

ANCKIT2使用説明書

2	ANCソフトウェアの使用許諾条件
2	ANCKITの構成
2	ANCKIT以外に必要な機材
3	ダクトのマイク取り付け位置
3	ダクトの組み換え
3	吸音材の取り外し
4	ANCKIT2 の結線
4	スピーカー・ケーブルの接続
5	マイクアンプ AT-MA2 の設定
5	パワーアンプ AP05 の設
5	ミニプラグの結線
6	CCS(Code Composer Studio) Ver.6 の使用方法
6	ANCソフトウェア修正時の注意点
7	ANCソフトウェアを用いた消音実験の手順
8	ANCソフトウェアのパラメータ修正
8	SW4～SW6のポジション
9	anc01 $c(\omega)$ 測定プログラム
11	anc02i 簡略化した構成での消音プログラム
13	anc02f 簡略化した構成での消音プログラム
15	anc03 簡略化した構成での消音プログラム ($c(\omega)$ 測定を含む)
16	anc04 $hw(\omega)$ 測定プログラム
18	anc05i 消音実験プログラム
20	anc05f 消音実験プログラム
21	anc06 消音実験プログラム ($c(\omega)$, $hw(\omega)$ 測定を含む)
22	ledswtest LED/スイッチ基板のテストプログラム
22	datest D/A出力テストプログラム
22	adtest A/D入力テストプログラム
23	サンプル・プログラム内部の説明
24	浮動小数点演算のエラーについて
24	セキュリティ・ソフトについて
24	付属マイクについて

(有) 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

<http://www.cepstrum.co.jp/>

■ ANCソフトウェアの使用許諾条件

- ・ ANCKIT付属ANCソフトウェアの著作権は当社（有限会社ケブストラム）にあります。
- ・ お客様がANCソフトウェアを使用されたことにより生じたいかなる不利益についても当社はその責を負いません。
- ・ お客様は自由にANCソフトウェアを改変して使用することが出来ます。ただしオリジナルも改変したものも第三者へのソースコード公開は禁じます。
- ・ お客様が販売される製品への組込に関しては、オリジナルのANCソフトウェアも、それをお客様が改変されたものについてもロイヤリティ支払いや使用許諾申請は不要です。ただしANCKIT類似の学習教材、実験キット等に組み込んだ販売は禁止します。

■ ANCKIT2の構成

- ・ 実験用ミニチュア・ダクト
アルミ製全長1.40m, 内径26mm x 56mm. 折り返し構造. マイク／スピーカ付属.
- ・ ANCコントローラ・ボード
TI製DSP評価ボード C6713 DSK, DSK用LED/スイッチ・ボードの組合せ.
- ・ マイクアンプ
audio-technica製 AT-MA2
- ・ パワーアンプ
FOSTEX製 AP05. 出力5W+5W
- ・ アナログ・テスター
- ・ ANCソフトウェア
C6713 DSK用のANCソフトウェア. Cソースコード付属. アセンブラは一切用いていない平易な記述のプログラムです. 消音アルゴリズムは標準的な filtered-x LMSアルゴリズムを用いています.
- ・ タイピンマイク
パソコンのマイク入力端子に接続して使用する消音効果確認用のマイクです.
- ・ 接続ケーブル、アダプタ類一式

TIのDSP評価キット C6713 DSK には統合開発環境CCS (Code Composer Studio) およびコンパイラ・ツール (Cコンパイラ, アセンブラ, リンカ) 等が含まれています.

■ ANCKIT2以外に必要な機材

- * USBポートを備えたWindowsパソコン (OSは Windows 2000, Windows XP, Windows 7, windows 8, windows 10)
- * AC100V電源

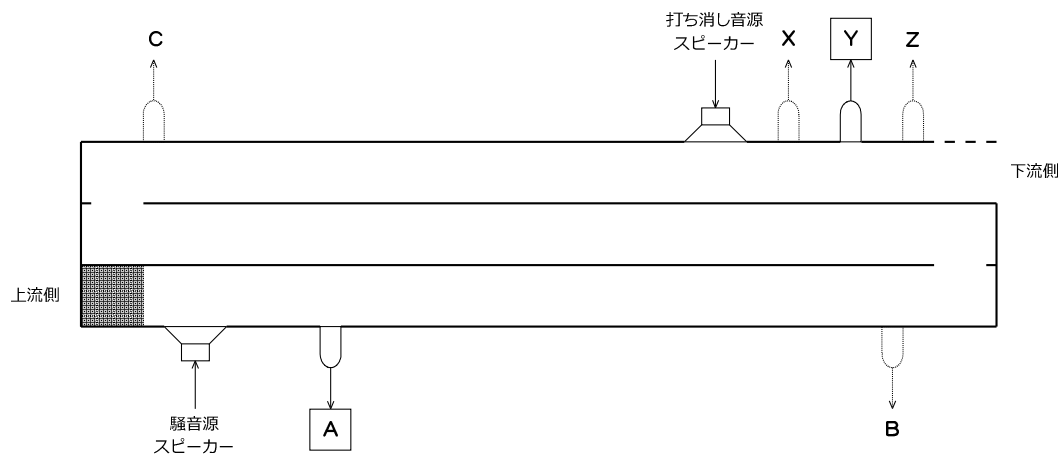
- ・ パソコンへのプログラムのインストールにはDVD-ROMドライブが必用です.
- ・ 騒音レベルのモニタ, 分析・録音のためにパソコン内蔵のサウンドボード (サウンド機能) を用います.
モノラルのマイク入力しかないノート・パソコンでも問題ありません.
- ・ パソコン内蔵サウンドボード (サウンド機能) を使って騒音レベルをモニタしたり, 録音するには WaveSpectra 等のフリーソフトが使用可能です. WaveSpectra ではFFT分析も可能です.
詳細な分析, 録音・編集作業をされる場合は, Adobe製のオーディオ編集ソフトAdobe Audition を使用することをお勧めします. Adobe Audition は一般のパソコンショップ, ソフトウェア取り扱い商社等から容易に入手可能です.
なお当社では AdobeAudition は取り扱っておりません.

■ ダクトのマイク取付位置

実験用ミニチュア・ダクトにはマイク取付穴が複数ありますが、製品付属のサンプル・プログラムを動かす場合は、特に指定の無い限り下図の位置にマイクを取りつけてください。マイク取付位置を変更した場合、プログラム内部の動作パラメータを変更しなければならない場合があります。

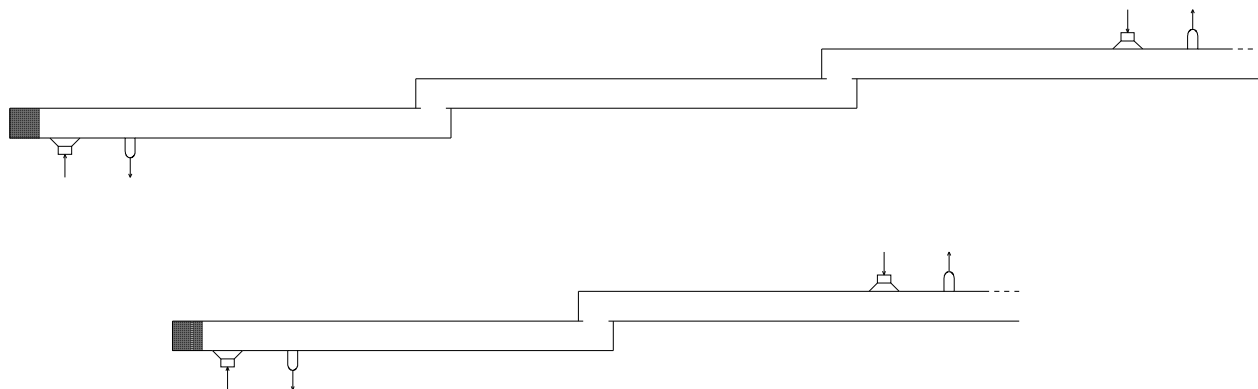
REFERENCE INPUT 用マイク取付位置：A

ERROR INPUT 用マイク取付位置：Y



■ ダクトの組み換え

実験用ミニチュア・ダクトを組み替えて使用することも可能です。上流側の蓋部分を取り外して外部から気流を流しての実験も可能です。接着してある蓋の取り付けには木工用のホワイトボンドを使用しているので、マイナス・ドライバー等でこじって簡単に取り外せます。

