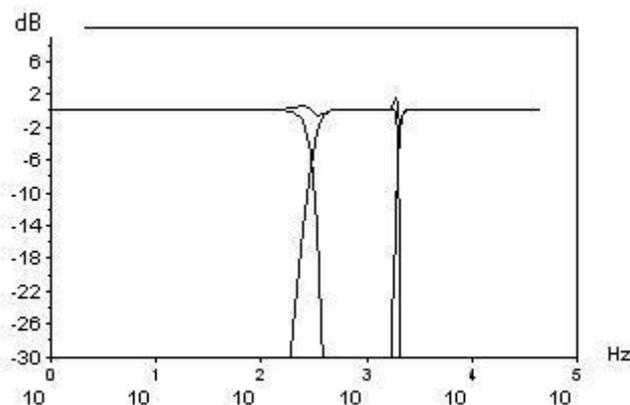


図5 カイザー窓でそれぞれのフィルタ長を変えた場合の周波数特性

これを補正するため、最初に計算された3つのフィルタの合成特性からインパルスを差し引いた差分を中域のフィルタに加えます。`scilab` での計算結果は図6の通りであり、合成特性はフラットになっています。`adjust Coefficient` にチェックを入れると、この補正を行います。

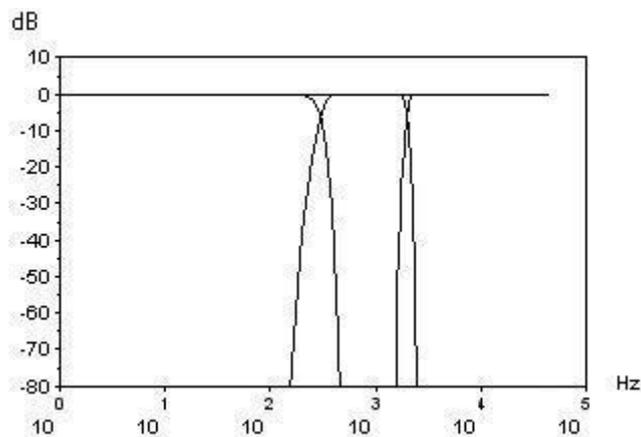


図6 係数調整の効果

インパルスとの差分を中域に全部割り振っているということは、結局、インパルスから低

域と高域の係数を引いたものを中域の係数とすることと同じですから、この補正を行うと、tap 数の変更による遮断特性の変更は低域の Tap 数と高域の Tap 数の影響が支配的となり、中域の Tap 数を変えても中域の遮断特性は変わらなくなります。

チェックをはずせば、クロスオーバー周波数を別々に指定することはできるようになります。この場合は、合成特性はフラットにはなりません。(クロス周波数を別々に指定するということは、もともと、合成特性がフラットであることをあきらめているはずなので……。)

(2) 演算速度

FIR フィルタの畳込みには FFT を利用していますので、現在発売されている PC であれば、3Way のチャンデバとして必要な演算速度は確保できると思います。演算量は、Tap 数の最大値 + ディレイの Tap 数の最大値が 2 の累乗を超えた時 (例えば 1023 から 1025 へ) 段階的に増加します。一部のフィルタの Tap 数を小さくしても演算量は変化しません。(群遅延を合わせるため前後に零詰めしているの見かけ上の Tap 数は同一になるため。)

チャンデバとしては 8000Tap 前後で動けば必要十分だと思いますが、当方で確認したところでは Celelon500MHz のノートパソコンでハードディスク上の wave ファイルを再生した場合で 1 万 6 千 Tap でも音飛びしませんでした。Athlon2600+ のマシンでハードディスク上の wave ファイルを再生した場合は 26 万 Tap (無意味ですけど) まで音飛びはしませんでした。(26 万 Tap の場合遅延はすごく大きくなります。再生ボタンを押してから音が出るまで約 19 秒かかりました。遅延を少なくするためには、多分、分割畳込みをすれば良いんでしょうが、チャンデバ用途としてはここまで大きな Tap 数は不必要なのでそのままにしてあります。)

もし、音が飛ぶようであれば、サウンドカードのレイテンシを大きくして、Output プラグインのバッファのサイズを大きくし、playback で Full file buffering に大きい値を入れれば改善できるかもしれません。また、Visualization をオフにすると改善できる可能性があります。

(3) 遅延 (Time Alignment)

