

各種設定、実験は以下の（２）～（７）の手順で作業をおこなってください。

	page
（１）ANCKIT3 feedback ANC 付属DVDの内容	2
（２）ASIO対応USBオーディオ・デバイスのセットアップ	3
（３）パソコンのパフォーマンス・テストと設定	5
（４）ループバック接続による消音プログラムの動作テスト	7
（５）スピーカー／マイクの配置	10
（６）マイクとスピーカーを接続した状態でのテスト信号を用いた消音プログラムの動作テスト	11
（７）消音実験	13
（８）実機（機械、エンジン等）での消音実験の方法	19

有限会社ケプストラム
 206-0021 東京都多摩市連光寺2-33-1
 TEL (042)357-0621
 FAX (042)357-0622
 dsp@cepstrum.co.jp
<https://www.cepstrum.co.jp>

(1) ANCKIT3 feedback ANC 付属DVDの内容

ディレクトリ	内容
¥	消音実験プログラム、説明書etc
AMP_AMP05mk2	パワーアンプ AMP05mk2 製品資料 (ANCKIT3に添付されているパワーアンプの種類は出荷時期等により異なります)
AMP_DCP100	パワーアンプ DCP100 製品資料 (ANCKIT3に添付されているパワーアンプの種類は出荷時期等により異なります)
free_soft	消音実験に使用する各種フリーソフトを収録
freebasic_build_source	消音実験プログラムのソースetc (FreeBASIC)
freebasic_installer	FreeBASICのインストーラ、開発環境FbEdit etc
MIC_AT9903	マイク AT9903 製品資料
MIC_AT9904	マイク AT9904 製品資料
scilab_inataller	シミュレーション・ソフト Scilab のインストーラetc
scilab_sim_source	Scilabのシミュレーション・プログラム
subwoofer_catalog	実機での消音実験に適したサブウーハー (スーパーウーハー) のカタログ
toda_anc_doc	戸田建設の feedback ANC の文献
USB_AMS-24	ASIO対応USBオーディオデバイス AMS-23 製品資料 (ANCKIT3に添付されているUSBオーディオデバイスの種類は出荷時期等により異なります)
USB_UMC202HD	ASIO対応USBオーディオデバイス UMC202HD 製品資料 (ANCKIT3に添付されているUSBオーディオデバイスの種類は出荷時期等により異なります)

(2) ASIO対応USBオーディオ・デバイスのセットアップ

- ・ ASIO対応USBオーディオ・デバイスのパソコンへの接続、セットアップの作業をおこなってください。
- ・ 最初にWindows用のドライバのインストールをおこなってください。 インストール作業が終わるまでUSBオーディオ・デバイスはパソコンに接続しないでください。
- ・ デバイス・ドライバのインストールが終わったら、以下の手順で動作確認が出来ます。

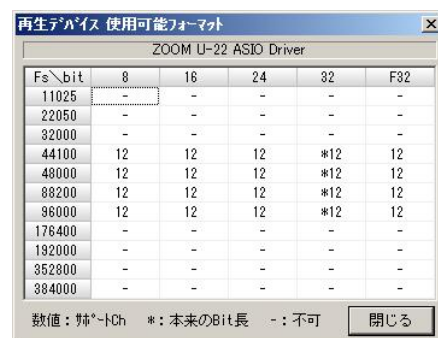
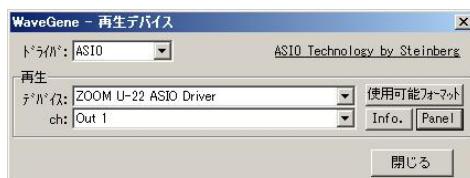
1. asio_list.exe を実行してUSBオーディオデバイスがPCに接続され、デバイス・ドライバもインストールされていることを確認してください。



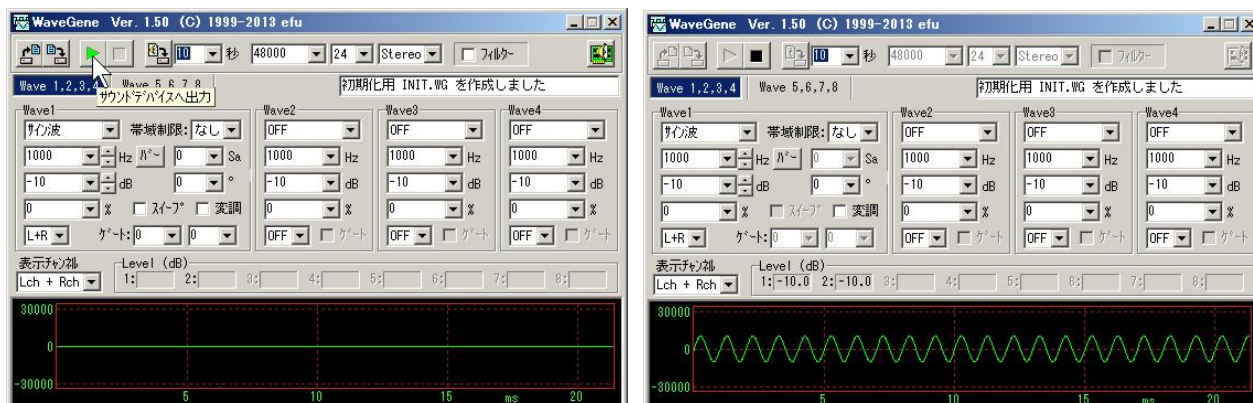
2. 次にフリーソフトの WaveGene をパソコンにインストールしてください。
操作方法はヘルプの wg.chm をご覧ください。 wg.chm を読めない場合は、フリーソフトの Sumatra PDF を使ってください。 (WaveGene, Sumatra PDF とともに feedback ANC の DVD に収録してあります)
3. wg.exe (WaveGene) を起動したら、右上の再生デバイスの設定ボタンを押して使用するオーディオ・デバイスの設定をおこなってください。



ドライバは「ASIO」、再生デバイスはインストールしたASIO対応USBオーディオ・デバイスを選択してください。 「使用可能フォーマット」のボタンを押すと、デバイスが対応しているサンプリング周波数等を確認出来ます。



4. メイン画面上部でサンプリング周波数、分解能（bit幅）、Mono/Stereo の設定をおこなった後に緑色の三角形の「サウンドデバイスへ出力」ボタンを押すとテスト・トーンが再生されます。
オーディオ・デバイスのヘッドホン端子にヘッドホン／イヤホンを接続して正常に再生されていることを確認してください。

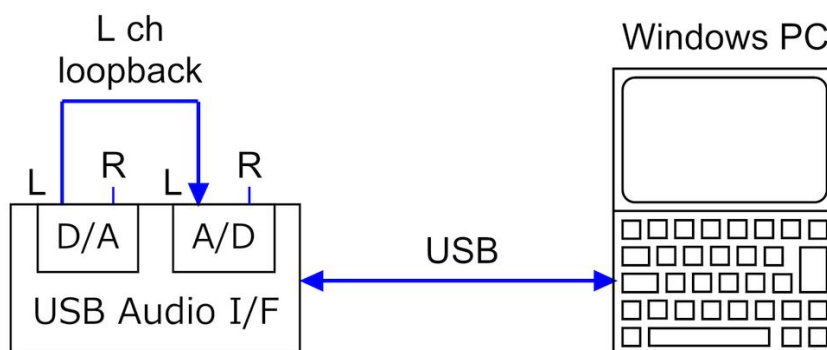


★ ASIO対応USBオーディオ・デバイスの設定の注意点

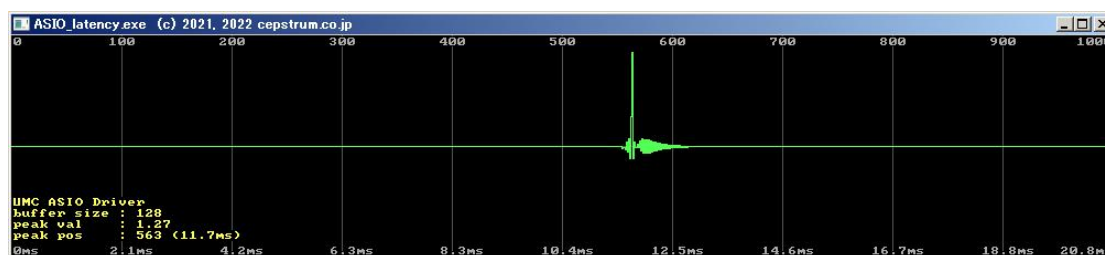
マイク入力のファンタム電源（48V）の設定スイッチは必ずOFFの状態で使用してください。
このスイッチは外部48V電源で動作するマイクロホンへの電源供給をおこなうためのものです。
設定を誤ると48V電源非対応のマイクロホンを破損する可能性があります。
オーディオ・デバイスのマニュアルや本体の表示は「ファンタム電源」、「48V」、「+48V」等となっています。