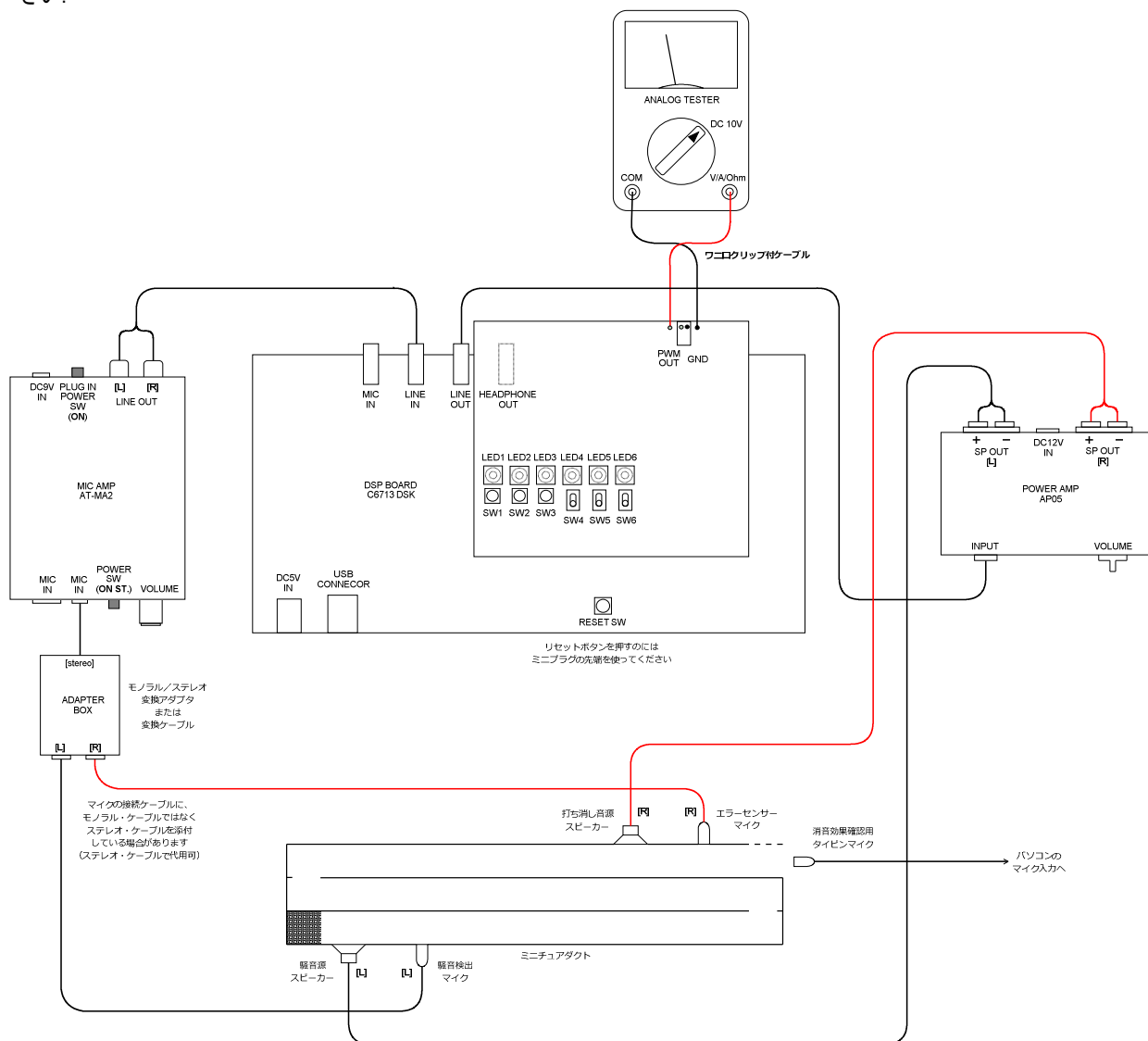


■ 吸音材の取り外し

実験用ミニチュアダクトの上流端と下流端には吸音材を取り付けてあります。（定在波を押さえて消音効果を上げるため）外部から気流を流しての実験等をする際は吸音材を外してください。下流端の吸音材は脱落防止用のネジを外してから引き抜いてください。

■ ANCKIT2 の結線

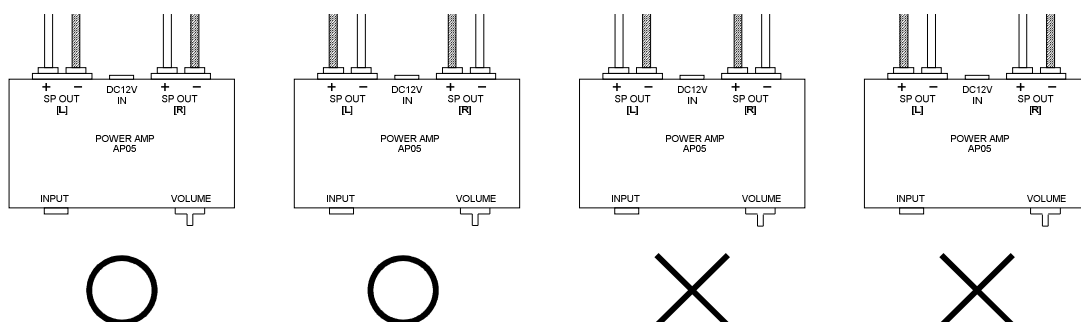
使用するプログラムの説明で特に指定の無い限り、ANCAMP基板とダクト付属マイク、スピーカは下図のように接続して下さい。 PWM出力モニターのためのANALOG TESTER（アナログ・テスター）は DC 10Vレンジで測定をおこなってください。



この図には電源（ACアダプタ）、USBケーブルの接続は示していません

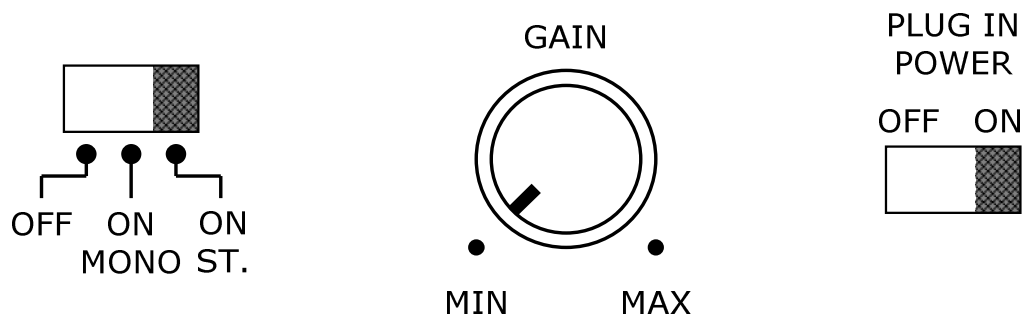
■ スピーカー・ケーブルの接続

スピーカー・ケーブルは左右チャンネルの位相が反転しないように接続してください。



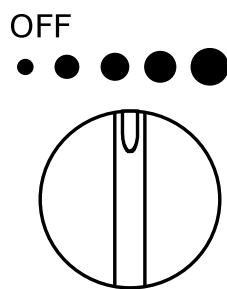
■ マイクアンプ AT-MA2 の設定

パワー・スイッチ : ON ST.
 ゲイン : MIN (最小)
 プラグイン・パワー : ON



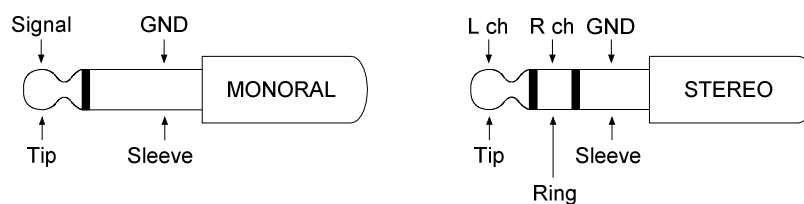
■ パワーアンプ AP05 の設定

ゲイン : 中央



■ ミニプラグの結線

- ・ミニプラグの結線は下図のようになっています。
- ・モノラルのプラグをステレオのジャックに、あるいはステレオ・プラグをモノラル・ジャックに接続する場合はご注意ください。モノラルとステレオのプラグ、ジャックを混用するとステレオ側の左チャンネル (L ch) の信号だけしか扱えません。

