

## デジタルチャンネルディバイダ channeldivierF3 Ver0.32 及び Ver040 について

## 1. 概要

FIR(直線位相)型の3Wayの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。

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

foobar2000はVer083からVer090に変わって、構造がかなり変化しました。Ver083はWindows 95、98、ME、NT、2000、XPで動作しますが、Ver09はWindows 95、98、ME、NTでは動作しません。また、プラグインもVer08用のものとVer09用のものでは互換性が無くなりました。foobar2000とchanneldivierF3のバージョンの対応は以下の通りです。

foobar2000 Ver083	channeldivierF3 Ver032
foobar2000 Ver09	channeldivierF3 Ver040

なお、公式サイトでは、既に、旧バージョンであるVer083は既にダウンロードできなくなっているため、Ver083を使いたい方は、以下のミラーサイトなどからダウンロードしてください。

<http://www.clubic.com/telecharger-fiche11022-foobar2000.html>

## 3. 配布ファイルの説明

- ・foo\_dsp\_channeldivierF3.dll プラグインです。
- ・FirGain3.exe Tap数と周波数特性の関係を示すプログラムです。
- ・ReadMe3Way.pdf 本文書です。

## 4. 仕様

現状の仕様は以下の通りです。

- ・フィルタの種類：カイザー窓を用いたFIR(直線位相)型
- ・遮断特性：Tap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(FirGain3.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
- ・出力bit数：Outputプラグインで指定
- ・対象音源：音源が2ch(ステレオ)の時のみチャンネルディバイダとして動作。その他のch

数の場合は音声を加工せずそのまま出力

## 5. 動作環境

- ・ foobar2000 が動作する環境
- ・ CPU : Pentium 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

なお、Ver032 を動作させるためには msvc70.dll が別途必要です。msvc70.dll は

<http://www.vector.co.jp/vpack/filearea/win/util/runtime/index.html> の  
[VC++ .NET ランタイムインストーラー 1.0](#) などで手に入れることができます。

## 6. 使い方

### (1) インストールなど

#### (a) Ver032 の場合

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\_channeldividerF3.dll を入れてください。

もし、システムに msvc70.dll がインストールされていない場合は windows フォルダの system32 ディレクトリか、foobar2000.exe と同じフォルダに msvc70.dll を入れてください。

メニューの foobar2000 から preferences を選び DSP Manager で channeldividerF3 を有効にします。

DSP Manager の下の channeldividerF3 を選択し、希望のクロス周波数などを入力します。設定は、一旦曲を終了させ、曲の再生が開始されるときに変更されます。

#### (b) Ver040 の場合

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\_channeldividerF3.dll を入れてください。

メニューの foobar2000 から preferences を選び DSP manager で channeldividerF3 を有効 (Active DSPs) にします。

Configure selected を押し、セッティング画面を出し、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) 周波数の指定について

クロスオーバー周波数は、adjust Coefficient (係数調整) チェックボックスにチェックが入っている場合は、低域のローパスフィルタと中域のバンドパスフィルタの低域側は同一の周波数のみ指定可能、中域のバンドパスフィルタのローパス側と高域のハイパスフィルタについても同一の周波数のみ指定可能です。チェックボックスのチェックをはずすとそれぞれ独立に指定できることとなります。詳細は後述します。

### (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) 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。なお、クロス周波数、遮断特性、遅延の設定については、次に再生ボタンを押し再生が開始された時点で変更されます。

### (5) レベル調整

0.5dB 単位でアッテネートできます。Ver032 は曲を再生中にレベルを変動させると瞬時に

音量も変更されますが、Ver040 では、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低域、中域、高域とも - 3 dB 以下にすることを勧めます。(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、10 . 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のがないのが悩ましいところですが。

## 7 . いいわけ

作者はデジタル処理に関してもプログラム作成に関してもド素人です。FIR フィルタを使いためにデジタル処理を入門書を読んで勉強し(見よう見まねで中身を良く理解せずに) PASCAL (delphi) でチャンデバを作って遊んでいました。これは waveFile 限定、DirectSound 限定だったので、CD を直接再生し A S I O で出力したいために(これを 1 から作るのは私には不可能です) foobar のプラグインの作り方及び C + + の勉強を始めました。というわけで、hello world の類以外では作者が C + + を使用して作ったものとしては channeldivierF に続く 2 番目のソフトです。(まだ C + + をよく理解していません。本来、フィルタ係数についてはクラス化した配列として 2 Way も 3Way も統一的に扱うべきなのでしょうが、クラスとか継承とかがよくわかっていないので、2 Way と 3Way を別々に作成しています。) ということで、ひょっとしたらとんでもないミスをしている可能性があります。また、ここに書いていることも間違いがたくさんあると思います。その場合は、なにとぞご容赦ください。

