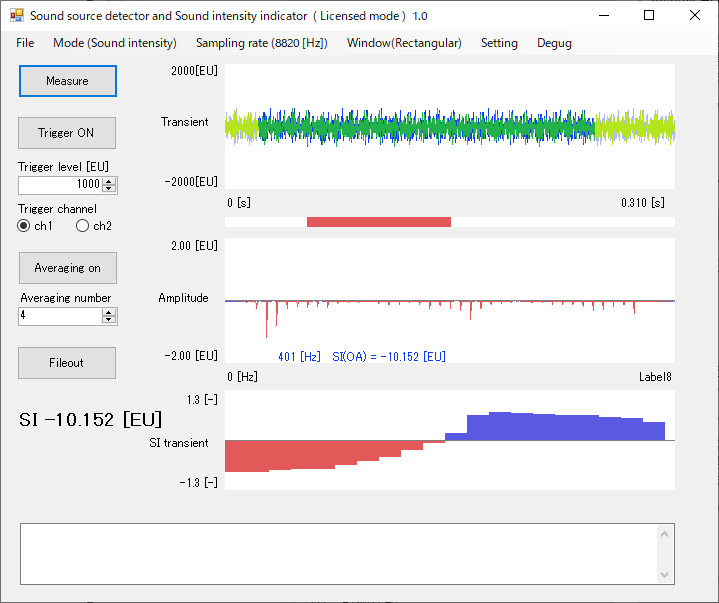
音源探査

音響インテンシティ，FFTアナライザ，伝達関数　測定器

取扱説明書 R2.0





## 目次

1. 概要 ―――――――――――――――――――――――――――――― 2
2. インストール方法 ―――――――――――――――――――――――――― 2  
   2.1 ソフトウェアのインストール 2  
   2.2　機器の接続 2  
   2.3　テスト音源の準備 3  
   2.4　Windows 11の設定 4  
   2.5　マイクボリュームの調整 6
3. ライセンスの取得 ―――――――――――――――――――――――――― 7
4. チュートリアル ―――――――――――――――――――――――――― 7  
   4.1　テスト音の生成 7  
   4.2　音源探査 9  
   4.3　マイクボリュームの調整 10
5. サンプリング周波数の決定 ―――――――――――――――――――――― 11  
   5.1　エイリアジング 11  
   5.2　サンプリング周波数の決定法 13
6. 周波数分析 ―――――――――――――――――――――――――― 15  
   6.1　周波数分析機能 15  
   6.2　トリガ機能（間欠音の測定） 16  
   6.3　平均化 18  
   6.4　デシベル表示 19  
   6.5　ウインドウ関数 20  
   6.6　A特性評価 23  
   6.7　オーバーオール値 25  
   6.8　ハムノイズに注意 25
7. 音響インテンシティ測定 ――――――――――――――――――――――― 26  
   7.1　音響インテンシティ 26  
   7.2　音響インテンシティの測定準備 28  
   7.3　音響インテンシティの測定 29  
   7.4　特定帯域の音響インテンシティ測定 33
8. 音源探査 ―――――――――――――――――――――――――― 35  
   8.1　音源探査方法 35  
   8.2　壁からの反射 35
9. 伝達関数測定 ―――――――――――――――――――――――――― 37  
   9.1　伝達関数 37  
   9.2　測定方法 37
10. 測定データをExcelに取り込む方法 ―――――――――――――― 39

参考文献 ―――――――――――――――――――――――――― 40

# 概要

本装置は，音源位置を指し示す音源探査機であります。マイクが装着されたインジケータを用いることで，音源の方向を調べることができます。また，同時に音響インテンシティを測定し，音波が進む方向をベクトル量として取得できます。添付のマクロプログラムつきExcelファイルに，音響インテンシティとマイク座標を入力することで，音源位置を求めることができます。