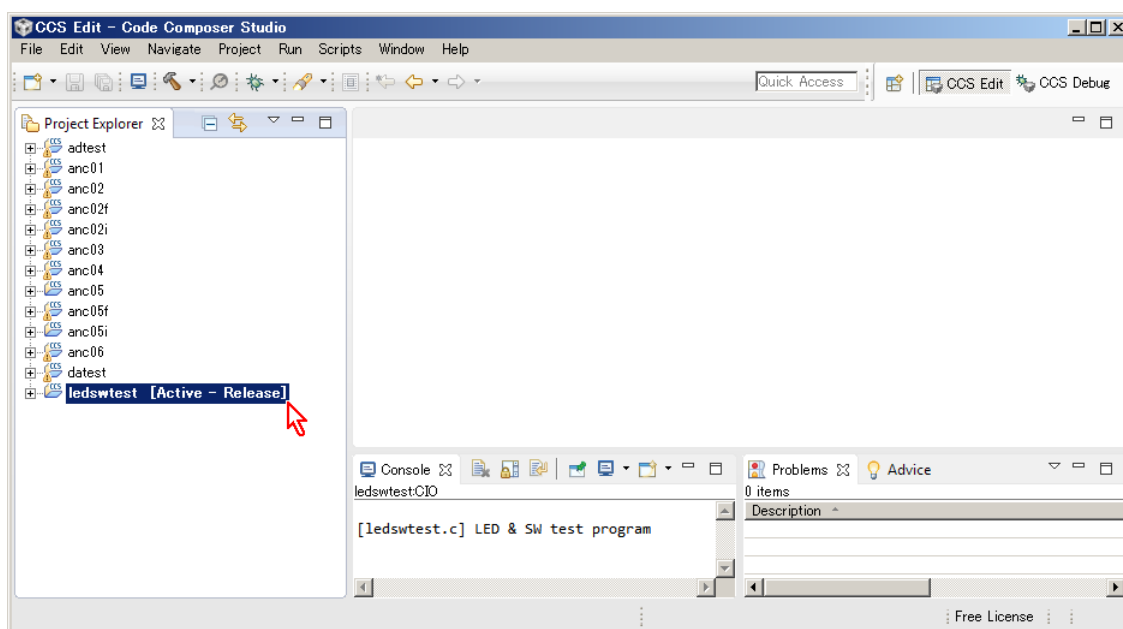


■ CCS(Code Composer Studio) Ver.6/7/8 の使用方法

CCS(Code Composer Studio)はTI(Texas Instruments)のDSP統合開発環境です。 Windows 7, Windows 8, Windows 10 では、CCS Ver. 6/7/8 を使用します。 CCSの使用法の詳細はHELPファイルおよびTIのサポートWikiページをご覧ください。

* 簡単な使用法は下記のとおりです。

- | | |
|--------------------------|--|
| ・ Project Explorer のオープン | View → Project Explorer |
| ・ プロジェクトの選択 | Project Explorer に表示されているプロジェクト名を
マウスでクリック |
| ・ プロジェクトのビルド（コンパイル、リンク） | Project → Build Project |
| ・ DSPボードの接続 | Run → Debug |
| ・ ビルドしたプログラムのDSPボードへのロード | Run → Reset → CPU Reset
Run → Load → Load Program ... |
| ・ DSPボードへロードしたプログラムの実行 | Run → Resume |
| ・ DSPボードの切り離し | Run → Terminate |



画面左側が Project Explorer

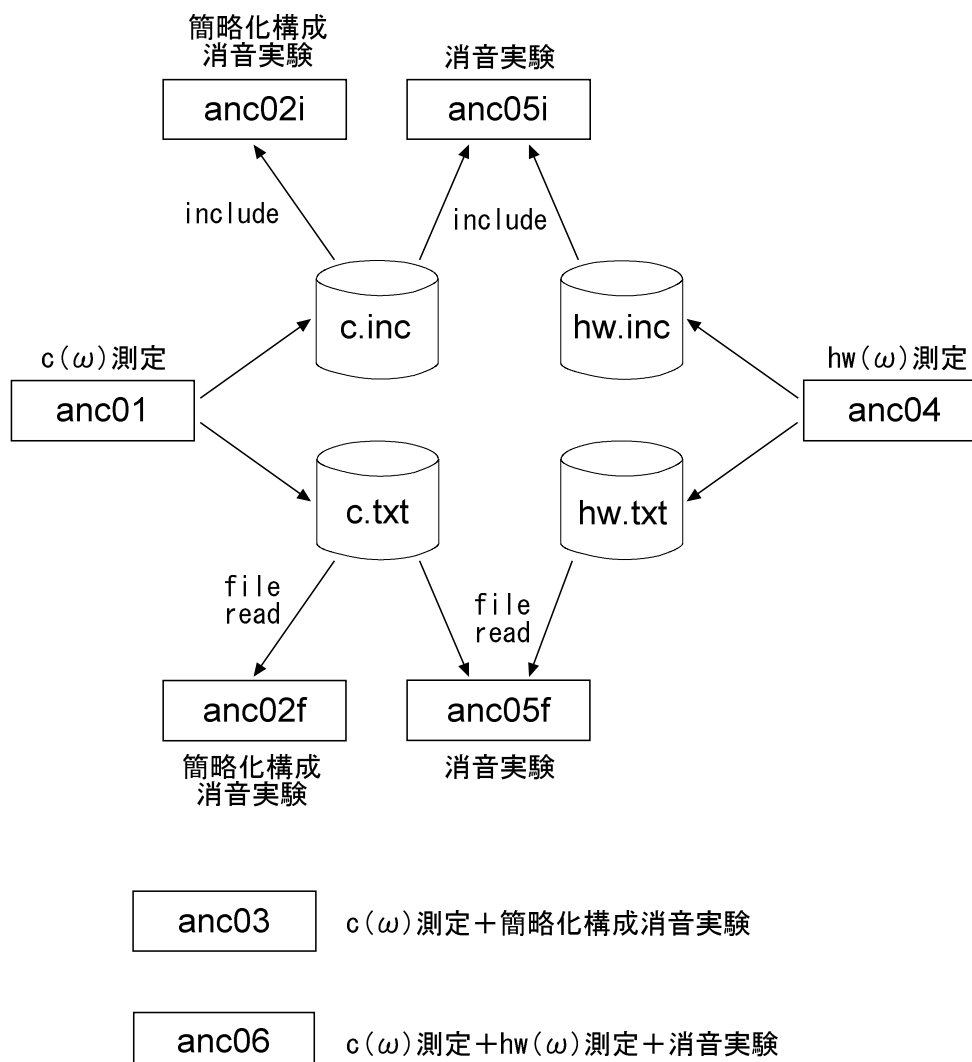
■ ANCソフトウェア修正時の注意点

- ・ ANCソフトウェアを修正・改変して使用される場合、ソースコードに日本語（2バイト文字）は使用しないでください。コメントにも日本語（2バイト文字）は使用不可です。 ファイル名、ディレクトリ名も日本語（2バイト文字）を使ってはいけません。 特に全角スペースの使用は再現性が無く対処困難なトラブルの原因となりますので、ご注意ください。

■ ANCソフトウェアを用いた消音実験の手順

ANCソフトウェアを用いた消音実験の手順は下図のようになります。

- ・ anc02i, anc02f は簡略化構成での消音プログラムです。ダクト長の制約を受けずに、システムの動作チェックをおこなうことが出来ます。消音実験をする前に、あらかじめ anc01 を用いて伝達特性 $c(\omega)$ を測定しておかなければなりません。anc02i, anc02f の消音動作は同一ですが、anc01 の測定データを読み込むファイル形式が異なります。
- ・ anc05i, anc05f は正規の構成の消音プログラムです。消音実験をする前に、あらかじめ anc01, anc04 を用いて伝達特性 $c(\omega)$, $hw(\omega)$ を測定しておかなければなりません。 $hw(\omega)$ は anc04 を用いて測定します。anc05i, anc05f の消音動作は同一ですが、anc01, anc04 の測定データを読み込むファイル形式が異なります。
- ・ anc02i, anc05i は測定データを include してプログラムに取り込むようになっていますので、実験の際にはプログラムの再コンパイル（ビルド）が必要です。anc02f, anc05f はファイル・セーブした測定データを読み込みますので、 $c(\omega)$, $hw(\omega)$ の再測定をおこなってもプログラムをコンパイルし直す必要はありません。
- ・ anc03 は anc01, anc02i/anc02f を一つにまとめたプログラムに相当します。 $c(\omega)$ 測定と簡略化構成での消音を連続しておこないます。 $c(\omega)$ 測定結果のファイル・セーブはしません。
- ・ anc06 は anc01, anc04, anc05i/anc05f を一つにまとめたプログラムに相当します。 $c(\omega)$ 測定・ $hw(\omega)$ 測定と消音を連続しておこないます。消音動作実行後に、 $c(\omega)$ 測定結果、 $hw(\omega)$ 測定結果、収束後の適応フィルタ係数をまとめてファイル・セーブが可能です。



■ ANCソフトウェアのパラメータ修正

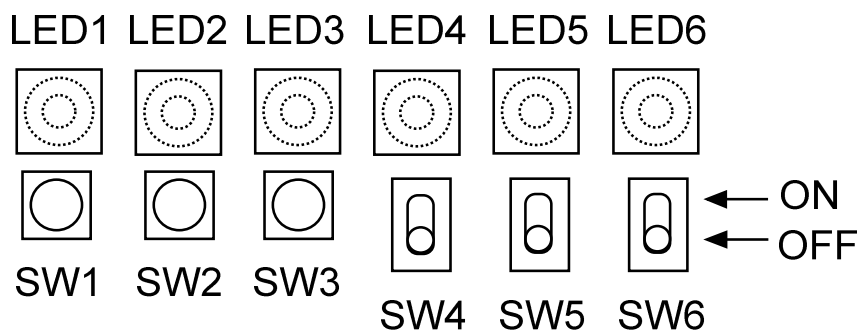
ANCKIT付属ミニチュア・ダクトを用いて実験をする場合は、ANCソフトウェアの動作パラメータの設定はデフォルトのままです。付属ミニチュア・ダクトの特性の個体差や実験環境の暗騒音等の影響で動作が不安定な場合は、ステップサイズ・パラメータ μ (MU) の値を、1/2～1/3程度に小さくすれば動作が安定します。