## 8 . 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奨めします。(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)

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。

## 9 . 仕様などの詳細

### (1) 遮断特性

#### 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。チャンデバの場合、CD のダイナミックレンジや AD 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になりませんが、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。

FirGain3.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 FirGain3.exe を別に作成しました。(前に delphi で作ったチャンデバの表示部分をそのまま使いました。手抜きソフトですので描画にやたら時間がかかることがあります)

プログラムを立ち上げると、以下のような画面(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、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。)

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。)の効果が変わりやすいと思います。

The screenshot shows the 'Filter Characteristics Calculation' (フィルタ特性計算Calc) window. It is divided into three main sections:

- クロス周波数指定 (Crossover Frequency Specification):** Contains input fields for 'Cross Hz' and 'NTap'.
  - Low: Cross Hz = 200, NTap = 601
  - Mid: Cross Hz = 2000, NTap = 501
  - High: Cross Hz = 2000, NTap = 301
- タップ数指定 (Tap Count Specification):** This section is currently empty.
- カイザー窓推薦Tap数(参考) (Calculation of filter length(Taps) for reference):** Contains input fields for 'PassBand', 'StopBand', and 'StopBand Attenuation'.
  - PassBand: 300 Hz
  - StopBand: 900 Hz
  - StopBand Attenuation: 144 dB

At the bottom, there is a checked checkbox for '係数調整 adjust coefficient' and a 'Calc' button.

#### 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 のものに限ら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。

#### 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。)

#### フィルタ係数の調整について

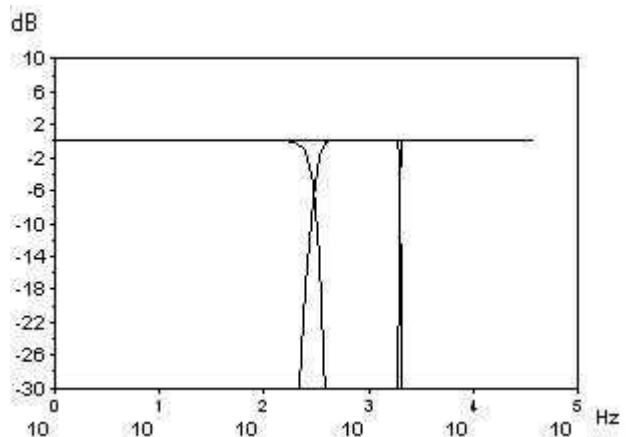
カイザー窓を用いた FIR フィルタの場合、見かけ上同一の遮断特性を得るためにはクロス

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、3 Way 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。