(3) パソコンのパフォーマンス・テストと設定

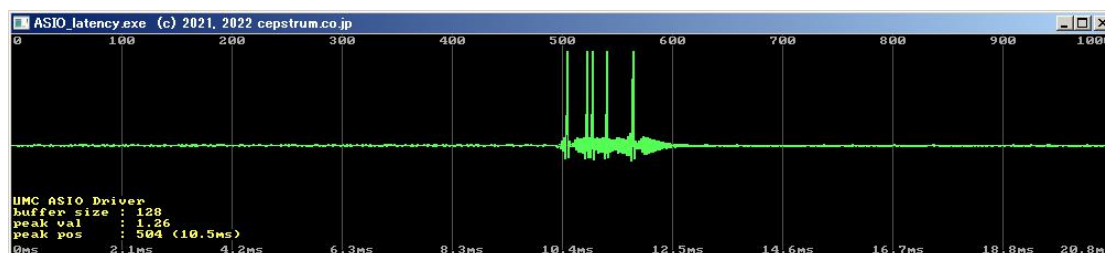
- ・ASIO対応USB対応オーディオ・デバイスが動作するようになったら、次にパソコンのパフォーマンス・テストと設定をおこなってください。Windowsパソコンの処理能力の制約により、実時間処理の実験をおこなうために各種設定が必要となる場合があります。
- ・オーディオ・デバイスの左チャンネル（L ch）の入力と出力を直結（ループバック接続）して、以下の手順でパフォーマンス・テストをおこなってください。入力端子の信号レベルはライン入力に設定してください。信号がクリップしなければ、入出力のレベル設定は適当でかまいません。
- ・入力端子がバランス入力、出力がアンバランス接続のデバイスをループバック接続すると、バランス入力信号ラインの片側がフローティングとなりノイズが混入しますが、パフォーマンス・テストには問題ありません。



1. start_asio_latency.bat を実行してください。このバッチ・プログラムの中からテスト・プログラム本体の asio_latency.exe が起動されます。（asio_latency.exe を直接実行しないでください）ループバック接続したA/D・D/Aのインパルス・レスポンス、すなわち処理遅延を適応フィルタを用いて計測してグラフ表示します。グラフは重ね書きされるので、適応フィルタが収束して表示が安定したところで、「e」キーまたは「r」キーを押して画面をリフレッシュしてください。（e=erase, r=refresh）
2. 画面リフレッシュ後、1時間程度放置して処理遅延の変動が生じないことを確認してください。（プログラムの実行終了は「ESC」キーです）



リフレッシュ後の画面



遅延変動が生じた場合の画面

3. もし遅延変動が生じていた場合は、Windowsパソコンの設定を変更してオーディオ処理の負荷を減らす必要があります。下記に示すように、負荷の重いソフトのアンインストール、機能停止等の対策をおこなって遅延変動が生じないようにしてください。

- ・ ウィルス対策ソフトやパーソナル・ファイアー・ウォールをアンインストールする。
Windowsディフェンダーを無効にする。
これらのソフトに一時的に機能をオフにするオプションがある場合は、アンインストールする代わりに一時的に負荷のかかるチェック機能を停止してください。
- ・ これらの処置をおこなうとセキュリティ面の脆弱性の問題が生ずるため、パソコンはネットワークから切り離してください。（LANケーブルを抜く、デバイスドライバを設定を無効にして無線LAN/WiFiを使えないようにする）
- ・ バックグラウンドで動作するハウスキーピング用途のプログラム（CCleaner, Advanced SystemCare etc）をアンインストールする。
- ・ その他にシステムの負荷を重くするソフトウェアがあればアンインストールする。
- ・ Windowsやその他のアプリケーション・ソフトの自動アップデート機能を停止する。
- ・ Windowsのパフォーマンスの設定で省電力設定がかかっている場合は、省電力設定をはずす。

Windows10/11をプリインストールして販売されているノートPCであれば、プロセッサの演算能力には十分な余裕があるはずです。連続的なオーディオ入出力時に聴感上は検知不能な遅延変動が発生する原因は他の「重い」アプリケーション・ソフトにあります。

小型のミニPCでは搭載しているプロセッサのカatalog性能上は十分な処理性能を持っていても、発熱を抑えるためにBIOSレベルでパワーマネジメントがかかっているため演算能力が不足する場合があります。

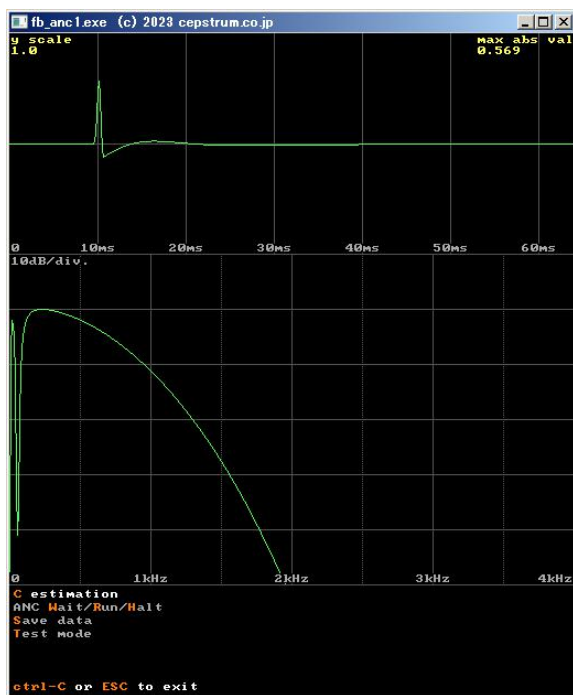
(4) ループバック接続による消音プログラムの動作テスト

- ・ ASIO対応USBオーディオ・デバイスのループバック接続状態（パソコンの左チャンネルの出力と入力をケーブルで短絡）で、消音実験プログラムの動作テストをおこなってください。 信号がクリップしなければ、USB接続オーディオ・デバイスのレベル設定は適当でかまいません。

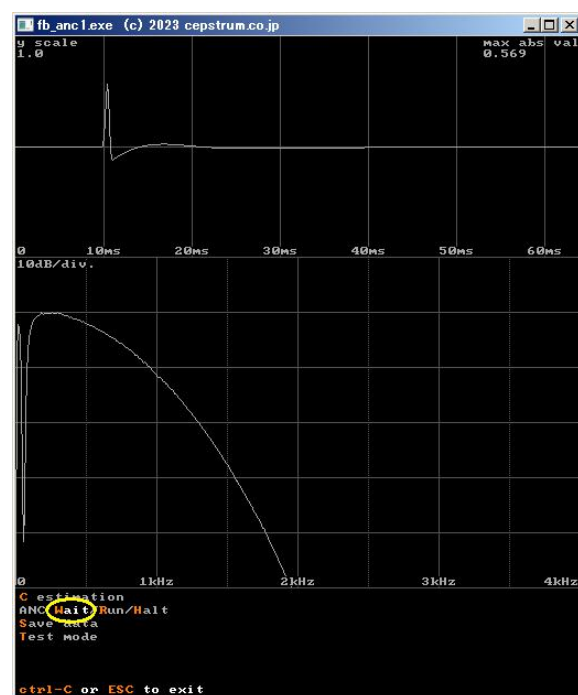
1. プログラム start_fb_anc1.bat を実行してください。 ANCプログラム本体の fb_anc1.exe が起動されます。（fb_anc1.exe を直接実行しないでください）
起動後ただちに二次経路（secondary path）の伝達特性測定が始まります。 適応フィルタのステップサイズ・パラメータ μ の設定が小さめになっているので、収束するまで2～3分待ってください。

信号レベル設定は適応フィルタが概ね収束したところで、画面右上の「max abs val」の値が 0.5～1.5 程度となることを目安にしてください。 定格入力100mW～200mW程度の小型のスピーカーを用いているので、スピーカーからの再生音（トレーニング用ノイズ）の音量をあまり上げすぎないでください。