お客様が作成されたダクト等を用いて実験される場合は、フィルタ・タップ長、ステップサイズ・パラメータ μ (MU) を適切な値に設定してください。ダクト長によっては、ディレイラインを用いた遅延調整が必要となることもあります。(リング・バッファを用いたディレイ関数は anc04 等に含まれています)

■ SW4～SW6のポジション

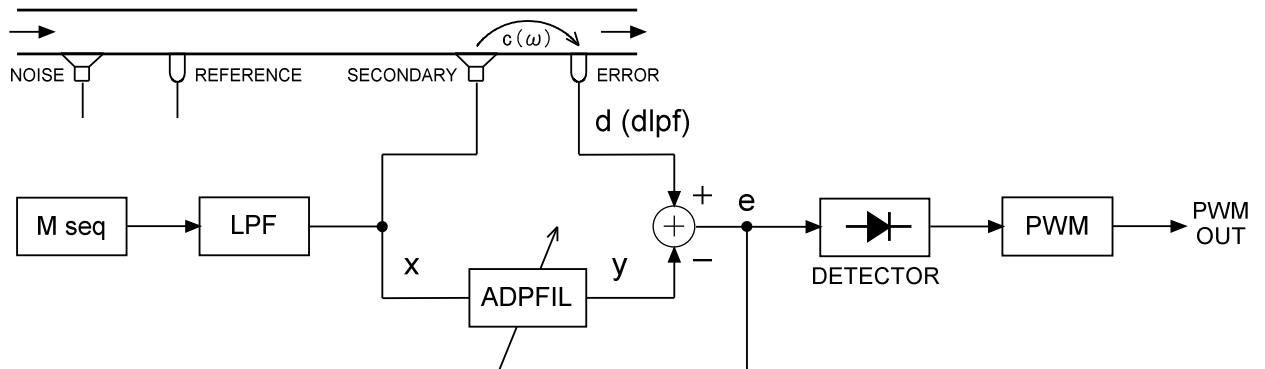
SW4～SW6のオン／オフのポジションは下図のようになっています。(下がOFF、上がON)

いずれのプログラムもプログラム起動前にSW4～SW6はOFFのポジションに設定してください。



■ anc01 $c(\omega)$ 測定プログラム

- ・下記の構成で SECONDARY SOURCE OUTPUT → ERROR INPUT 間の伝達特性 $C(\omega)$ の測定をおこないます。



- ・デフォルトの動作条件設定

サンプリング周波数 : 8kHz
ステップサイズ・パラメータ : 0.000003
適応フィルタタップ長 : 300タップ (フィルタ係数 $c[]$)

- ・プログラムの操作手順

1. プログラム実行開始

LED1点灯. スピーカ (SECONDARY SOURCE) から測定用のM系列信号 (疑似乱数) を再生し、適応フィルタの実行・測定を開始します. 適応フィルタが収束するまで2分～3分待ってから次の処理に進んで下さい.

3. SW1 プッシュ

測定結果をファイル (c. inc, c. txt) にセーブします. ファイル・セーブ中はLED6が点灯します.
ファイル・セーブは何回でも可能ですが、そのたびにファイルは上書きされます.

- ・測定の進行状況 (適応アルゴリズムの収束) はPWM出力信号 (PWM OUT) を観測することによりモニター出来ます.
収束が進むにつれて出力電圧が低下します. 出力電圧範囲は0V～3.3V前後です.
完全な直流ではなく、リップル混じりの脈流信号となるので出力電圧の測定にはアナログ・テスターを使用してください. デジタル・マルチメーターでは正確な電圧測定が出来ない可能性があります.

anc01を用いた $c(\omega)$ 測定の目的

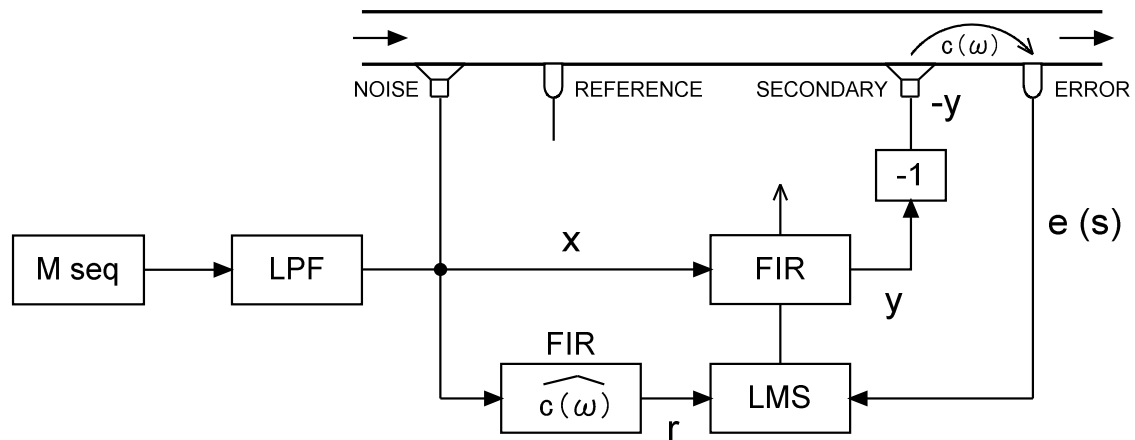
アクティブ消音をする場合、制御ループの中に音響系

(打ち消し音源/SECONDARY SOURCE → センサ・マイク/ERROR SENSOR) が含まれます。通常、この音響系の伝達特性を $c(\omega)$ と表記します。アクティブ消音プログラムには、制御ループ内に含まれる音響系の伝達特性 $c(\omega)$ を打ち消すためのデジタル・フィルタが組み込まれています。anc01ではアクティブ消音プログラムで使う $c(\omega)$ 打ち消し用のデジタル・フィルタの特性(係数)を求めています。anc01で測定した $c(\omega)$ の伝達特性(インパルス・レスポンス)のデータは消音プログラム anc02i, anc02f, anc05i, anc05f で用いています。

■ anc02i 簡略化した構成での消音実験プログラム

- ・ 下図の簡略化した構成で消音実験をおこないます。

- ・ $c(\omega)$ をキャンセルするFIRフィルタ $c(\omega)$ の係数はプログラム anc01 で測定して、ファイル c. inc にセーブしておいたものを用います。



- ・ デフォルトの動作条件設定

サンプリング周波数 : 8kHz
ステップサイズ・パラメータ : 0.000003

$c(\omega)$ 補正フィルタタップ長 : 300タップ (フィルタ係数 $c[]$)
適応フィルタタップ長 : 400タップ (フィルタ係数 $w[]$)

- ・ プログラムの操作手順

1. プログラムのコンパイル、リンク

anc02i はプログラム anc01 で測定してファイル c. inc にセーブしたフィルタ係数を include しています。
c. inc を anc02 のプロジェクトのあるディレクトリにコピーした後、anc02.c をビルドし直して下さい。

2. プログラム実行開始

スピーカ (SECONDARY SOURCE) から消音対象となるM系列信号 (疑似乱数) が再生されますが、適応フィルタはまだ動作開始しません。 LED1 点灯。 プログラム実行前にSW4 はオフにしておいてください。