下図は、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。

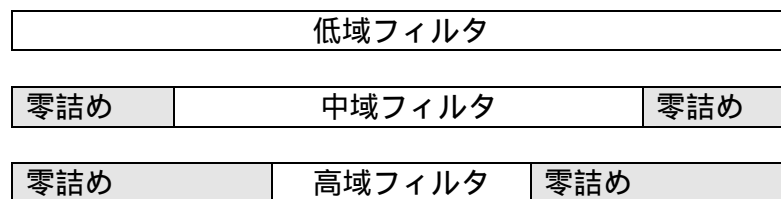
scilab についてはこちらをご参照ください。

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

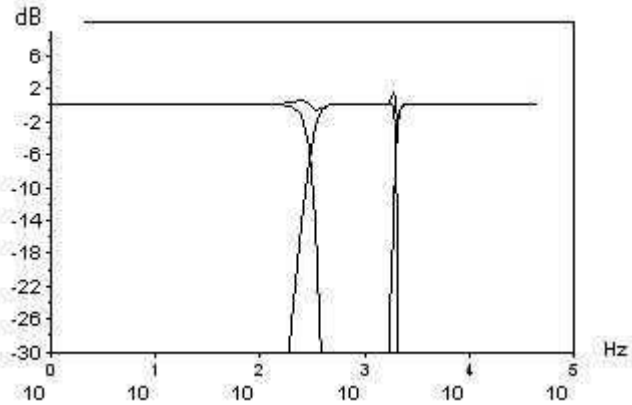


これを避けるためには、各フィルタ毎に Tap 数を指定すればよいわけですが、カイザー窓でこれを行うと問題が生じます。

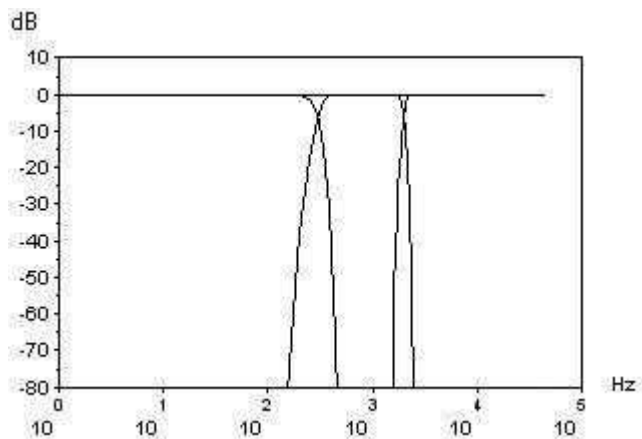
FIR フィルタは、計算の起点となる時点はフィルタ係数の中央ですから、まず、タップ数の異なる 3 つのフィルタの群遅延をそろえるために、フィルタ係数の中央をあわせ、Tap 数の短いフィルタの前後にゼロを詰めます。こんな感じです。



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 で計算したものは以下の通りで、合成特性はフラットになっていません。



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での計算結果は以下の通りであり、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。



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りなくなります。

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。)(いずれも Ver032 の場合)

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  $343.5\text{m/s}$  (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  $44100\text{Hz}$  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

本プラグインは内部演算を倍精度浮動小数点 (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。データの引き継ぎは foobar2000Ver083 の場合は 64bit 浮動小数点、Ver090 の場合は 32bit 浮動小数点で行われます。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 以上を推奨します。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がのるため、微少音がザラつくと言われています。24bit 出力にすれば、誤差が十分小さくなること、A/D 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。

## 10. 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試みました。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 につけピークホールドさせたものが、図 1、図 2、図 3 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。

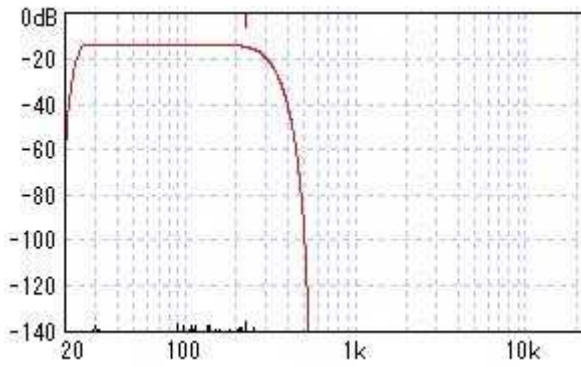


図1 低域

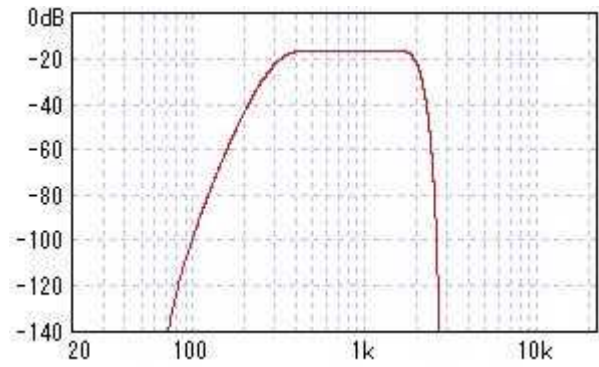


図2 中域

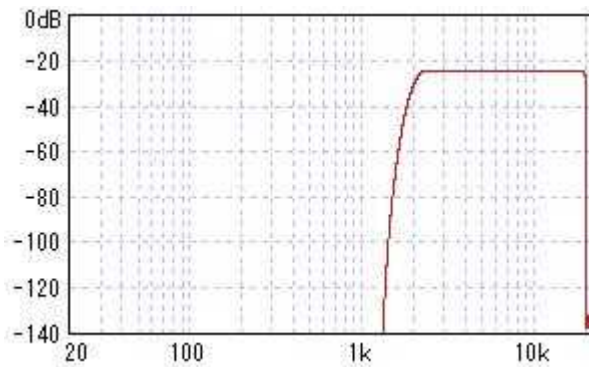


図3 高域

## (2) 合成周波数特性

channeldividerF3 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4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5のとおりでありクロス周波数で特性が波打っています。(20Hz 前後が波打っているのは測定上の問題(録音ボタンを押すタイミングがずれたため)です。)