遅延については、サンプリング周波数単位の簡易的な方法を用いています。指定は Tap 数単位で行います。(1Tap の遅延は 343.5m/s (音速) $\div 44100$ (サンプリング周波数) $= 7.8\text{mm}$) プログラム的にはフィルタ係数の前にゼロを入れることによって実現しています。従って、計算上の Tap 数は指定した Tap 数 + 遅延 Tap 数となります。遅延の指定はサンプリング周波数 44100Hz の時の Tap 数の距離を前提に行いますが、異なるサンプリング周波数のものを再生する場合は、遅延についてもサンプリング周波数に比例して変更していますので、表示される距離との差は、1 サンプルあたりの距離の差程度にはなっていると思います。

(4) 出力 bit 数

本プラグインでは内部演算は倍精度浮動小数点 (64bit) で計算し output プラグインあるいは次の DSP プラグインにデータを引き継いでいます。出力 bit 数は output プラグインで決めることとなりますが、可能であれば 24bit 以上を推薦します。計算結果にはディザなどは加えずそのまま output プラグインに渡しています。大多数の音楽ソースは 16bit ですが、16bit 信号を演算し 16bit に丸めて出力した時にディザを加えていない場合は、フィルタ計算の結果に原信号と相関関係のある雑音ののるため、微少音がザラつくと言われていています。24bit 出力にすれば、誤差が十分小さくなること、DA コンバータやアナログ回路の SN 比に隠れることなどの理由でこの問題は小さくなるとも言われています。また、後述するように出力は -3dB 程度落とした方がよいので、これによる bit 落ちを防ぐためにも出力は 24bit 以上とすることを勧めます。

9. 測定

素人が個人で測定できることには限りがありますが、とりあえず測定した結果を示します。サウンドカードの Prodigy192 には、Direct Wire という機能があり、任意の ch の出力をデジタルデータのまま入力に戻すことができます。これを利用し測定をしてみました。測定には efu 氏作成の WaveGene、WaveSpectra、Sigeboh 氏作成の WaveAnalyzer32 を使用させていただきました。

ご両人に感謝いたします。

(1) 遮断特性

クロスオーバー周波数を 300Hz、2000Hz、Tap 数を 901Tap、701Tap、301Tap、係数補正有り に設定し、スイープ音を再生し、出力を WaveSpectra に入力して FFT にかけてピークホールドさせたものが、図 7、図 8、図 9 です。それなりの遮断特性になっていると思います。カイザー窓を用いた FIR フィルタでは、バンドパスフィルタの特性は周波数実数軸に対して対称となるため、対数軸で表示した場合、見かけ上ハイパスフィルタの遮断特性が緩やかに見えます。

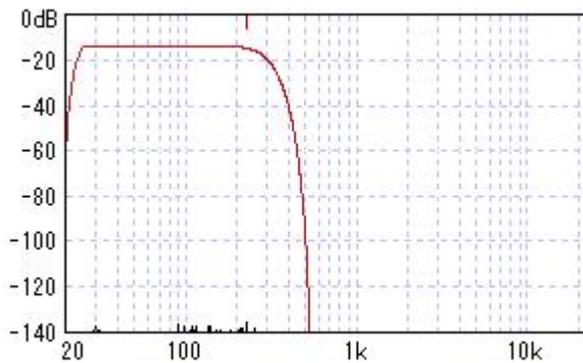


図 7 低域

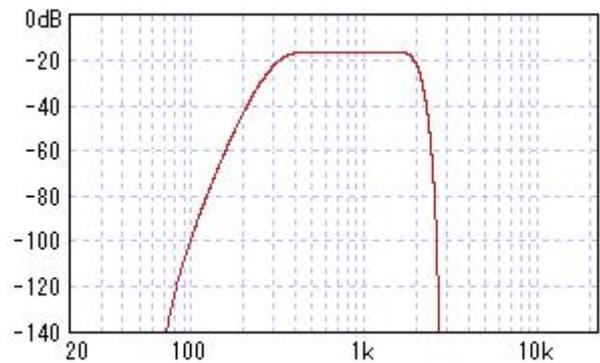


図 8 中域

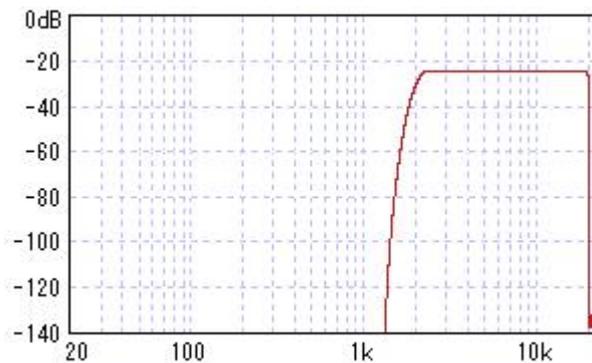


図 9 高域

(2) 合成周波数特性

channeldividerF3B の後ろに、低音、中音、高音の和をとるために foobar2000 のプラグイン Downmix channels to mono をいれ、スイープ音を再生させ、合成周波数特性を計りました。