3. SW1プッシュ

適応フィルタ実行・消音を開始します。 LED1消灯, LED2点灯。

SW3をプッシュすると消音動作をいったん停止して、適応フィルタ係数 $w[]$ のファイルへのセーブをおこないます。
ファイル・セーブ中はLED6が点灯します。

4. SW2プッシュ

適応フィルタ実行停止, フィルタ係数 $w[]$ をすべて0にリセットします。 LED1点灯, LED2消灯。

SW4オンでロックされている状態では、フィルタ係数 $w[]$ はクリアされません。

5. 2に戻って実験再開。

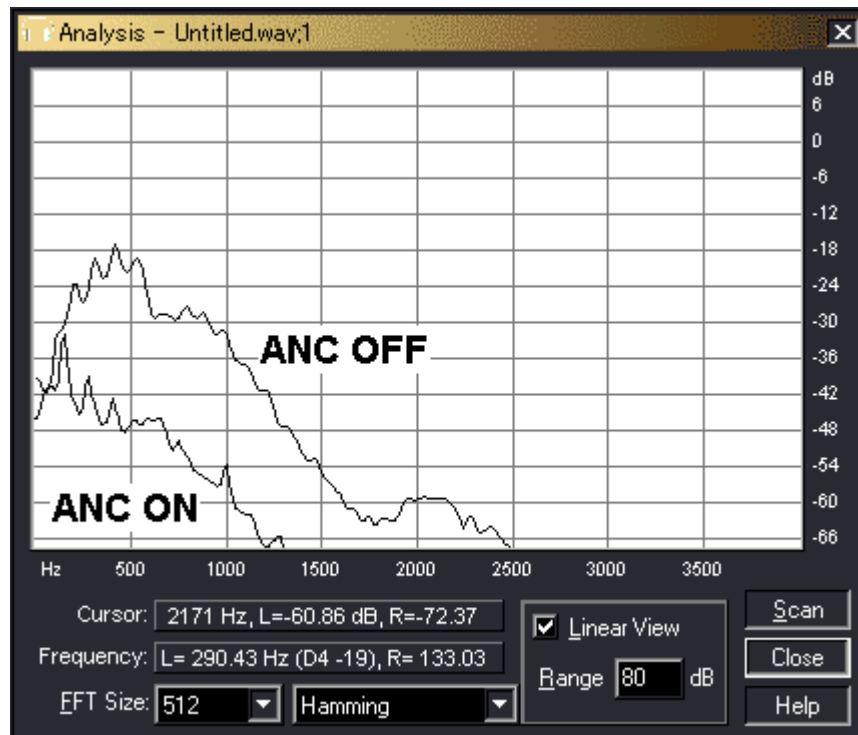
- ・ SW4をオンにすると適応フィルタの係数更新を停止します。 消音動作は停止しません。

SW2をプッシュしてもフィルタ係数 $w[]$ はクリアされません。

- ・ CCSのグラフ表示機能を用いて、適応フィルタ係数 $w[]$ のグラフ表示が可能です。

- ・ 耳で消音効果を確認する場合は、ダクト下流側に耳をあてて聞いてください。

- ・ $c(\omega)$ 補正フィルタのタップ長は、 $c(\omega)$ 測定プログラム anc01 の適応フィルタ・タップ長と同一でなければなりません。



消音効果（誤差信号 e のスペクトル）
横軸：周波数，縦軸：振幅レベル（dB）

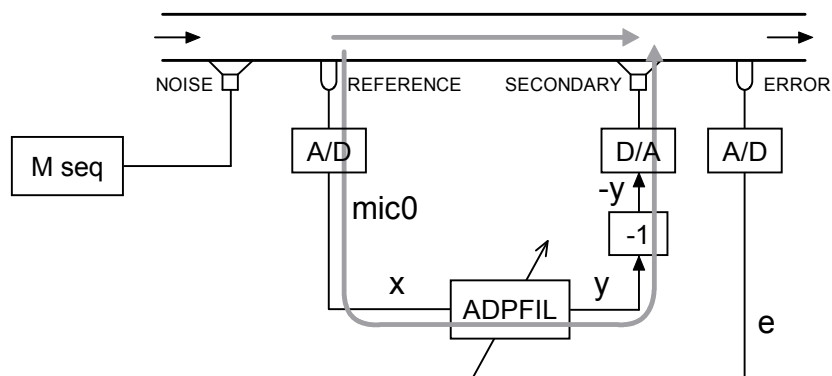
■ anc02f 簡略化した構成での消音実験プログラム

- ・機能は anc02i と同じです。 anc02i との相違点は $c(\omega)$ 補正用フィルタの係数をソース中に include するのではなく、プログラム実行時にファイルから読み込むことです。読み込むファイル名は c.txt です。（anc01 から出力された c.txt をあらかじめ、anc02f のあるディレクトリにコピーしておいてください）

anc02, anc02f を用いた簡略化した構成での消音実験の目的

簡略化しない正規の消音実験の構成には以下の2つの遅延パスがあります。

- ・騒音の遅延
REFERENCEマイクの位置から打ち消し音源（SECONDARY SOURCE）の位置までのダクト内の音響遅延
- ・逆位相の打ち消し音源の遅延
REFERENCEマイク→A/Dコンバータ→適応フィルタ→D/Aコンバータ→スピーカ（SECONDARY）の経路の遅延



簡略化しない正規の消音実験の構成

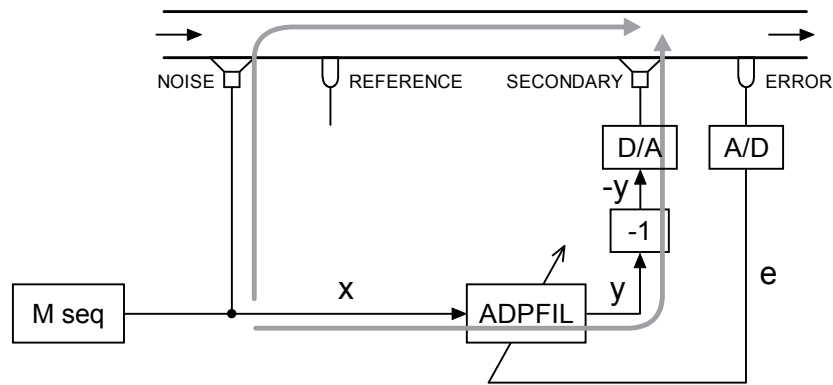
ダクト内を伝播する騒音の遅延よりも、打ち消し音源側の遅延が長いとうまく消音が出来ません。また、場合によっては打ち消し音源（SECONDARY）から放射した音が上流のREFERENCEマイクに入ってハウリングを生じることもあります。

これらの問題を回避して消音アルゴリズムの基本動作の確認をする時に、簡略化した構成の消音プログラム anc02, anc02f を用います。

簡略化した消音実験の構成では、遅延パスは以下のようになります。

- ・騒音の遅延
雑音発生用スピーカ（NOISE）の群遅延＋スピーカ（NOISE）の位置から打ち消し音源（SECONDARY SOURCE）の位置までのダクト内の音響遅延
- ・逆位相の打ち消し音源の遅延
適応フィルタ（ADPFIL）→D/Aコンバータ→スピーカ（SECONDARY）の経路の遅延

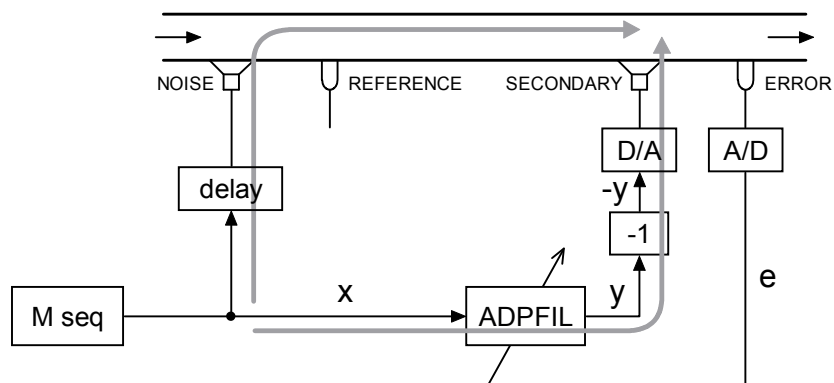
（次ページへ続く）



簡略化した消音実験の構成

簡略化した構成では相対的に騒音源側の遅延が長くなるので、遅延の問題を回避して消音アルゴリズムの動作確認が可能です。この構成ではREFERENCEマイクを使わず、騒音源 (Mseq) の出力が直接適応フィルタ (ADPFIL) に入力されているためにハウリングも生じません。

もし上図のような構成でも騒音側の遅延の方が短かく、消音が上手く出来ない場合 (ダクトが極端に短い場合など) は、ディレイラインを追加すれば遅延の問題を確実に回避することが可能です。(下図参照)



ディレイライン (delay) 付きの簡略化した消音実験の構成

スピーカも群遅延を有することに注意してください。アクティブ消音においては振動板 (振動膜) が軽いマイクロホンの遅延は0として取り扱って差し支えありませんが、グラム単位の質量を持つ振動板 (コーン紙) を有するスピーカの群遅延は無視出来ません。口径の大きいスピーカほどコーン紙が大きく重いので、群遅延は大きくなります。