2. 二次経路測定の適応フィルタがおおむね収束したところで、「W」（Wait）キーを押して待機状態にしてください。（ANCの消音動作はまだ始まりません）
上段のグラフは適応フィルタ係数（インパルス・レスポンス）、下段のグラフはFFTで求めた周波数特性です。



二次経路伝達特性測定中

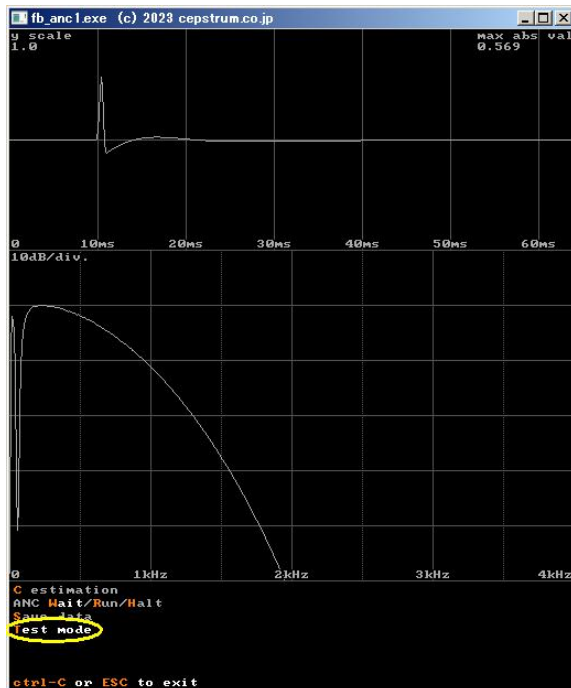


待機状態

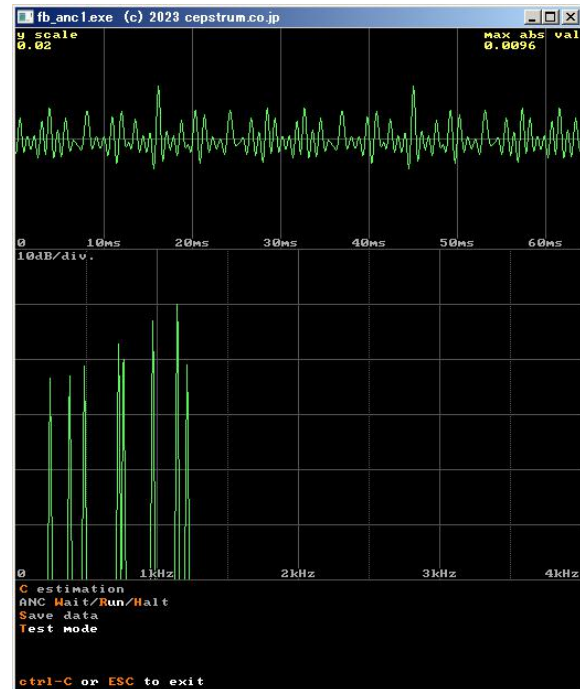
3. 次に「T」（Test mode）キーを押してテスト信号（周期性雑音）をオンにしてください。
テスト信号がプログラム内部で発生されます。

4. 「R」 (ANC Run) キーを押すとANCの消音動作が始まります。

USBオーディオ・デバイスのヘッドホン端子にイヤホン／ヘッドホンを接続すれば消音状況を耳で確認できます。 適応フィルタが収束して十分な消音効果が得られたところで、「S」キー (Save data) を押せば適応フィルタ係数をファイルにセーブすることが出来ます。 (ファイル名は日付の入った名前になります)

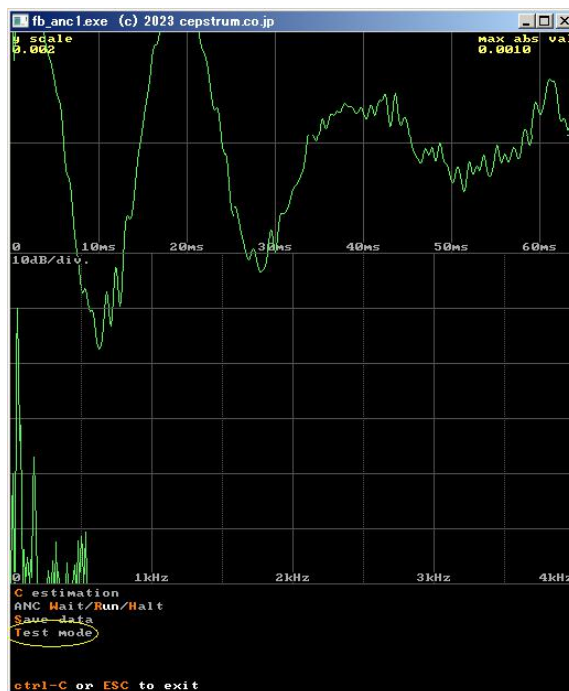


Test mode 設定



消音動作中

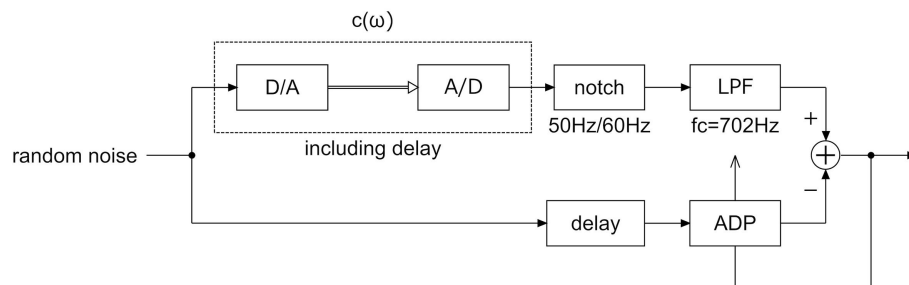
「T」 (Test mode) キーを押ずに、テスト信号 (周期性雑音) 無しの状態でANCの消音動作を開始するとUSB接続オーディオデバイスの内部雑音 (残留雑音) を無理やりに消音しようとするのでANCの適応フィルタの収束は滅茶苦茶に乱れます。



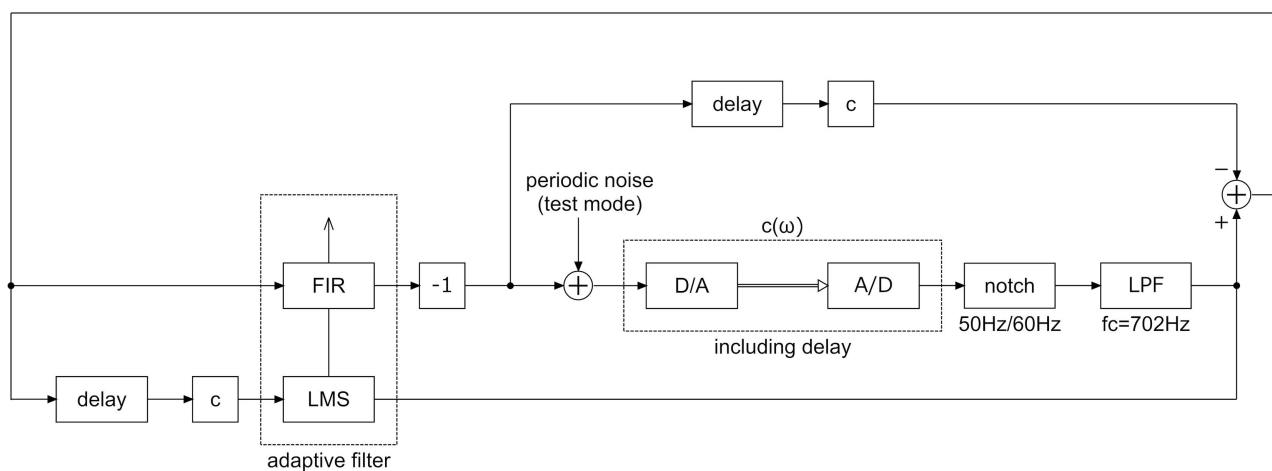
5. 「H」 (ANC Halt) キーを押すと、適応フィルタの係数更新はおこなわずに消音動作のみを続けます。プログラムの実行を停止する場合は ctrl-C (「CTRL」キーと「C」キーの同時押し) 入力するか、「ESC」キーを押してください。

6. 「S」キー (Save data) を押せば適応フィルタ係数をファイルにセーブすることが出来ます。
(ファイル名は日付の入った名前になります)