クロスオーバー周波数を 300Hz、2000Hz、Tap 数を 901Tap、701Tap、301Tap、係数補正有り に設定した場合の結果は図 10 の通りであり合成周波数特性はフラットになっています。同様の設定で補正をしない場合の結果は図 11 のとおりでありクロス周波数で特性が波打っています。

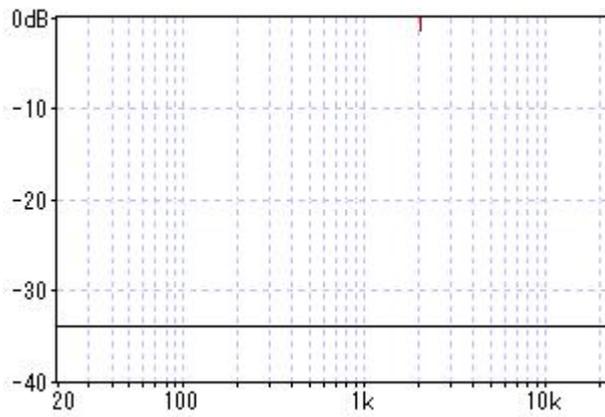


図 1 0 合成周波数特性、係数補正有り

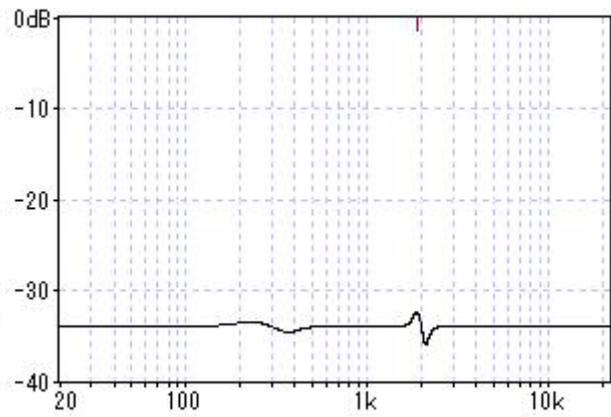


図 1 1 合成周波数特性 係数補正無し

(3) 合成波形

クロスオーバー周波数を 300Hz、2000Hz、Tap 数を 901Tap、701Tap、301Tap、係数補正有りに設定し、300Hz、2000Hz の単発サイン波を再生し、合成波形を観測したものが図 1 2、図 1 3 です。ChanneldividerF3B は直線位相型 FIR フィルタなので、単発サイン波が再合成されています。もっとも、これはデジタルデータでの合成なので、空气中で異なるスピーカから再生される音波がこのように合成されるかという議論のあるところでしょう。

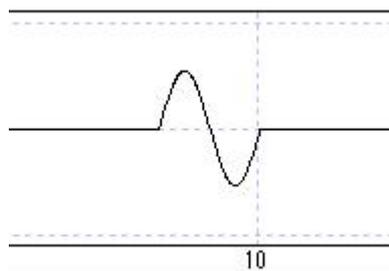


図 1 2 300Hz 単発サイン波合成波形

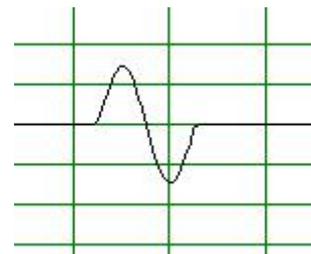


図 1 3 2000Hz 単発サイン波合成波形

(4) sin 波 純音の再生

クロスオーバー周波数を 300Hz、2000Hz、Tap 数を 901Tap、701Tap、301Tap、係数補正有りに設定し、300Hz、2000Hz の sin 波：純音を再生し、WaveSpectra に入力し、周波数特性を調べたのが図 1 4、図 1 5、図 1 6、図 1 7 です。変な歪は出ていないようです。