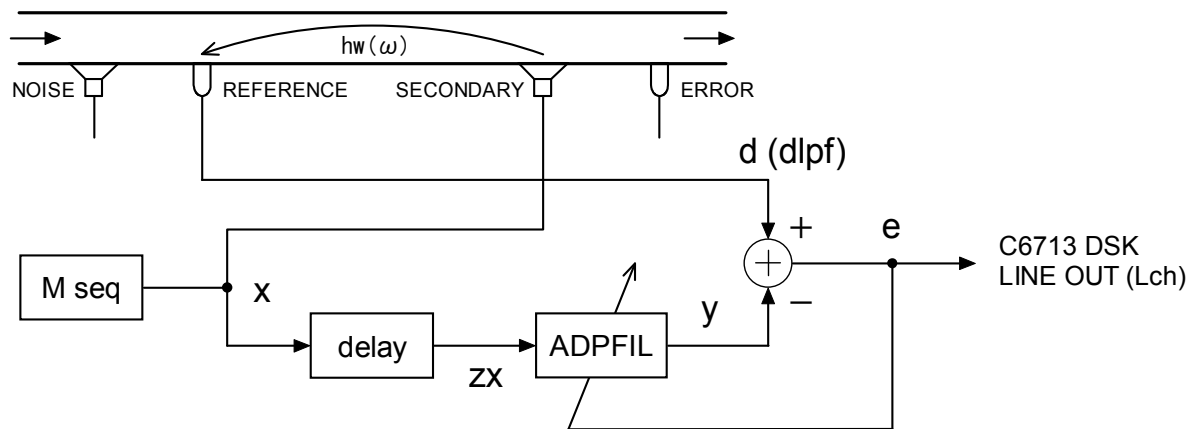
■ anc03 簡略化した構成での消音実験プログラム ($c(\omega)$ 測定を含む)

- ・ anc02 と同じ簡略化した構成での消音実験をおこないます。
anc01 と anc02i/anc0f を一つにまとめたプログラムに相当します。
一つのプログラムで $c(\omega)$ 測定, 消音動作を連続的におこないます。
- ・ デフォルトの動作条件設定
 サンプリング周波数 : 8kHz
 ステップサイズ・パラメータ : 0.000003

 —————
 $c(\omega)$ 補正フィルタタップ長 : 300タップ (フィルタ係数 $c[]$)
 適応フィルタタップ長 : 400タップ (フィルタ係数 $w[]$)
- ・ プログラムの操作手順
 1. プログラム実行開始
 ただちに $c(\omega)$ 測定を開始します。 LED1点灯。
 適応アルゴリズムが収束するまで2分~3分待ってから次の処理に進んで下さい。
 $c(\omega)$ の測定中はPWM出力信号 (PWM OUT) を観測することにより、適応フィルタの収束状況をモニターできます。
 (収束するにつれて出力電圧が下がります)
 2. SW1 プッシュ
 $c(\omega)$ 測定を中止します。 LED1消灯, LED2点灯。
 NOISE OUTPUTからM系列信号 (疑似乱数) が出力されますが、まだ消音動作は開始しません。
 3. SW2 プッシュ
 消音動作を開始します。 LED2消灯, LED3点灯
 SW3をプッシュすると消音動作をいったん停止して、適応フィルタ係数 $c[]$, $w[]$ のファイルへのセーブをおこないます。 ファイル・セーブ中はLED6が点灯します。 繰り返し何度でもファイル・セーブは可能ですが、その都度ファイルは上書きされます。

■ anc04 hw(ω) 測定プログラム

- ・下記の構成で SECONDARY SOURCE OUTPUT → REFERENCE INPUT 間の伝達特性 $hw(\omega)$ の測定をおこないます。
- ・スピーカ／マイク間の距離と比較して適応フィルタのタップ長が短いために、遅延調整のためのディレイライン (delay) を用いています。



・デフォルトの動作条件設定

サンプリング周波数 : 8kHz
 ステップサイズ・パラメータ : 0.000003
 適応フィルタタップ長 : 100タップ (フィルタ係数 $hw[]$)
 遅延補正ディレイライン長 : 100タップ

・プログラムの操作手順

1. プログラム実行開始

LED1 点灯. スピーカ (SECONDARY SOURCE) から測定用のM系列信号 (疑似乱数) が再生されますが、適応フィルタはまだ動作開始しません。

2. SW0 プッシュ

適応フィルタ実行・測定開始. LED1消灯, LED2点灯.

適応アルゴリズムが収束するまで2分～3分待ってから次の処理に進んで下さい。

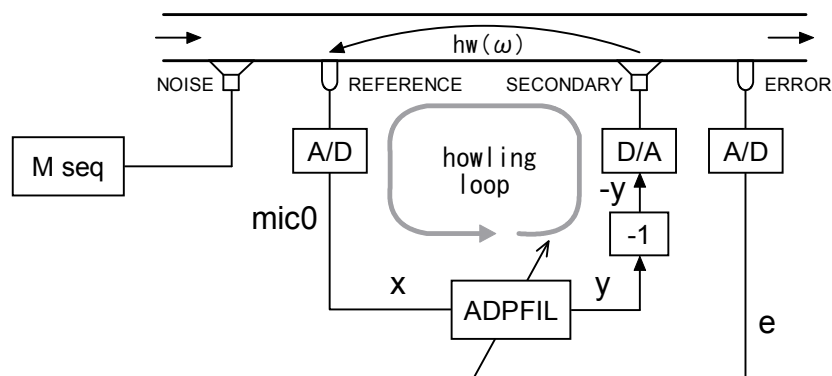
3. SW1 プッシュ

測定結果をファイル (hw. inc, hw. txt) にセーブ. LED1点灯, LED2消灯.

- ・測定の進行状況 (適応アルゴリズムの収束) はPWM出力信号を観測することによりモニター出来ます。
収束が進むにつれて出力電圧が低下します。

anc04を用いた $hw(\omega)$ 測定の目的

下図の消音システムの構成では、条件によっては打ち消し音源スピーカ（SECONDARY）から出力した逆位相の音が上流のマイク（REFERENCE）に入ってハウリングが生じることがあります。

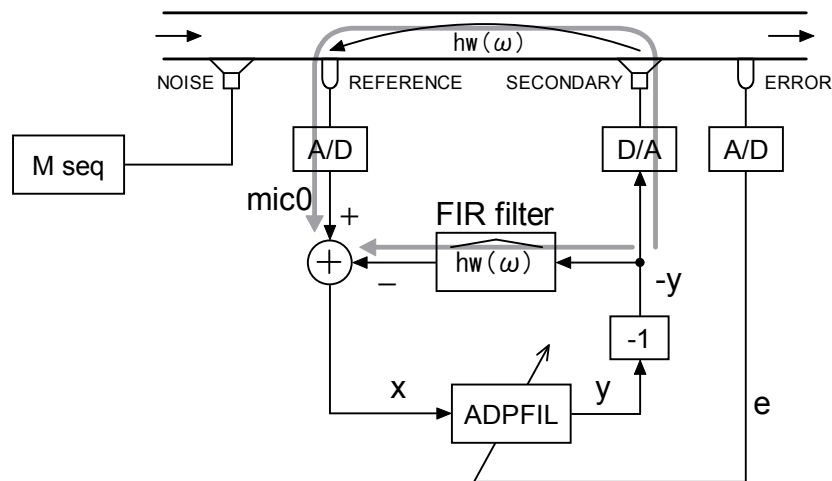


ハウリング防止フィルタ無しの消音システムの構成

ハウリングを防ぐために、実際のアクティブ消音プログラムにはハウリング防止用フィルタが組み込まれています。

（下図）

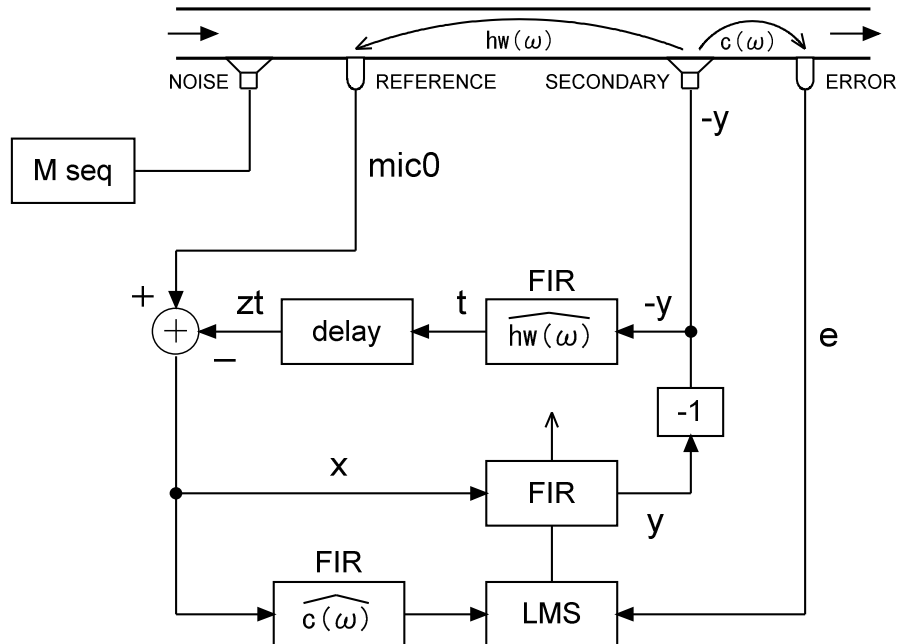
anc04を用いて伝達特性 $hw(\omega)$ の測定をおこない、そのデータを消音プログラムのハウリング防止FIRフィルタの係数（インパルス・レスポンス）として用います。なおanc04を使って測定した伝達特性 $hw(\omega)$ にはマイク、スピーカ、A/D・D/Aコンバータの遅延も含まれます。