測定モードを変更することで2-channel FFTアナライザとして機能し，音の周波数分析を行います。AD変換器のライン入力に加速度計などの電圧信号を入力することで任意の信号の周波数分析をすることができます。また伝達関数測定も行います。伝達関数情報がわかれば，実験モーダル解析（ソフトは別売）も可能になります。

Windows11に対応しております。

# インストール方法

## 2.1 ソフトウェアのインストール

添付の圧縮ファイル（e\_SI2.zip）を解凍すると，フォルダ名「e\_SI2」のフォルダが生成されますので，フォルダごとCドライブ直下にコピーしてください。インストール作業は必要としません。

## 2.2　機器の接続

出荷時に図2-2-1の状態に接続されていますので，USB端子をWindows PCのUSB Cコネクタに接続してください。図2-2-2に示すようにUSB変換器を使うと正常に動作しません。 変換器を使っても動作します。



図2-2-1　機器の接続



図2-2-2　USB変換器を使った場合

## 2.3　テスト音源の準備

いきなり本装置を使用すると何を測っているかわからなくなります。必ずチュートリアルに従って，テスト音源に対する測定を行ってください。テスト音源発生器として，Windows PCとスピーカを準備してください。2.2項で接続したPCと同じものでOKです。ノートパソコンならスピーカが内蔵されているし，携帯して測定ができるので適しています。

## 2.4　Windows 11の設定

ノートパソコンには，最初からマイクが付属しており，今回使用する2-channelマイクと競合するので，PCにどのマイクを使うかを教える必要があります。

①ステレオマイクをPCにつなぎます。

②Windows画面右下のスピーカアイコンを右クリックし，「サウンドの設定」を選択し，図2-4-2に示すようにサウンド設定ウインドウを開きます。下図のように「USB Audio Device」が表示されていたら，ステレオマイクが認識されています。

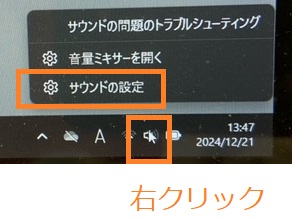


図2-4-1　サウンドの設定



図2-4-2　サウンドの設定画面

③次はマイクの選択です。図2-4-2に示すように入力デバイスとして「マイク」を選択し，「＞」ボタンを押します。

④図2-4-3に示した画面が表示されるので，「2個のチャンネル，16ビット，48000Hz（DVD Quality）」を選択します。そして自身で発声し，マイクテストのインジケータが反応することを確かめてください。



図2-4-3　ステレオマイクのプロパティ設定画面

⑨図2-4-3のステレオマイクのプロパティ設定画面で図のように設定します。ひとつでも設定を忘れたら，①からやり直してください。「オーディオの強化」の「オフ」がなかなか表示されません。このようなときは，サウンドの設定画面に戻って再度プロパティ設定画面を表示させることを何回か繰り返すことで表示されます。

⑩以上でマイクの設定は完了です。

ステレオマイクが認識されない場合，音響インテンシティがうまく測定できません。マイクが内蔵されているノートPCを使った場合はこの現象がよく出ます。下記のように対処してください。もしくはマイクが内蔵されていないデスクトップPCの使用を推奨します。