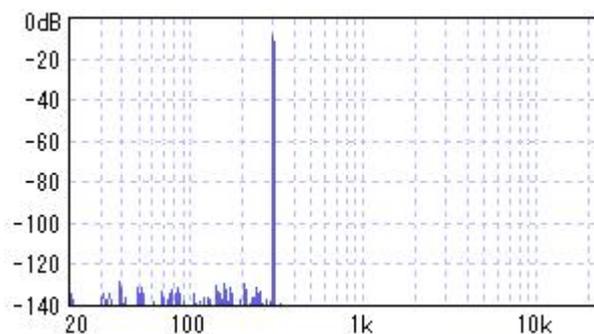


図 1 4 300Hz 純音低域

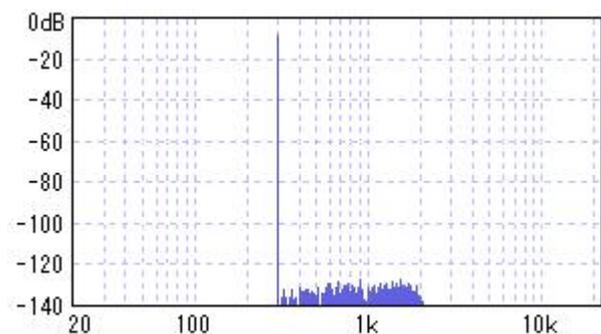


図 1 5 300Hz 純音中域

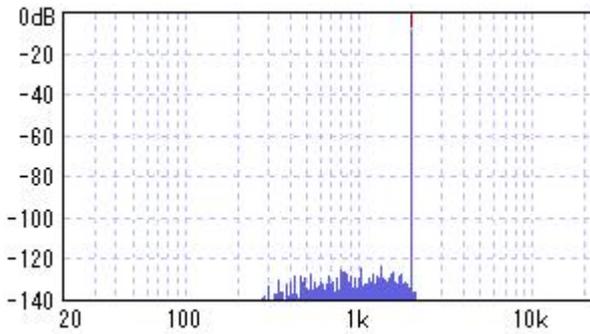


図 1 6 2000Hz 純音中域

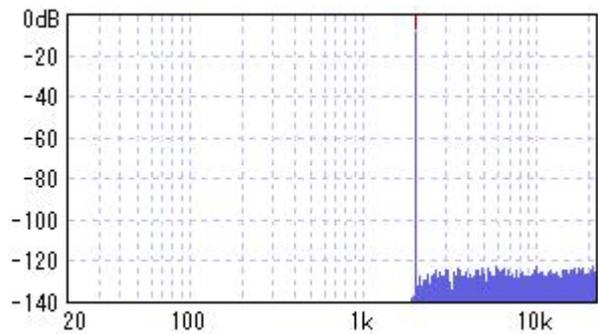


図 1 7 2000Hz 純音高域

(5) 遅延

クロスオーバー周波数を 300Hz、2000Hz、Tap 数を 901Tap、701Tap、301Tap に設定し、300Hz、2000Hz (サンプリング周波数 44100Hz) の sin 波を再生し、WaveSpectra に 300Hz の場合は低域を左 ch、中域を右 ch に、2000Hz の場合は中域を左 ch、高域を右 ch に入力してリサージュを描かしてみました。図 1 8、図 1 9 が遅延無し、図 2 0、図 2 1 が中域、高域を半波長：180 度 (74Tap、11Tap) 遅延させたもの、図 2 2、図 2 3 が中域、高域を 1/4 波長：90 度 (37Tap、6Tap) 遅延させたものです。2000Hz の場合は波長が短くサンプリング周波数あたりの遅延では正確には 90 度の位相ズレを実現できていないため円が若干ゆがんでいます、ほぼ理論通りのリサージュが描けていると思います。