ハウリング防止フィルタ付きの消音システムの構成

・ 下図の正規の消音システムの構成で消音実験をおこないます。

・ $c(\omega)$ をキャンセルするFIRフィルタの係数 $c(\omega)$ ，ハウリング防止用フィルタの係数 $hw(\omega)$ はプログラム anc01 および anc04 で測定して，ファイルにセーブしておいたものを用います。



・ デフォルトの動作条件設定

サンプリング周波数 : 8kHz
ステップサイズ・パラメータ : 0.000003

$c(\omega)$ 補正フィルタタップ長 : 300タップ (フィルタ係数 $c[]$)
ハウリング防止フィルタタップ長 : 100タップ (フィルタ係数 $hw[]$)
遅延補正ディレイライン長 : 100タップ
消音用適応フィルタタップ長 : 500タップ (フィルタ係数 $w[]$)

・ $c(\omega)$ 補正フィルタのタップ長は $c(\omega)$ 測定プログラム anc01 の適応フィルタ・タップ長と同一でなければなりません。

・ ハウリング防止フィルタのタップ長とディレイライン長は $hw(\omega)$ 測定プログラム anc04 のタップ長，ディレイライン長と同一でなければなりません。

・プログラムの操作手順

1. プログラムのコンパイル, リンク

anc05i はプログラム anc01 で測定してファイル c. inc にセーブしたフィルタ係数およびプログラム anc04 で測定してファイル hw. inc にセーブしたフィルタ係数を include しています. c. inc, hw. inc を anc05i のプロジェクトのあるディレクトリにコピーした後に, anc05.c をビルドし直して下さい.

2. プログラム実行開始

プログラム実行前にSW4はOFFにしておいてください. LED1 点灯. スピーカ (SECONDARY SOURCE) から消音対象となるM系列信号 (疑似乱数) が再生されますが, まだ適応フィルタは動作開始しません.

3. SW1 プッシュ

適応フィルタ実行・消音開始. LED1消灯, LED2点灯.

適応フィルタが収束するまで2分~3分待ってください.

SW3プッシュを押すと消音動作をいったん停止して適応フィルタ係数 $w[]$ のファイルへのセーブをおこないます.

4. SW2 プッシュ

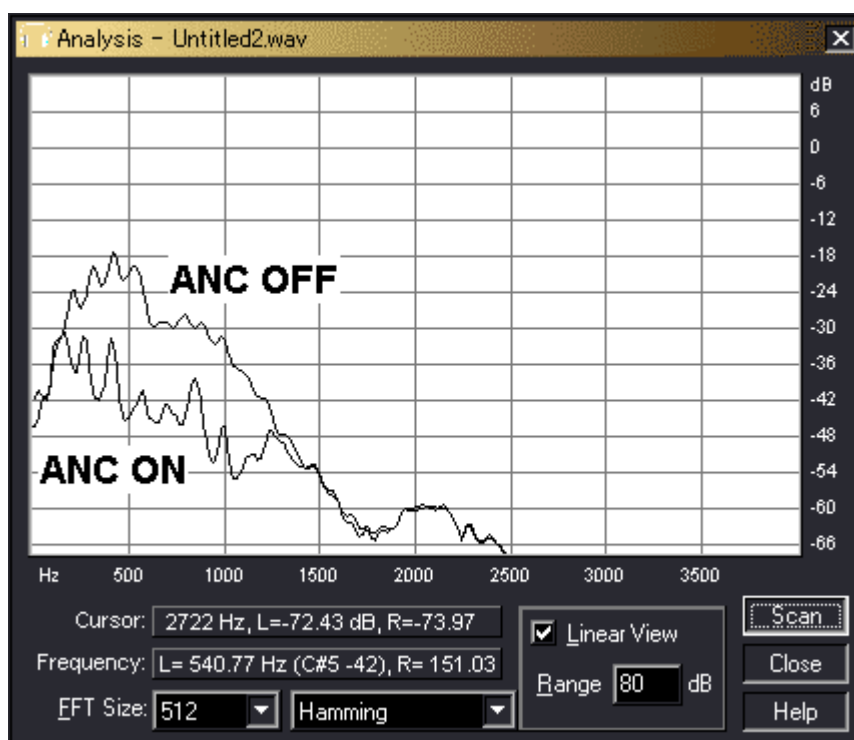
消音動作を停止して適応フィルタ係数 $w[]$ をクリアします. LED1点灯, LED2消灯.

SW4オンでロックされている状態では, フィルタ係数 $w[]$ はクリアされません.

5. 2に戻って実験再開.

・SW4をオンにすると, 消音中の適応フィルタの学習動作・フィルタ係数 $w[]$ の更新を停止します.

SW2をプッシュしてもフィルタ係数 $w[]$ はクリアされません.



消音効果 (誤差信号 e のスペクトル)

横軸: 周波数, 縦軸: 振幅レベル (dB)

■ anc05f 消音実験プログラム

- ・機能は anc05i と同じです。 anc05i との相違点は $c(\omega)$ 補正用フィルタ、ハウリング防止用フィルタの係数をソース中に include するのではなく、プログラム実行時にファイルから読み込むことです。
読み込むファイル名は c.txt および hw.txt です。（anc01 から出力された c.txt, anc04 から出力された hw.txt をあらかじめ、anc05f のあるディレクトリにコピーしておいてください）

■ anc06 消音実験プログラム

・ anc01, anc04, anc05/anc05f を一つにまとめたプログラムに相当します。

一つのプログラムで $c(\omega)$ 測定, $hw(\omega)$ 測定, 消音動作を連続的にこなします。 (サンプリング周波数8KHz)

・ デフォルトの動作条件設定

サンプリング周波数 : 8kHz
ステップサイズ・パラメータ : 0.00001

———
 $c(\omega)$ 補正フィルタタップ長 : 300タップ (フィルタ係数 $c[]$)
ハウリング防止フィルタタップ長 : 100タップ (フィルタ係数 $hw[]$)
遅延補正ディレイライン長 : 100タップ
消音用適応フィルタタップ長 : 500タップ (フィルタ係数 $w[]$)

・ プログラムの操作手順

1. スイッチの初期設定

プログラム実行前にSW4, SW5 はオフにしてください。

2. プログラム実行開始

ただちに $c(\omega)$ 測定を開始します。 LED1点灯。

適応アルゴリズムが収束するまで2分～3分待ってから次の処理に進んで下さい。

3. SW1 プッシュ

$c(\omega)$ 測定を終了し, $hw(\omega)$ の測定を開始します。 LED1消灯, LED2点灯。

適応アルゴリズムが収束するまで2分～3分待ってから次の処理に進んで下さい。

3. SW2 プッシュ

$hw(\omega)$ 測定を終了します。 NOISE OUTPUTからM系列信号 (疑似乱数) が出力されますが, まだ消音動作は開始しません。 LED2消灯, LED4点灯。

4. SW4 オン

消音動作を開始します。

5. SW4 オフ

消音動作を停止します。 SW4をオフにした時点での適応フィルタ係数 $w[]$ は保存されていますので, 以後SW4のオン/オフを切り替えて消音効果を比較することが出来ます。

6. SW3 プッシュ

$c(\omega)$, $hw(\omega)$ の測定結果と収束後の適応フィルタ係数 $w[]$ をファイルにセーブします。

・ SW5をオンにすると, 消音動作中の適応フィルタの学習動作・適応フィルタ係数 $w[]$ の更新を停止します。

・ SW1をプッシュすると適応フィルタ係数 $w[]$ がクリアされます。 SW5がオンになっている場合はクリアされません。

・ $c(\omega)$ と $hw(\omega)$ の測定時の適応フィルタの収束状況はPWM出力信号でモニター可能です。 収束が進むにつれて出力電圧が低下します。