①ウィンドウズボタンを右クリックしてデバイスマネージャを起動します。

②図2-4-4に示すように「Stereo Mic」右クリックしてアンインストールします。警告が出ますが図2-4-5に示すようにアンインストールを押します。

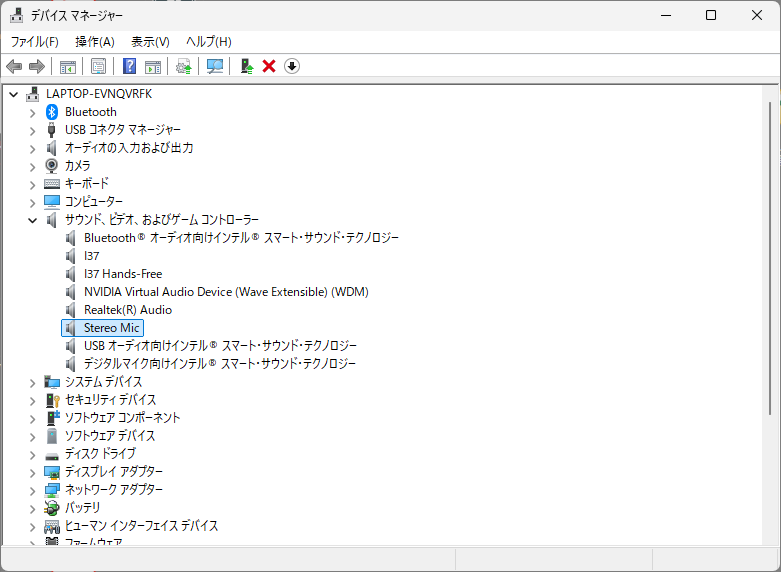


図2-4-4　デバイスマネージャ画面

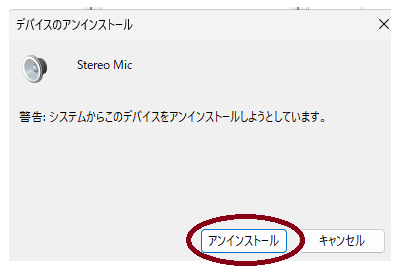


図2-4-5　ステレオマイクドライバのアンインストール

③ステレオマイクをPCから外します。

④Windows11を再起動します。

⑤マイクの設定を最初からやり直してください。

## 2.5　ボリュームの調整

図2-4-3に示したサウンドの設定で，矢印で示した入力音量を最大値である「100」にします。

# ライセンスの取得（現時点ではライセンスの取得は不要です。）

本ソフトウェアは指定された1台のPCにだけインストールができます。後でPCを変更する場合は別途ライセンス発行料がかかりますので慎重にPCを選んでください。Cドライブ直下「e\_SI2」フォルダ内の「WinFormsApp2.exe」ファイルをダブルクリックしてソフトを起動します。すると図3-1に示すようなウインドウが開くので，License code（3桁の数字）をメモしてください。 [OK] ボタンを押すとソフトが起動するので，右上の「×」を押してソフトを終了させます。そして，「[info@rt-designlab.com](mailto:info@rt-designlab.com)」宛に，License code，会社名，氏名が記載されたメールを送付してください。

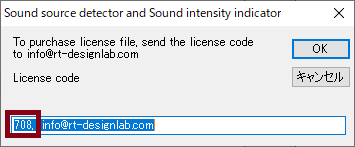


図3-1　ソフト起動メッセージ

確認後，ライセンスファイル「license\_soundintencity.lic」を送付しますので，このファイルをCドライブ直下「e\_SI2」フォルダ内にコピー（上書き）してください。その後，再度「sound\_intensity\_1.exe」ファイルをダブルクリックしてソフトを起動します。するとソフトのタイトルが図3-2に示すように「Test mode」から「Licensed mode」変わります。これでソフトが動くようになりました。

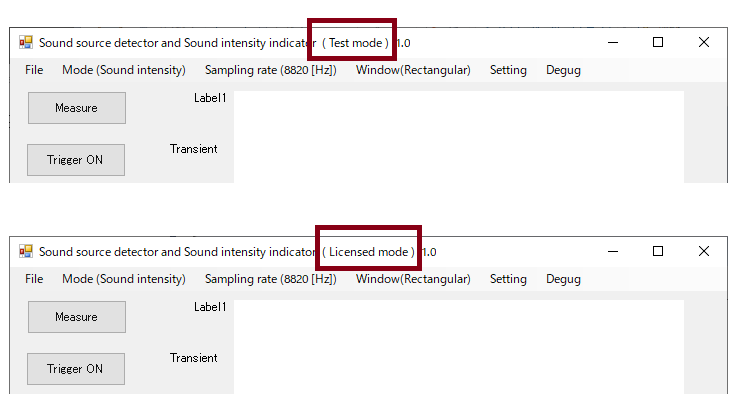


図3-2　テストモードとライセンスモード

# チュートリアル

## 4.1　テスト音の生成

必ずチュートリアルに従って，テスト音源に対する測定を行ってください。図4-1-1に示すように，「e\_SI2」フォルダ内の「sine\_1000\_Hz\_L.wav」ファイルを右クリックし，「プログラムから開く」／「別のプログラムを選択」をクリックします。