300Hz 遅延無し

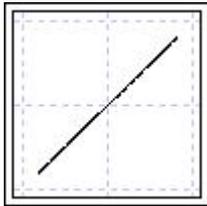


図 1 8

300Hz 半波長遅延

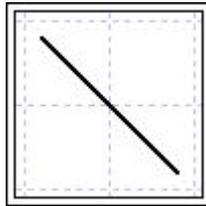


図 1 9

300Hz90 度遅延

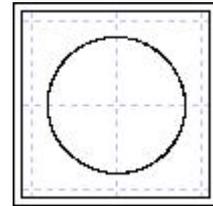


図 2 0

2000Hz 遅延無し

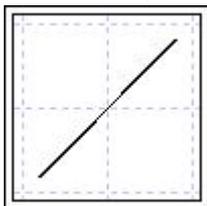


図 2 1

2000Hz 半波長遅延

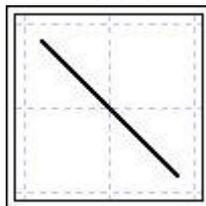


図 2 2

2000Hz90 度遅延

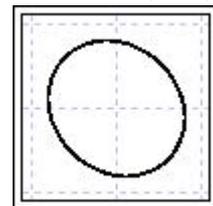


図 2 3

(6) 演算結果が 1 を超えた場合の影響

DSP プラグインにはデータは 1 に正規化された (最大値が 1 の) 倍精度浮動小数点で渡されます。渡されたデータは DSP プラグインで計算され Output プラグインに渡され、ここで出力 Bit 数に応じて適切な値に変換されハードウェアにデータが渡されます。(らしいです。)

ところで、デジタルチャンドエバの場合、最大ビットの音が連続した場合 (コンプレッサーを多用する JPOP のような音楽の場合) 演算結果が 1 (最大値) を超える場合があります。

通常、最大 bit 数を超えた値がサウンドカードに送られるとバチッという反転ノイズがでますが、output プラグインでは指定された最大 bit 数より大きい数値があった場合それを最大 bit 数にあわせる、いわゆるリミッターが働くようになっています。(らしいです。)

リミッターが働くことは働かないで反転ノイズが出る（ツイータが壊れる危険性有り）よりはるかに良い状況ですが、チャンデバとしては遮断特性に影響が出ます。

リミッターがかかるということは、リミッターに係る直前のデータとリミッターがかかったデータとの間でデータとして不連続な点が現れるということで高周波が発生したことと同じですし、リミッターがかかった値が連続した場合、データは直線状態となり、直流が現れたと同じこととなります。

フィルタ処理が終わった後の output プラグイン処理でこのようなことが起こるということはハイパスフィルタで直流域が出る可能性があり、ローパスフィルタで高周波が出るということなのです。

実際、最大値が 0dB であるホワイトノイズを波形生成ソフト (Wavegen) で作成したものを、1KHz クロスで再生したところ、ハイパスフィルタの周波数特性は図 2 4 のとおりで、リミッターが作動し低周波が発生したせいか？ 阻止帯域減衰量が非常に少なく (-40dB) なっています。一方、最大値が -6 dB であるホワイトノイズを再生したところ、このような現象は起こらず、阻止帯域減衰量は期待通りとなっています。この理由は上記のとおりであると考えられます。

そこで、これを避けるために最大値 0dB のホワイトのイズを再生し、ディバイダ内部のボリュームで各音域を -3dB に下げて、同じファイルを再生したところ周波数特性は、図 2 5 のとおり問題ないものとなりました。0dB のホワイトノイズを使い色々実験してみると、阻止帯域減衰量の劣化が多いのはハイパスフィルタで、クロス周波数 5000Hz 前後の時最も影響が大きいようで、この場合も -4.5dB 高音を減衰させると、減衰量に問題はなくなりました。通常の音楽ではホワイトノイズほど高音のエネルギーが大きいわけではないので、必ずしも -4.5dB 下げる必要はないとは思いますが、ある程度、音量は減衰させたほうが良さそうです。

で、通常、ツイータの能率が最も高いので、ウーハーのアッテネーターの値を -3db 程度にしておき、これを基準に高域を絞れば、この悪影響からは逃れられるのではないかと思います。