■ ledswtest LED/スイッチ基板のテストプログラム

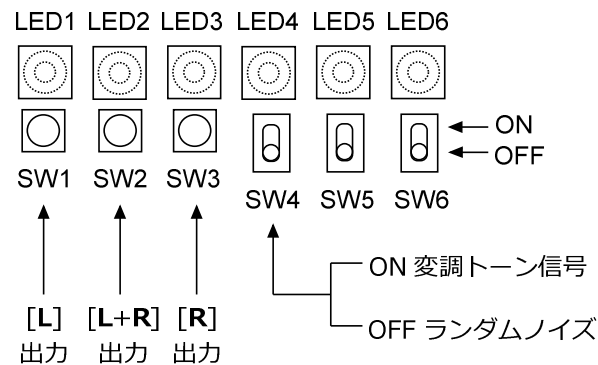
スイッチをオンにすると対応するLEDが点灯します。

PWM出力端子（PWM OUST）からは周期10秒のノコギリ波を出力します。

■ datest D/A出力テストプログラム

D/A出力のテストプログラムです。 スピーカーの結線チェック等にご利用ください。

PWM出力端子（PWM out）からは直流信号が出力されます。

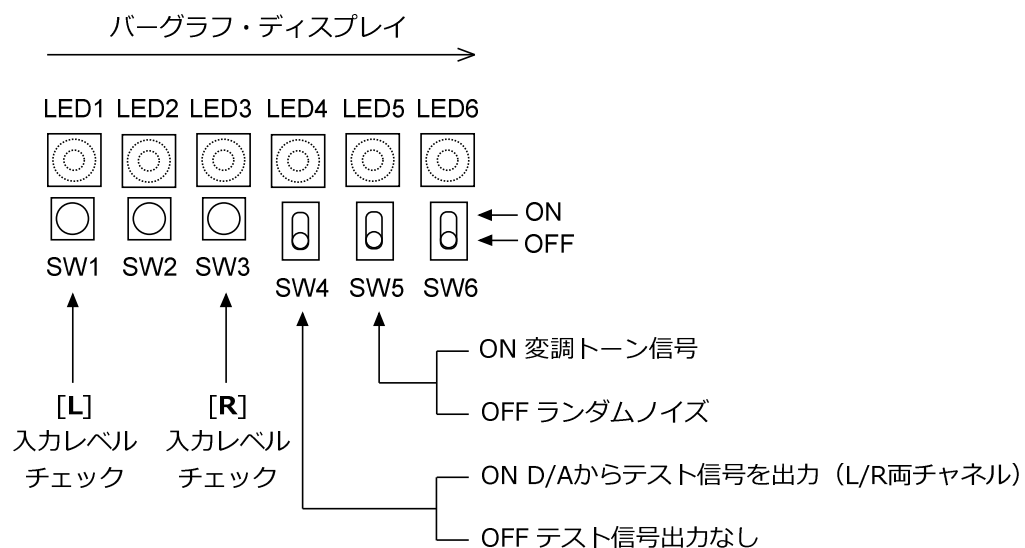


■ adtest A/D入力テストプログラム

A/D入力のテストプログラムです。 マイクの結線チェックにご利用ください。

A/D入力信号レベルに応じてLED1～LED6が点灯するバーグラフ・ディスプレイになります。（1ステップ20dB）

SW4をONにするとD/Aからテスト信号を出力します。（L/R両チャンネル出力）



■ サンプル・プログラム内部の説明

- ・消音アルゴリズムには入力信号のパワーによる正規化処理を付け加えた filtered-x LMSアルゴリズムを用いています。
- ・一般的にLMSアルゴリズムではステップサイズ・パラメータは 0.01~0.001 程度が適切とされていますが、サンプル・プログラムでは正規化処理を用いているためにステップサイズ・パラメータを異なる値に設定しています。
- ・サンプル・プログラムのコンパイラの最適化・レベル設定は下記のようになっています。

main関数を含むソース	: None
fir_lms.c	: Local (-o2)

ソースファイルfir_lms.cにはFIRフィルタ関数firおよび適応アルゴリズム関数lmsが含まれています。

- ・標準版のプログラム（ディレクトリ ¥anc¥norm）のFIRフィルタ関数および適応アルゴリズム関数では、C言語のソース・レベルの記述の工夫で処理を高速化しています。素直にリング・バッファを用いて記述した時に必要とされる場合の2倍のメモリを用いて、ループ中の剰余演算を不要としています。（詳しくはソースをご覧ください）概算の処理クロック数は下記のとおりです。

関数fir	（フィルタ・タップ長）× 5 クロック
関数lms	（フィルタ・タップ長）× 4 クロック

- ・高速版のプログラム（ディレクトリ ¥anc¥fast）のFIRフィルタ関数には TIが無償配布している信号処理ライブラリを用いています。（詳しくはソースをご覧ください）概算の処理クロック数は下記のとおりです。

関数fir	（フィルタ・タップ長）× 3 クロック
関数lms	（フィルタ・タップ長）× 4 クロック

- ・コンパイラのオプション設定を変更すれば、さらにプログラムの高速化をする余地はあります。たとえば最適化・レベルを None から -o0 以上にした上で、Generate Debug Info を「Full Symbolic Debug」から「No Debug」に変更するだけでも、より最適化がかかるようになります。（ただし、ソースコード・デバッグは不便になります）

- ・すべてのプログラムのサンプリング周波数は8kHzです。

消音帯域の上限を1kHz程度とした場合に最低限必要なサンプリング周波数です。より大型のダクトを用いた場合（消音帯域の上限が低くなる場合）もサンプリング周波数の設定は8kHzのままで問題ありません。

- ・消音処理はC6713 DSK上のA/D・D/A(CODEC)の制御のためのシリアルポート（McBSP）受信割込関数mcbasp_rx1_intrの中に記述しています。関数mcbasp_rx1_intrはサンプリング周波数8kHzで周期的に起動されます。

- ・8kHz以外のサンプリング周波数に設定する場合は、タイマー割込を使って下さい。

- ・お客様が作成されたダクトを使って実験される場合に、プログラムを修正する必要がある箇所は、基本的にはステップサイズ・パラメータとフィルタ・タップ長だけです。なお、ダクトが長い時は遅延調整用のディレイの追加が必要となる場合もあります。

- ・いずれのプログラムも特にメモリ使用量削減の工夫はしていません。FIRフィルタとLMSアルゴリズムに基づくフィルタ係数更新処理とで変数を共用化する等の修正を加えれば、かなりメモリ使用量を削減することが可能です。

■ 浮動小数点演算のエラーについて

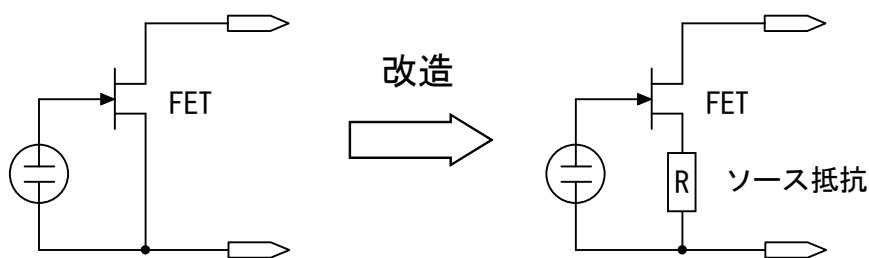
- ・ ステップサイズ・パラメータ μ (MU) の設定値が大きすぎた場合などに、適応アルゴリズムが収束せずにフィルタが発振状態になります。通常は発振状態が継続しますが、条件によっては浮動小数点演算のエラーが発生して、見かけ上フィルタが動作を停止したようになることがあります。（消音動作開始後に打ち消し音源から一瞬ノイズが発生するが、その後打ち消し音源出力が0になる）
- ・ これは浮動小数点演算のエラーにより計算結果が IEEE754 浮動小数点フォーマットで定義されている NaN (Not a Number, 非数) になったためです。ANCKITの消音プログラムでは発散（発振）により演算の途中でNaNが発生すると、NaNを含む演算の結果、適応フィルタ出力はすべて0になります。
- ・ 通常、ステップサイズ・パラメータ μ (MU) の設定値過大のために、NaNが生ずると打ち消し音源（SECONDARY SOURCE）のスピーカの出力が急激に大きくなった後、出力がゼロになります。音を聞いただけでは確実に判断することが難しいかもしれませんが、適応フィルタ関数内の変数をウォッチして値がNaNになっているかどうかで、ステップサイズ・パラメータ過大による適応アルゴリズム発散、浮動小数点エラー発生していることを確認することが出来ます。対策としては、ステップサイズ・パラメータ μ (MU) の値を小さくしてください。

■ セキュリティ・ソフトについて

- ・ DSPボード（C6713 DSK）とパソコンのUSB経由での通信には専用のデバイス・ドライバを用いています。パソコンにインストールされたセキュリティ・ソフト（アンチウイルス・ソフト等）がデバイス・ドライバの動作をブロックして、DSPの統合開発環境CCS（Code Composer Studio）が正常に起動出来ない場合があります。この場合は、一時的にセキュリティ・ソフトの動作を一時的に停止してください。当然ながら脆弱性が生じますので、必要に応じてネットワークとの接続を遮断する・USBメモリの使用を停止する等の対処もおこなってください。

■ 付属マイクについて

- ・ ANCKIT付属マイクは市販のエレクトレット・コンデンサ・マイクのユニットを改造したものをしています。下図に示すように、ゼロ・バイアス動作のアンプ（FET）にソース抵抗を追加して大入力時のリニアリティを改善しています。



- ・ アクティブ消音システムに使用するマイクロホンには厳密な周波数特性の平坦性は要求されません。適応フィルタ（適応アルゴリズム）はマイク、スピーカの周波数特性も含めた適応等価動作をします。