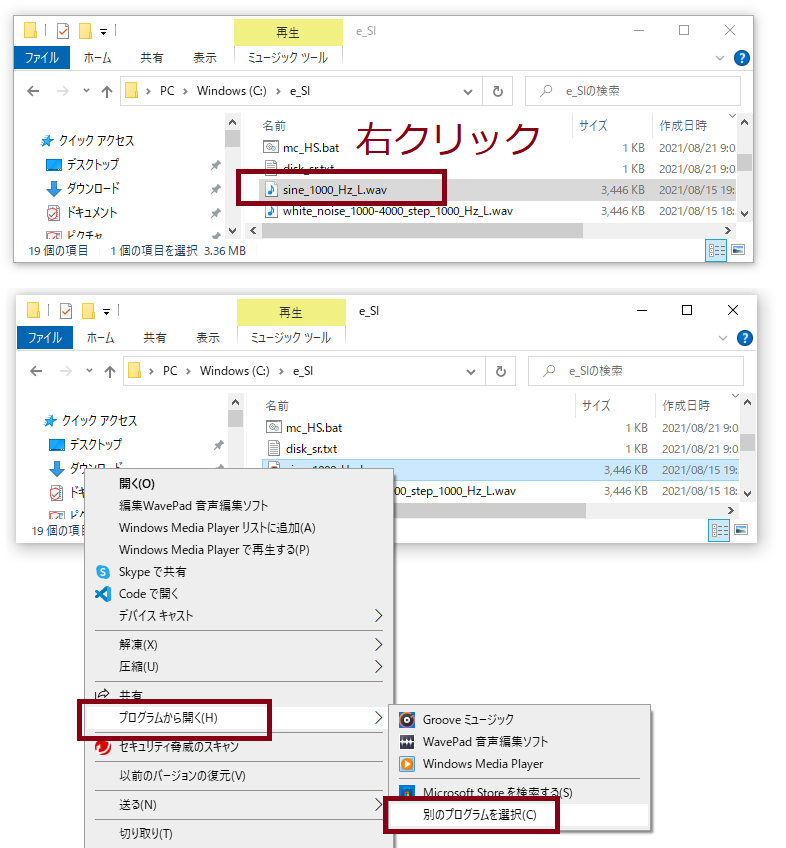


図4-1-1　テスト音の生成

図4-1-2に示すウインドウが開くので，「Windows Media Player」を選択し，「☑常にこのアプリを使って .wav ファイルを開く」にチェックを入れて [OK] ボタンを押します。するとMedia Playerが起動しテスト音が生成されます。図3-1-3のオレンジ色の楕円で囲ったあたりを右クリックして連続再生を選択します。上述した作業によって，1000 [Hz] の正弦波の音が左スピーカから出力されます。

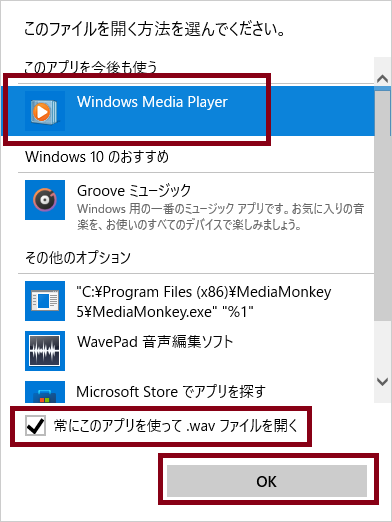
　　　　　　

図4-1-2　wavファイル生成ソフトの選択　　　　　　図4-1-3 Media Playerの連続再生の設定

## 4.2　音源探査

Cドライブ直下「e\_SI2」フォルダ内の「WinFormsApp2.exe」ファイルをダブルクリックしてソフトを起動します。図4-2-1に示すように，メニューの「Mode(-----)」をクリックし「Sound intensity」を選択します。次に [Measure] ボタンを押すと測定を開始します。