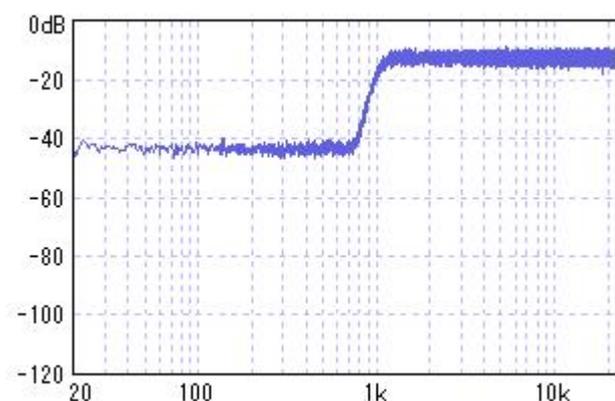


図 2 4 ゲイン調整無し

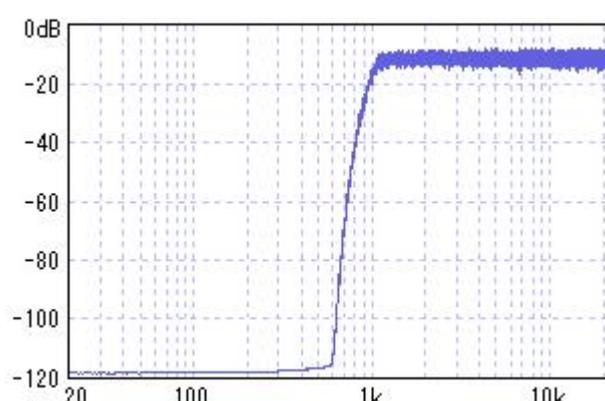


図 2 5 内部で -3dB ダウン

10. バッフルステップの補正とシェルビングフィルタの仕様について

スピーカを壁と床から離して設置すると、バッフルの大きさが有限であることから、波長の長い低域はスピーカボックスの後ろに回り込み反射せず、波長の短い高域はバッフル表面から反射します。この結果、低域は高域より 6dB ほど低下します。この現象をバッフルステップといいます。

図 2 6、図 2 7 に例を示します。四角のバッフルでは 1KHz 前後で音圧のピークがありますが、

これは反射波の影響で、バッフルの形状を工夫するかバッフルの角をラウンド型にするとかスピーカの周りを吸音処理することによりかなり押さえることができます。

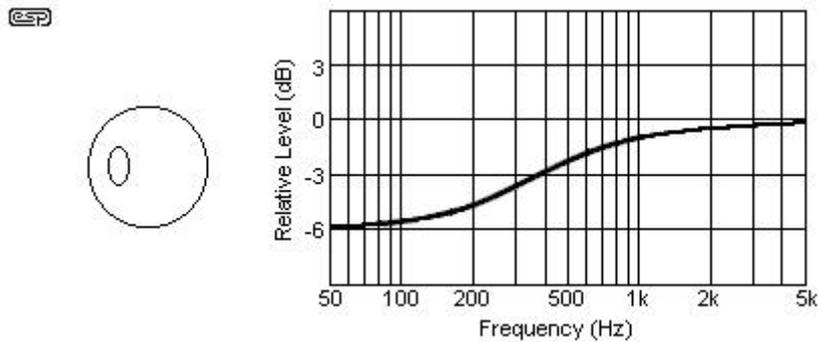


図 2 6 30cm の球

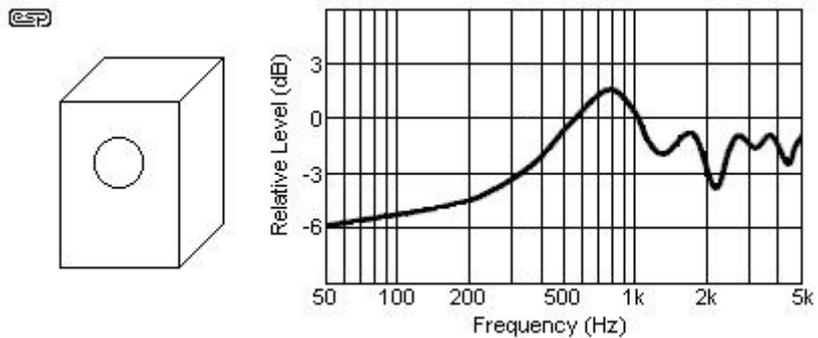


図 2 7 幅 30cm×高さ 45cm の直方体

バッフルステップの影響は、たとえば、edge.exe というプログラムで計算できます。ただし、edge.exe は、バッフルが直角に曲がっている場合を計算しており、角を丸めたラウンドバッフルなどの場合は 1KHz 前後のピークやディップの値は実際とは異なった値となります。