- ・二次経路測定 $c(\omega)$ の伝達特性 (インパルス・レスポンス) 測定時 (C estimation) のブロック・ダイアグラム

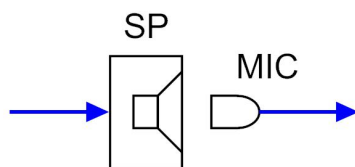


- ・消音実行時 (ANC Run) のブロック・ブロックダイアグラム
ダクト消音システムと少し構成が異なり、フィードバックがかかったような形になります。
消音用の適応フィルタ (FIR+LMS) は音響系の伝達特性を近似するのではなく、周期性雑音を消音するための予測器としてはたります。
消音対象の周期性雑音はプログラム内部に注入されます。

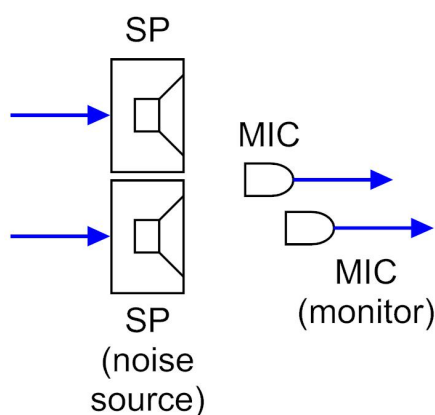


(5) スピーカー／マイクの配置

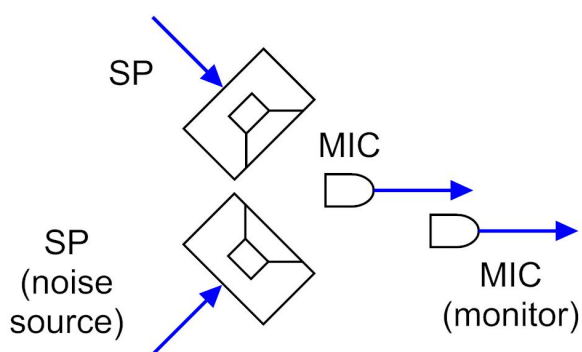
- ・スピーカー／マイクを用いたテスト、消音実験では下図のようにスピーカー／マイクが接近した配置にしてください。



Test mode での消音実験時の配置



消音実験時の配置の一例（その1）

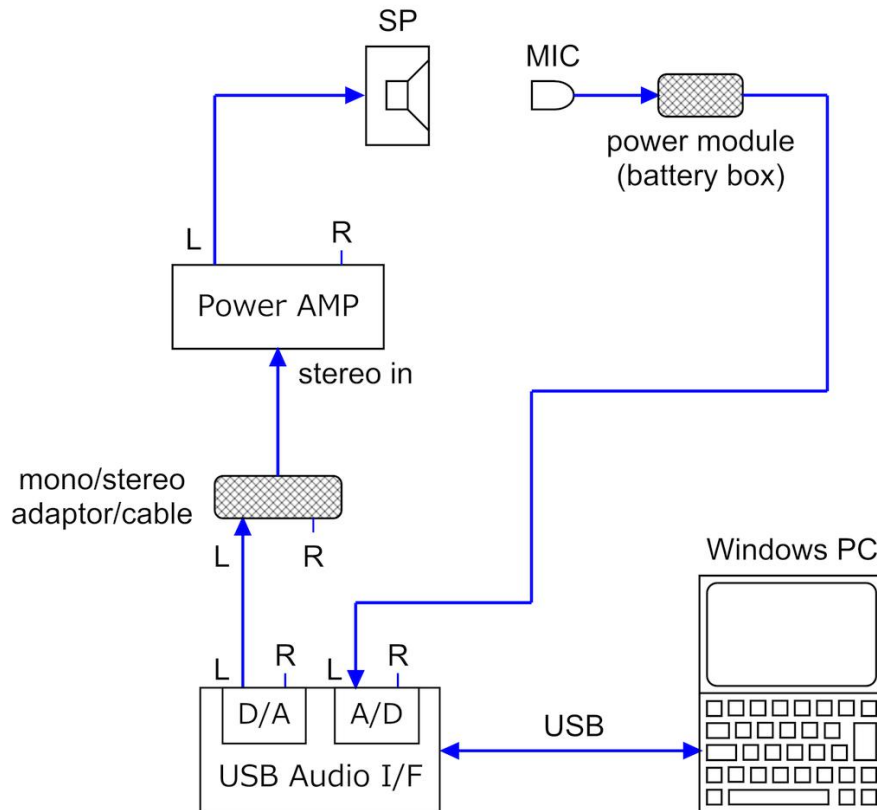


消音実験時の配置の一例（その2）

- ・ ANCKIT3付属のスピーカーは小型のものなので、消音効果の大きい低域の再生能力が限られています。原理的に周波数が高くなるほどスピーカー／マイクの距離を離すと極端に消音効果が低下します。実機（機械、エンジンetc）で消音実験をする場合は、低域まで再生可能周波数が伸びているサブウーハー（スーパーウーハー）を用いてください。100Hzを下回るような低音域でも良好な消音性能が得られます。詳細に関してはこの説明書末尾の「実機（機械、エンジン等）での消音実験の方法」をご覧ください。

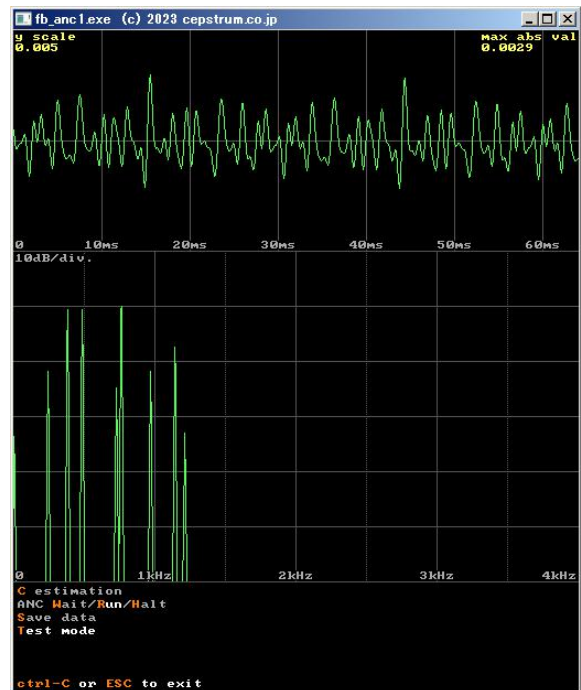
(6) マイクとスピーカーを接続した状態でテスト信号を用いた消音プログラムの動作テスト

- ・ ループバック接続していたケーブルを外して、マイクとスピーカーを接続してください。
消音対象となる周期性雑音を再生するスピーカーは使用せずに、プログラム内部で発生したテスト信号も消音用スピーカーから再生して動作テストをおこないます。