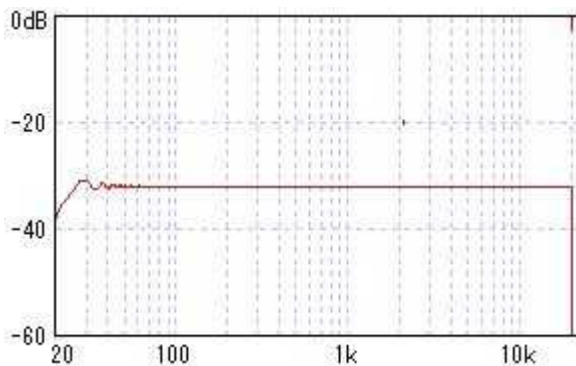


図4 合成周波数特性、係数補正有り

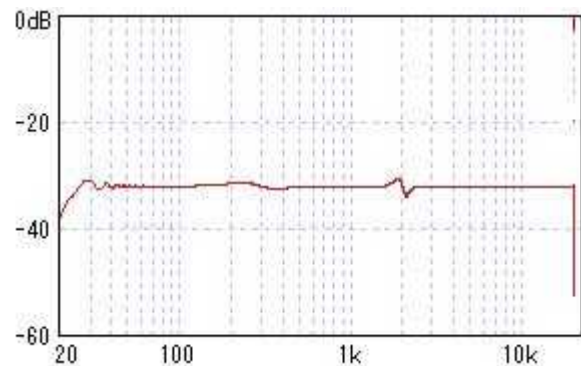


図5 合成周波数特性 係数補正無し

## (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6、図7です。ChanneldividerF3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ど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。