<http://www.tolvan.com/edge/>

図 2 8 に、幅 20cm、高さ 30cm の箱に直径 12cm のスピーカを入れた場合の edge.exe の計算結果を示します。

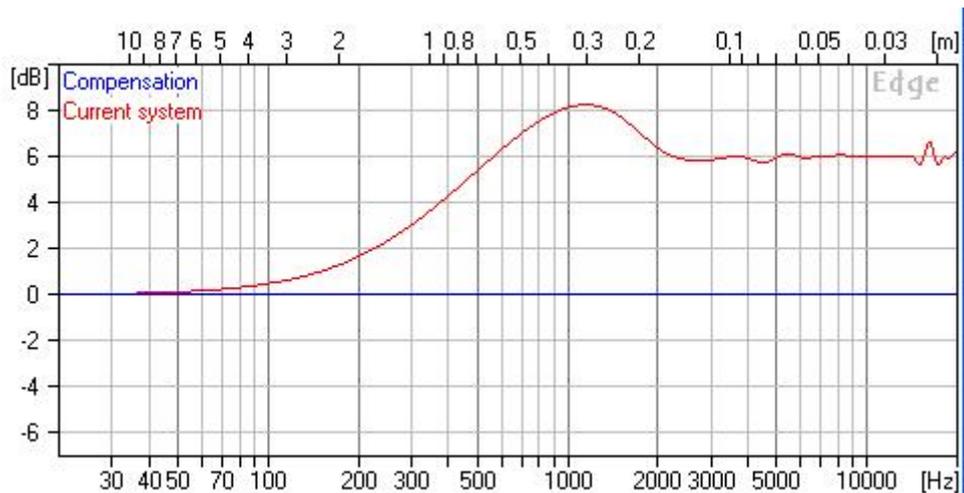


図 2 8 20cm×30cm の箱に 12cm のスピーカを入れた場合の edge の計算結果

バッフルステップの影響は、スピーカボックスが小型であるほど、高域側から現れます。通常の小型スピーカでは、600Hz 位から 100Hz 位にかけてなだらかに音圧が 6dB ほど低下します。よくできたネットワークであれば、この影響を考慮した設計がなされています。

一方、マルチアンプシステムの場合、アンプとスピーカユニットを直結にするため、この補正は困難です。アンプとスピーカの間に抵抗とコイルを用いたフィルタをいければ補正はできますが、これでは、せっかくのマルチアンプの良さが生かせません。

これを解決するために、直線位相 FIR 型のシェルビングフィルタを加えました。バッフルステップの補正を直線位相 FIR 型フィルタで行うことは正当なやり方ではないと思いますが、周波数特性をフラットにすること、使用方法を簡単にすること、プログラムの作成が容易であること、を優先し、直線位相 FIR 型フィルタとしました。

3way の場合、クロス周波数とレベル調整をうまく設定すれば小型 2way の場合ほどバッフルステップが問題になることはないと思いますが、クロスを低くとった、いわゆる、小型 2way+サブウーハーのような場合は考慮する必要があります。

なお、前述したように、四角いバッフルなどでは 1KHz 前後で音圧のピークが発生しますが、これは反射波の影響で、バッフルの形状を工夫するかスピーカの周りを吸音処理することによりかなり押さえることができますので、今回の補正の対象とはしませんでした。(物理的に対処できるものは、物理的に対処すべきだと思います。)

具体的には、音圧が低下を始める周波数と低下が終了する周波数と音圧低下量を指定し、これに沿った形で周波数特性が変化するようにフィルタ係数を定めています。フィルタ長は、サンプリング周波数 44.1KHz の場合、1205Tap としました。Tap 数はサンプリング周波数に比例し変化させています。(周波数特性を指定したデータ列に対して逆 FFT をかけ順番を並び替えることでフィルタ係数を求めています。)

シェルビングフィルタで低域を見かけ上増大させることにはなりますが、デジタルフィルタですので、実質は高域を低下させることにはなりません。

今回のシェルビングフィルタにおいて下降を始める周波数の最低値は 40Hz です。また、下降を終了する点は、開始する周波数の 2 倍より小さくはできません。

バッフルステップの補正用であるので、それほど低い周波数を指定することはなく、傾斜も急にすることはなく、また、フィルタ長をある程度短くしたことから、このような制限を設けました。

最終的には、求めたフィルタと、チャンネルディバイダ用のフィルタを畳みこむことにより、使用するフィルタを求めています。従って、フィルタ長は、サンプリング周波数が 44.1KHz の場合、

$$\text{最終フィルタ Tap 数} = \text{チャンネルディバイダ用に指定したフィルタ長} + 1205 - 1 + \text{遅延 Tap 数}$$

となります。なお、シェルビングフィルタにより上昇する量を 0dB にした場合はシェルビングフィルタは生成されません。

8. (1) ②で述べたように、シェルビングフィルタを含めたチャンネルディバイダの特性を計算するソフト **FirGain3B.exe** を作りましたので、使用する際の参考としてください。edge.exe などバッフルステップによる低域での低下量を計算した後、設置場所等を考慮し、必要に応じ補正をすれば良いと思います。

1 1. シェルビングフィルタを含めた特性の測定

シェルビングフィルタを利用した場合のチャンネルディバイダの周波数特性と、合成周波数特性を以下に示します。図 2 9 は、クロスを 200Hz、2000Hz にし、500Hz から 100Hz にかけて 6dB 上昇させた場合の周波数特性、図 3 0 は 3way の合成周波数特性です。いずれも指定通りの特性が得られています。