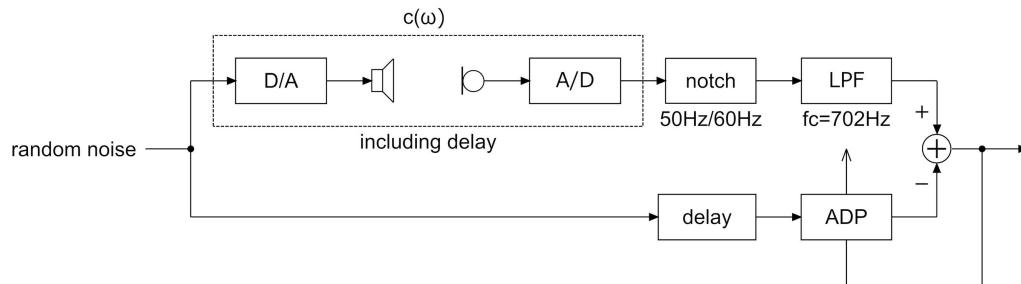
- ・ プログラムの操作手順はループバック接続での動作テストと同じです。

start_fb_anc1.bat 実行 → C estimation → ANC Wait → Test mode → ANC Run

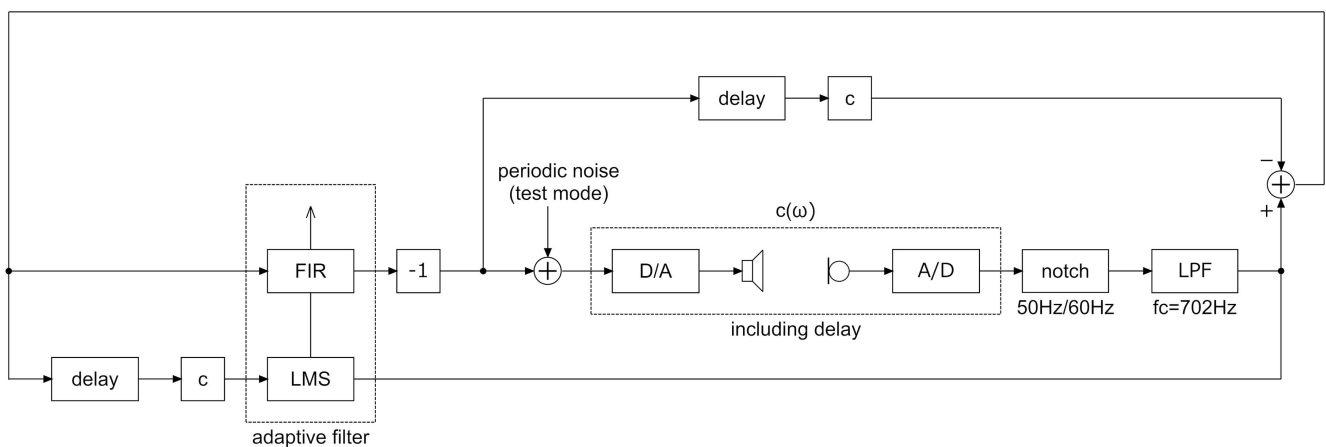


- ・「S」キー（Save data）を押せば適応フィルタ係数をファイルにセーブすることが出来ます。
（ファイル名は日付の入った名前になります）

- ・二次経路測定 $c(\omega)$ の伝達特性（インパルス・レスポンス）測定時（C estimation）のブロック・ダイアグラム

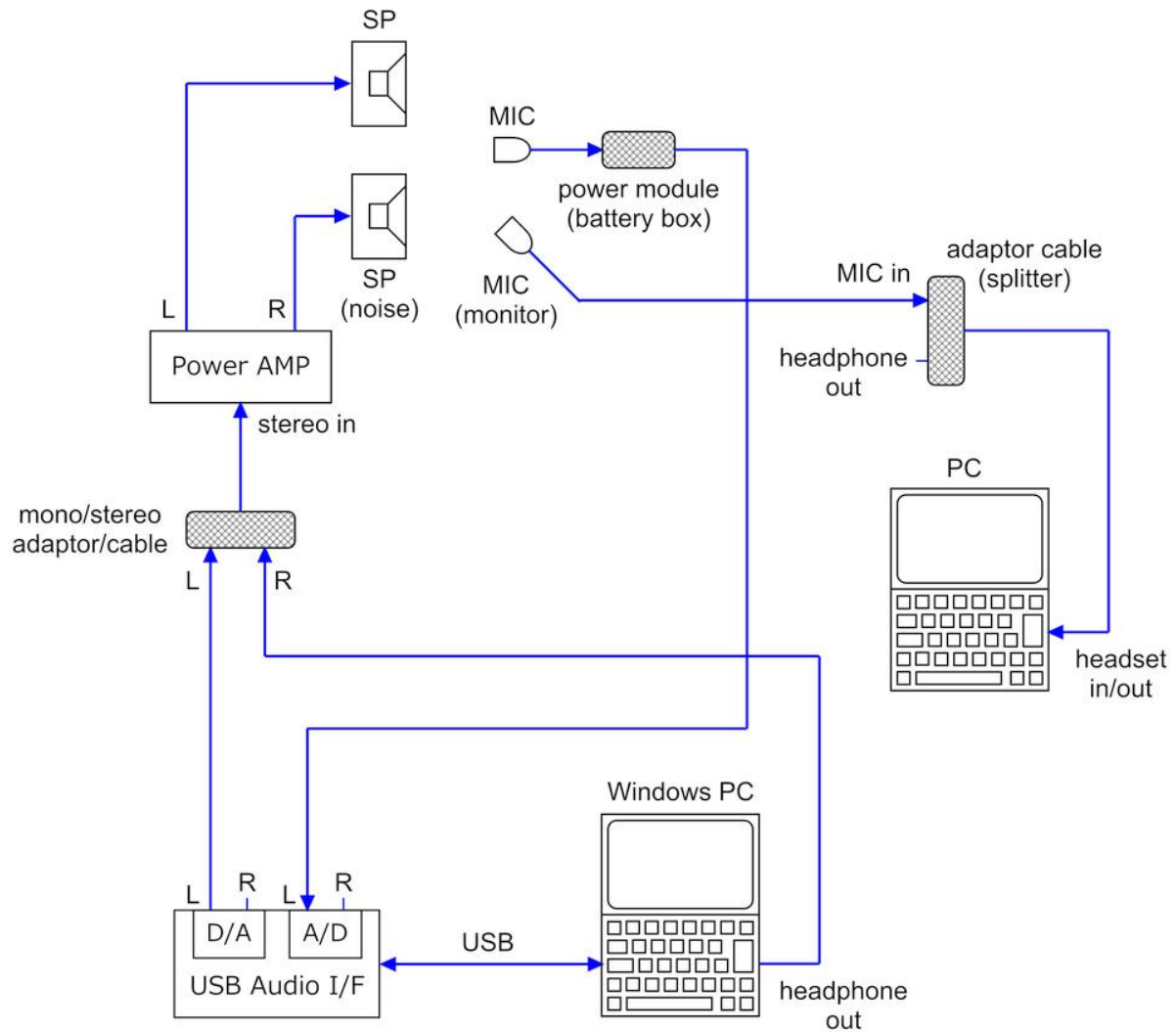


- ・消音用の適応フィルタ（FIR+LMS）は音響系の伝達特性を近似するのではなく、周期性雑音を消音するための予測器としてはたります。
消音対象の周期性雑音はプログラム内部に注入されます。