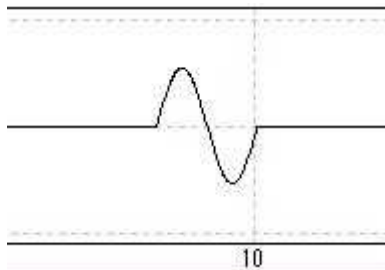


図6 300Hz 単発サイン波合成波形

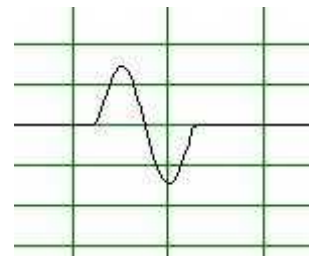


図7 2000Hz 単発サイン波合成波形

#### (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8、図9、図10、図11です。変な歪は出ていないようです。

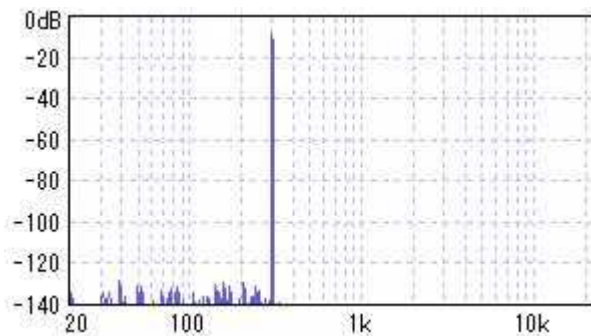


図8 300Hz 純音低域

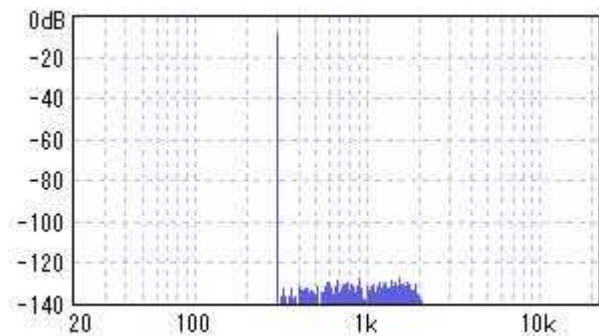


図9 300Hz 純音中域

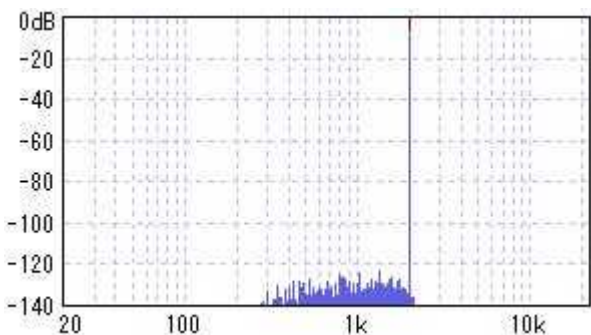


図10 2000Hz 純音中域

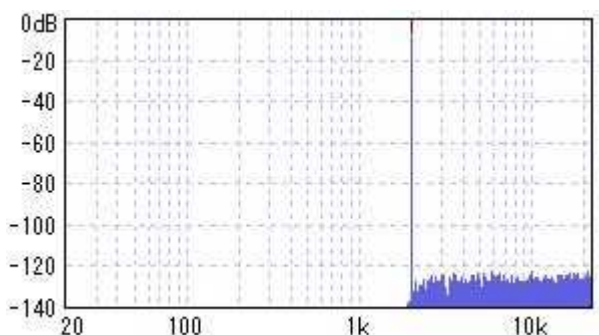


図11 2000Hz 純音高域

#### (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に入力しでリサージュを描かしてみました。図12、図15が遅延無し、図13、図16が中域、高域を半

波長：180度（74Tap、11Tap）遅延させたもの、図14、図17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が、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

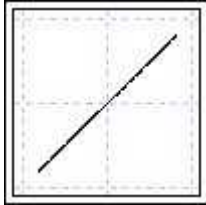


図 12

300Hz 半波長遅延

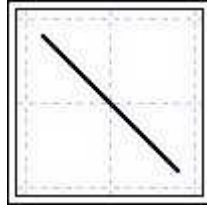


図 13

300Hz90度遅延

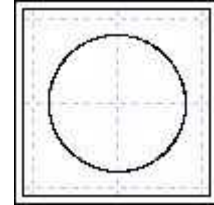


図 14

2000Hz 遅延無し

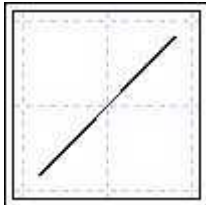


図 15

2000Hz 半波長遅延

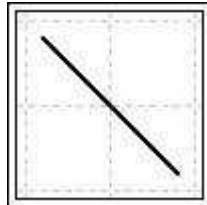


図 16

2000Hz90度遅延

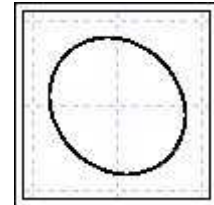


図 17

#### (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(foobar2000Ver091の場合は単精度)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。

ところで、デジタルチャンドバの場合、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 J P O P 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きます。(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、チャンド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0 dB 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、1 KHz 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18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 0 dB のホワイトノイズを再生し、ディバイダ内部のボリュームで各音域を - 3 dB 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 19 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。

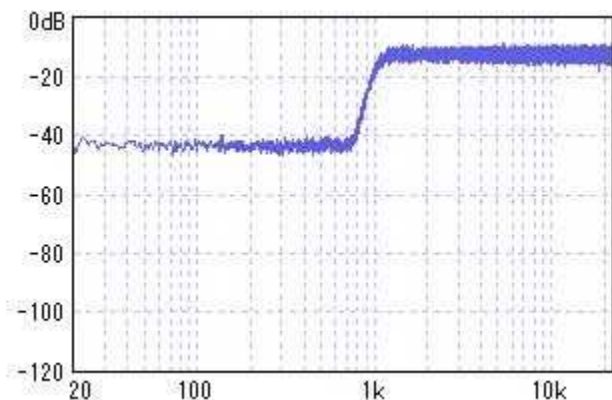


図 18 ゲイン調整無し

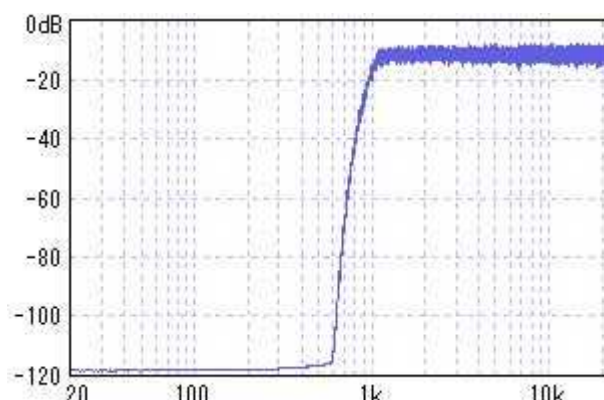


図 19 内部で - 3dB ダウン

### 1 1 . 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 FirGain3.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 2 . 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。

General Purpose FFT(Fast Fourier Transform) Package

Copyright © 1996-2001 by Takuya OOURA

<http://momonga.t.u-tokyo.ac.jp/~ooura/index-j.html>

### 1 3 . バージョン履歴

040 2006/05/29 foobar2000Ver091 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のを修正した。  
030 2005/05/11 デイレイを追加した。  
020 フィルタ係数調整を追加した。  
010 最初のバージョン