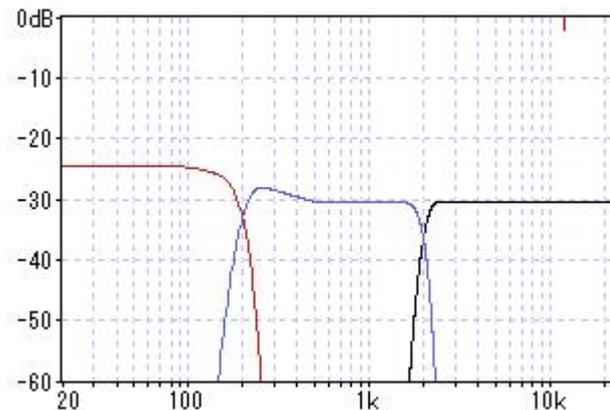


図 2 9 シェルビングフィルタの特性

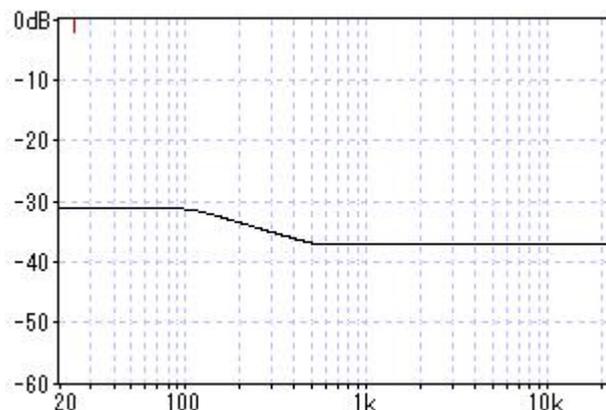


図 3 0 3way の合成周波数特性

1 2. 著作権など

本プログラムはフリーソフトです。非営利の場合は（商業用に使う人がいるとは思えませんが）自由に使って頂いてかまいません。再配布もご自由にどうぞ。ただし、再配布する場合はプラグインと **FirGain3B.exe** と本文書を同時に配布してください。

著作権は minn にあります。（日本の法律では著作権の放棄はできないらしいので）

1 3. 謝辞

本プログラムを作成するに当たり、いろいろご指導を頂いた a 氏、s 氏、n 氏、i 氏、t 氏に感謝いたします。また、FFT については、大浦拓哉氏作成のソフトを使わせていただきました。素晴らしいソフトを公開されている大浦氏に感謝いたします。

1 4. バージョン履歴

(1) channeldividerF3B foobar2000 Ver100 以降用

- 064 2ch ステレオ以外の音を再生し、シークなどを行ったときにクラッシュするバグを修正。(プラグイン自身は 2ch の音声に対してのみ機能することに注意)
- 063 foobar2000 Ver1.00 用 SDK (2010/05/21 版) でコンパイル。この結果、foobar2000 Ver1.0 以降でのみ使用可能となった。

(2) channeldividerF3B foobar2000 Ver096 以降用

- 062b 2010/05/05 tap 数を変えたときにトータルフィルタ長をすぐに表示するように変更
- 062 2010/05/05 シェルビングフィルタを加えた最初のバージョン

(3) channeldividerF3 foobar2000 Ver096 以降用

- 062 2009/10/25 tempBufDim を前回の計算より大きい場合のみ変更することとし、chunk の大きさが小さくなったときのノイズに対応。指定 Tap 数より chunk サイズが大きい場合の時の計算式を変更しノイズの発生の可能性に対応。
- 061 2009/10/12 foobar2000Ver095 用 SDK 対応、vista 対応。
バージョン番号を 2way とあわせた。
- 040 foobar2000Ver091 対応

(4) channeldividerF3 foobar2000 Ver083 用

- 045 2009/10/25 tempBufDim を前回の計算より大きい場合のみ変更することとし、chunk の大きさが小さくなったときのノイズが発生する可能性に対処。指定 Tap 数より chunk サイズが大きい場合の時の計算式を変更しノイズの発生の可能性に対応。
- 032 2006/05/24 関数名 (flush) のミスを修正
- 031 2005/05/24 フィルタ係数の最後がずれる場合があったことを修正。
- 030 2005/05/11 デイレイを追加。
- 020 フィルタ係数調整を追加。
- 010 最初のバージョン