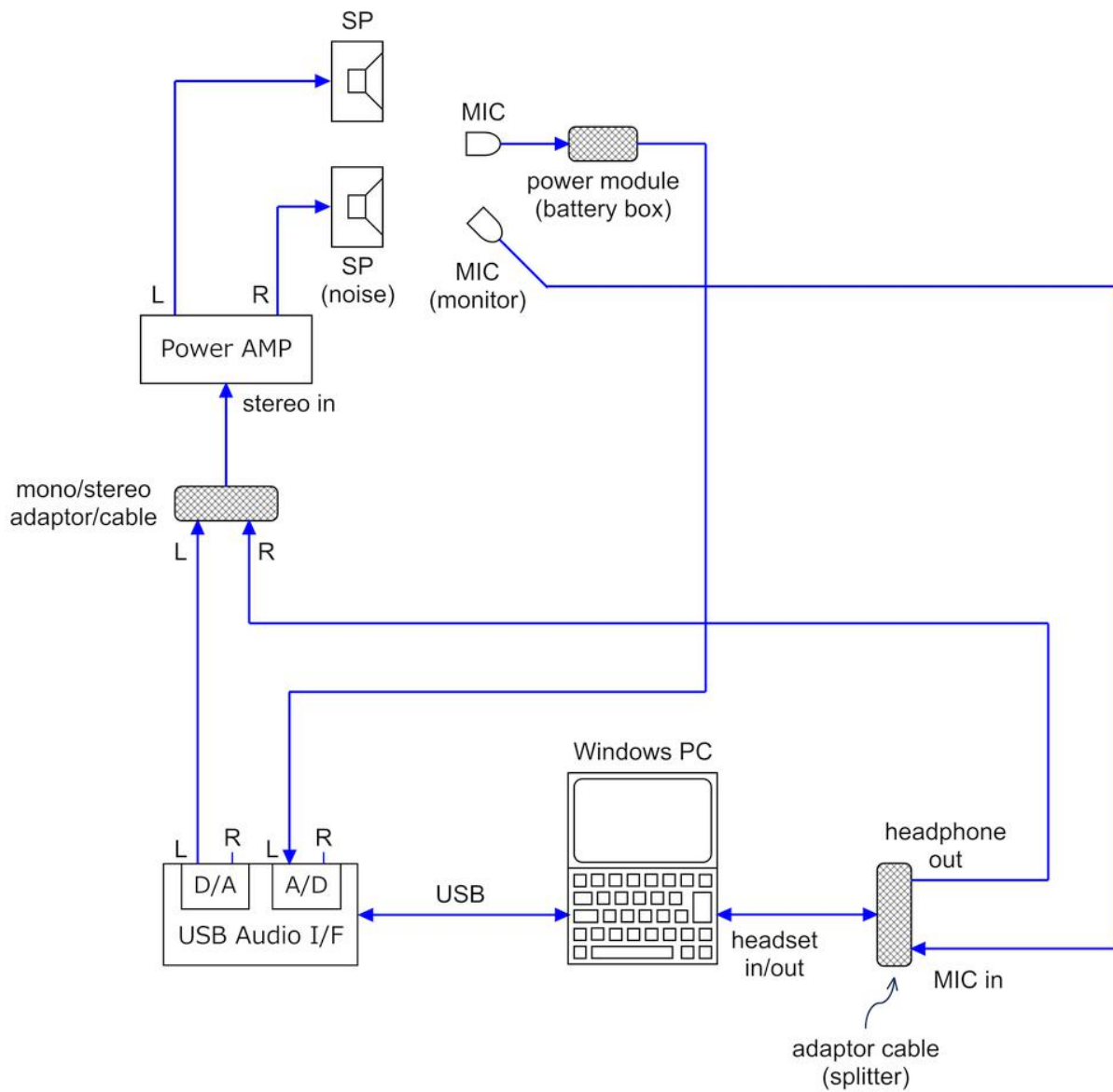


(7) 消音実験

- ・ 周期性雑音再生用のスピーカーも使用して消音実験をおこないます。
下図のように結線してください。最初はスピーカー／マイク間の距離を10cm程度にして実験をおこなってください。原理的に距離が大きくなるほど消音効果が得られる周波数帯域の上限が低くなります。
- ・ パソコンのヘッドホン端子（ヘッドセット端子）からのテスト信号の出力にはフリーソフトの WaveGene を使用すると便利です。設定方法は後述の説明を参考にしてください。



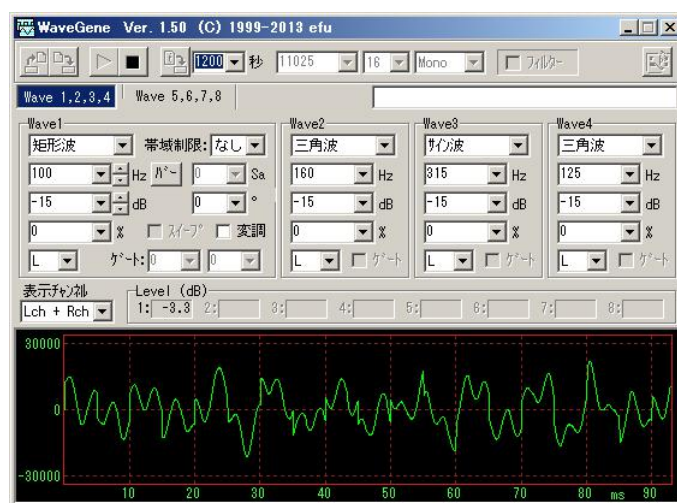
- ・使用するパソコンの処理性能に余裕があれば、1台のパソコンでモニタ用マイク出力の観測も出来ます。



- ・テスト信号生成・出力に WaveGene を使用する場合は、下記を参考に設定をおこなってください。
再生デバイス設定画面のドライバは「MME」を選択します。

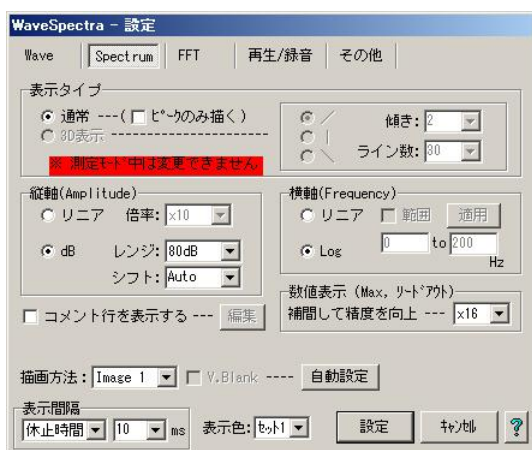
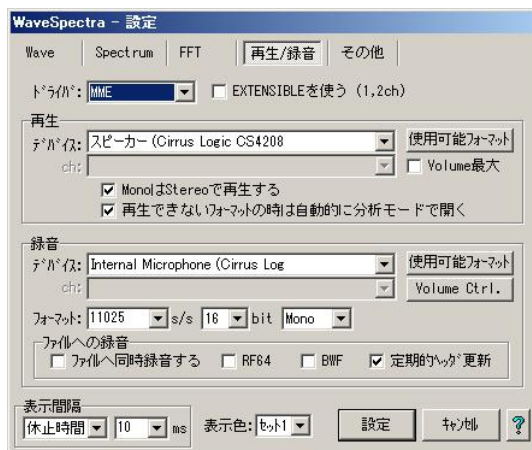
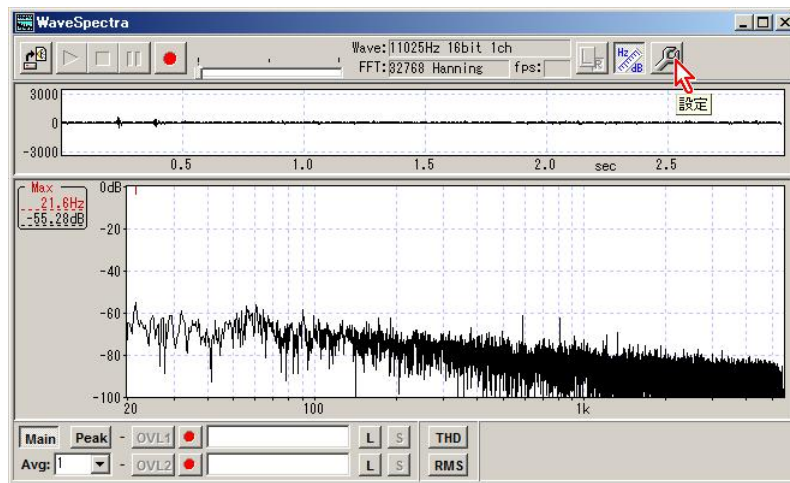


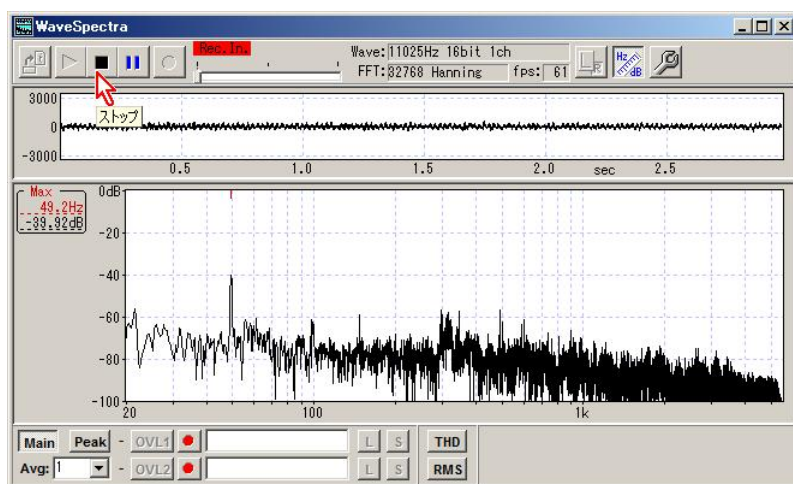
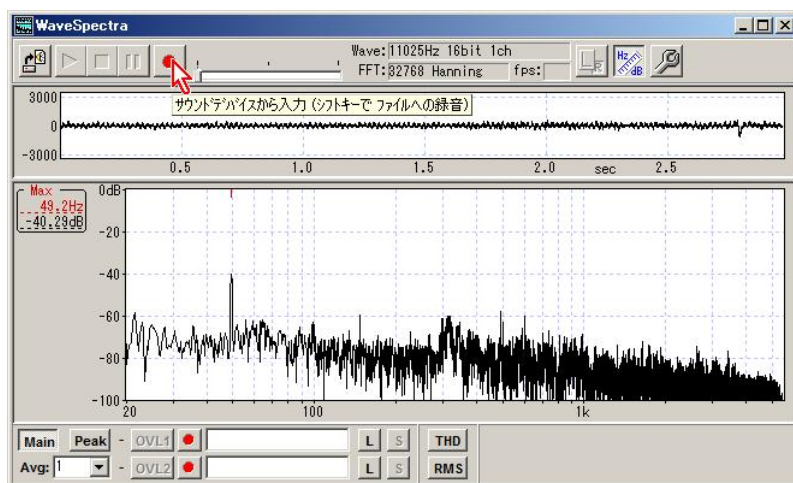
ドライバは「MME」



周期性信号出力時の設定の一例

- ・ モニタ用マイクを用いた消音特性の確認はフリーソフトの WaveSpectra（FFT分析ソフト）を使うと便利です。
（feedback ANC の CD に収録してあります）
下図を参考に設定をおこなってください。 「再生/録音」の設定画面のドライバは「MME」を選択します。

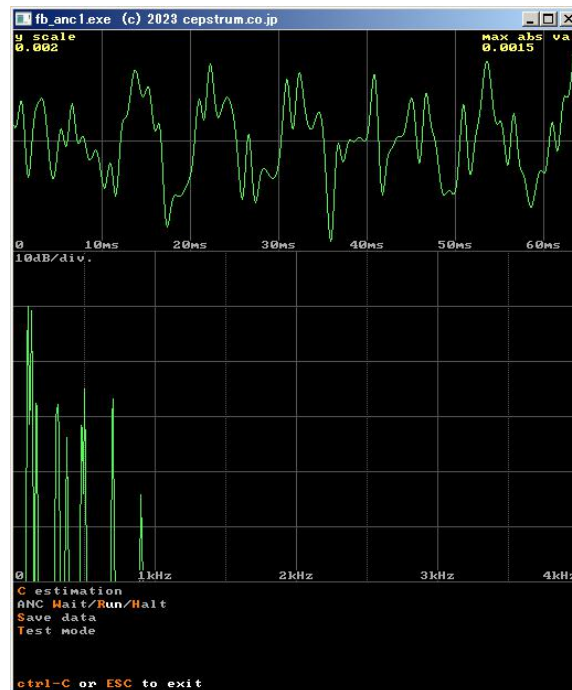




- ・消音プログラムの操作手順は下記のとおりです。 テスト・モードの設定 (Test mode) は必要ありません。
消音対象の周期性雑音はオフにしてからプログラムを実行してください。

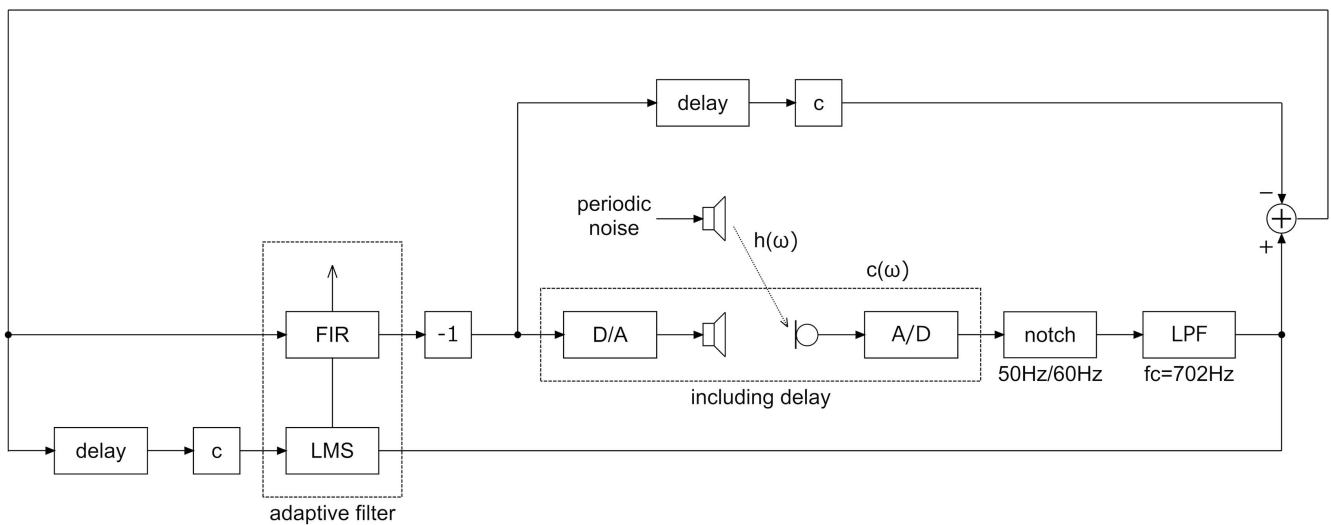
start_fb_anc1.bat 実行 → C estimation → ANC Wait → 周期性雑音オン → ANC Run

- ・「S」キー (Save data) を押せば適応フィルタ係数をファイルにセーブすることが出来ます。
(ファイル名は日付の入った名前になります)



消音プログラム実行結果

- ・消音用の適応フィルタ (FIR+LMS) は音響系の伝達特性 $h(\omega)$ を含む形で、周期性雑音を消音するための予測器としてはたります。



（８）実機（機械、エンジン等）での消音実験の方法

- ・ ANCKIT3付属のスピーカーはアクティブ消音の原理の確認実験のための小型のものなので、低域の再生能力は限定的です。（重低音は出ません）
- ・ 機械装置、エンジン等の実機の消音実験をおこなう場合は、ANCKIT3付属スピーカーの代わりにサブウーハー（スーパーウーハー）と呼ばれる低音再生専用のスピーカーを使用してください。
大出力のアンプ内蔵の扱いやすいコンシューマ向けの製品を容易に入手可能です。
- ・ ANCKIT3の消音実験プログラムには商用電源周波数のハム成分除去用のノッチフィルタ（50Hz/60Hz）が入っているので、実機での実験時はノッチフィルタを削除してください。プログラムのソースのノッチフィルタ関数を呼び出している部分をコメントに変えて再コンパイルだけで修正できます。



- ・ 市販されているサブウーハー（スーパーウーハー）にはスピーカーだけではなくバスレフポートが付いている製品があります。スピーカーが筐体下面、前面にバスレフポートがついているものもあります。
このような製品はスピーカーからの再生音とバスレフポートからの放射音の干渉が生じるので消音実験には向いていません。
実験には密閉型のものを用いてください。



密閉型のように見えるが、前面にあるのはバスレフポートで
下面にスピーカーがある製品（密閉型ではない）

(有) ケプストラム

- ・ ANCプログラム fb_anc1.exe のソース fb_anc1.bas は FreeBASIC で記述しています。
FreeBASIC用の開発環境 FbEdit のプロジェクト・ファイルは fb_anc1.fbp です。
- ・ fb_anc1 はWindowsのGUIプログラムですが、キーボードからのコマンド入力のみで操作をおこないます。
マウスは使いません。
- ・ ASIO対応USB接続オーディオ・デバイスはサンプリング周波数48kHzで動作しますが、プログラム内部のANCの
処理はサンプリング周波数8kHzでおこなっています。
- ・ ASIO対応オーディオ・デバイスのアクセスにはオーディオ録音・再生用のオープンソースのライブラリ
PortAudio を用いています。
- ・ 適応フィルタを用いているプログラムなので、パラメータを変更して動作特性を調整しなければならないような
箇所はあまりありません。 設定変更出来るのはステップサイズ・パラメータ μ (MU/mu) とフィルタ長
(タップ長)、テスト信号レベル程度です。
- ・ パラメータ変更可能箇所の #define 文はソース fb_anc1.bas の最初の部分にまとめてあります。 (下記リスト)
下記以外に修正を考えられる箇所としてはtest modeでのテスト信号 (周期性雑音) の生成処理部分があります。

```
#define C_MU          0.000002      ' c (secondary path) estimation mu
#define LMS_MU        0.0000002    ' ANC mu
#define C_LEN         512          ' c esitimation filter length
#define LMS_LEN        1024         ' ANC fitler length
#define DELAY_LEN      20           ' delay length
#define NOISE_LEVEL    0.05         ' c esitimation test signal (random noise) level
#define TEST_SIGNAL_LEVEL 0.3       ' test mode periodic test signal level
#define POWER_BETA     0.9995       ' NLMS power calculation IIR LPF parameter
```

- ・ 動作の安定化のために各所にLPFを挿入しています。 そもそも原理的に波長の短い高周波領域では消音効果が大幅に
低下するため、LPF挿入による消音性能低下の悪影響は無視できます。
- ・ ASIO対応オーディオ・デバイスはサンプリング周波数48kHzで動作しますが、オーディオ・デバイスと
プログラム間のA/D・D/Aデータのやり取りは6サンプル単位でのブロックI/Oでおこなっています。
fs=48kHzの6サンプルのA/Dデータをサンプリング周波数変換して、fs=8kHzのデータ1サンプルに変換します。
D/Aデータは逆の1サンプル→6サンプルの変換をおこなっています。
- ・ プログラム内部の処理としては直接48kHz⇔8kHzの変換をするのではなく、48kHz⇔16kHz、16kHz⇔8kHzの2段階に
分けてサンプリング周波数変換しています。
- ・ サンプリング周波数変換、ANCの処理は関数 callbackfunc() 内でおこなっています。
callbackfunc() はfs=48kHzでの6サンプルのデータのブロック入出力のたびに実行されます。 (動作周波数8kHz)
- ・ callbackdunc() 内のANCの処理をおこなっている部分は下記の2つのコメント行の間の部分です。

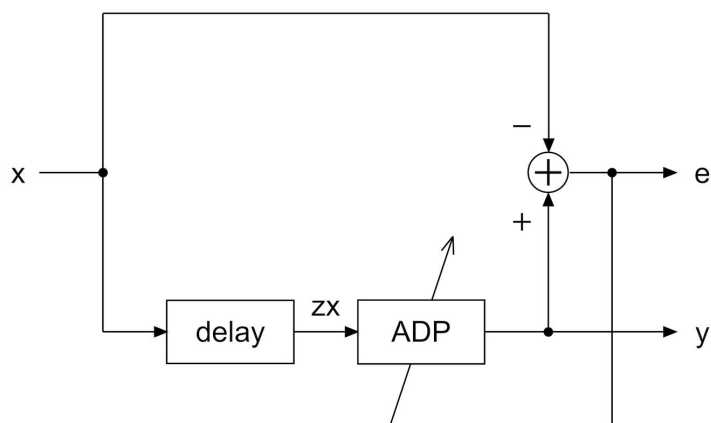
```
'----- ////////// ANC main routine start //////////
[コメント行の間の部分がANCの処理]
'----- ////////// ANC main routine end //////////
```

- ・ ソースのmain関数に相当する部分は無限ループで callbackfunc() からのデータ受け取り、FFT演算、
グラフ描画、キー入力のスキャン等をおこなっているだけです。

- ・ DVDのディレクトリ `scilab_sim` に収録されている Scilab のシミュレーション・プログラムの概要は下記の通りです.
- ・ Scilab はフリーのいわゆる MATLAB クローンと呼ばれるツールですが、MATLAB完全互換を目指して開発されているわけではありません. Scilab のプログラムは部分的修正で MATLAB や Octave に移植可能です. (Octave はより互換性の高いフリーの MATLAB クローンです)

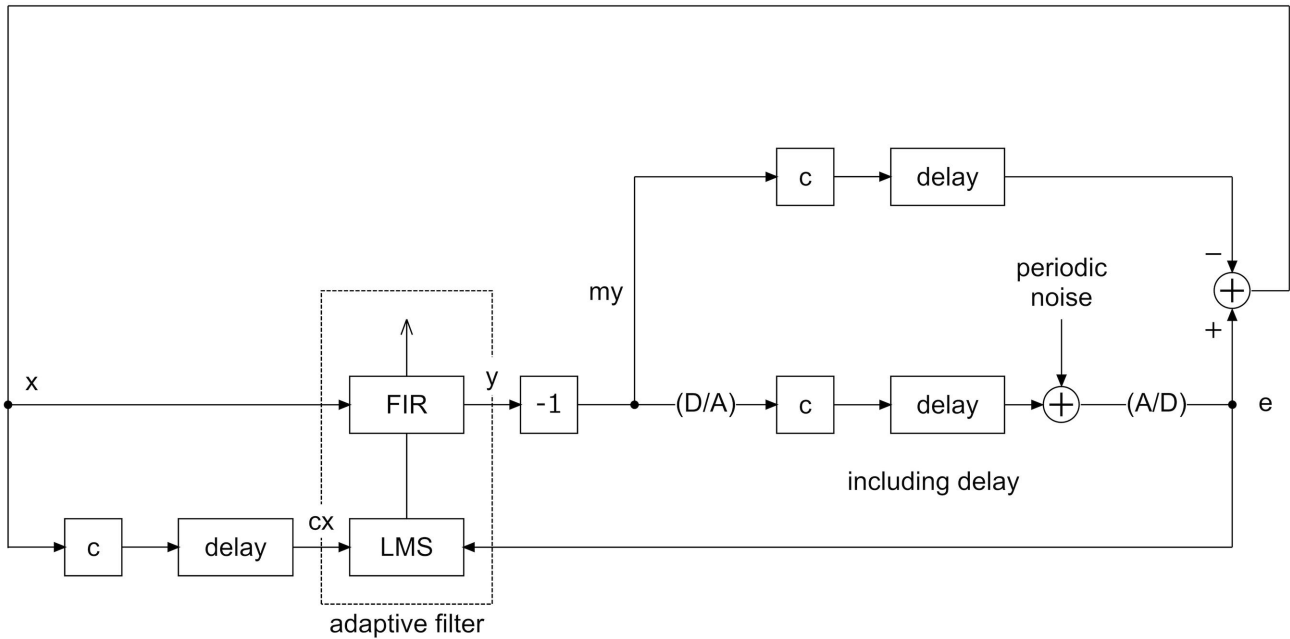
● `sim_predictor.sce`

- ・ 予測器の構成の適応フィルタ (適応システム) のシミュレーション・プログラムです.
- ・ 適応フィルタ ADP は入力信号 x を遅延させた zx から x を予測する働きをします. 予測可能なのは周期性信号成分だけなので、誤差信号 e からは周期性成分を除去した信号が得られます. (トーン・ノイズ・キャンセラになります)
- ・ 適応フィルタの出力 y に含まれるのは予測可能な周期性成分のみになります.
- ・ 入力信号には周期性信号と音楽を混合したものを using しています. e , y それぞれの出力をwavファイルにセーブされるので、トーン・ノイズ・キャンセラとしての効果を耳で聞いて確認することが出来ます.
- ・ 適応フィルタ係数 $w()$ は周期性成分のみを通過させるバンドパス特性になります.



● sim_fb_anc.sce

- ・ダクト無しの周期性雑音対応ANCのシミュレーション・プログラムです.
- ・二次経路 (secondary path) の伝達特性 $c(\omega)$ は測定済みとして、消音シミュレーションをおこないます.
- ・入力の周期性雑音 (periodic noise) と周期性雑音除去後の信号 e はwavファイルにセーブされるので、耳で聞いてANCの効果を確認することが出来ます.
- ・適応フィルタ係数 $w()$ は周期性成分のみを通過させるバンドパス特性になります.
- ・リング・バッファを用いたのと同等の処理をおこなっているので、フィルタ係数は本来の音響系のインパルスレスポンスとは前後逆転したものになります.



- ・ソースの修正、ビルド（再コンパイル）するには FreeBASIC 本体と開発環境の FbEdit が必要ですが、どちらもDVDのディレクトリ `freebasic_installer` に収録してあります。
- ・FreeBASIC は gcc を中間コード生成に用いるような構成になっているので、FreeBASIC をインストールすると gcc のファイルの一部もインストールされます。
- ・拡張子 .7z のファイルの展開処理が出来ない場合は、圧縮・解凍ソフトの 7zip を使用してください。7zip も同じディレクトリに収録してあります。
- ・プログラムのソースとビルド、実行に必要なライブラリ・ファイル等はDVDのディレクトリ `freebasic_build_source` に収録してあります。ディレクトリごとSSD/HDDにコピーして用いてください。（ディレクトリ／ファイルに書き込み不可の属性がついていたら、はずしてください）
- ・開発環境 FbEdit のインストール／設定後にプロジェクト・ファイル `fb_anc1.fbp` をマウスでクリックすれば FbEdit が起動してソース `fb_anc1.bas` の編集、ビルド作業が可能です。
ビルド（コンパイル）実行は FbEdit のメニューより `Make → Compile` です。
- ・ビルドして出来た実行プログラム `fb_anc1.exe` の起動にはバッチプログラム `start_fb_anc1.bas` を用いてください。（直接 `fb_anc1.exe` を起動しないでください）
`start_fb_anc1.bas` は一行だけのバッチで、`fb_anc1.exe` にリアルタイム（最優先）の優先度をつけて起動します。`start_fb_anc1.bas` の内容は下記の通りです。

```
start /realtime fb_anc1.exe
```