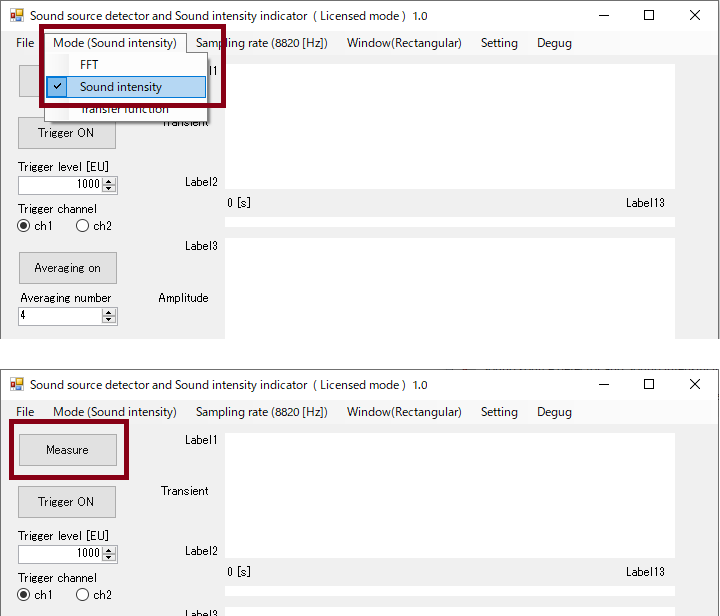


図4-2-1　音源探査の開始

この後の操作法は，動画（https://www.youtube.com/watch?v=LXLH5\_wSWHs）を参照してください。

図4-2-2に示すように，

インジケータの指し示す先の左側に音源があれば，マイナス値（赤色）を出力し，

インジケータの指し示す先の右側に音源があれば，プラス値（青色）を出力し，

インジケータの指し示す先に音源があれば，ゼロ値を出力ます。

このようにして，音源を探査します。

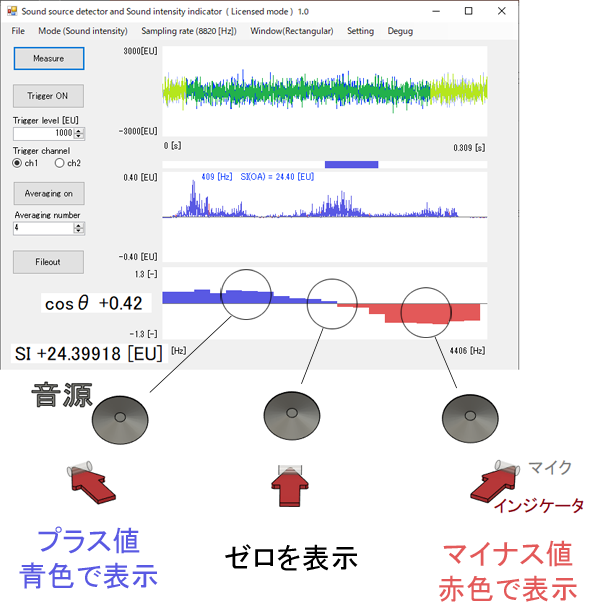


図4-2-2　音源探査方法

## 4.3　マイクボリュームの調整

マイクをスピーカに極力近づけてガムテープなどで固定します。少々うるさいですがスピーカのボリュームを最大とします。すると図4-3-1に示すように「Overrange! Turn down the volume!」と表示されます。

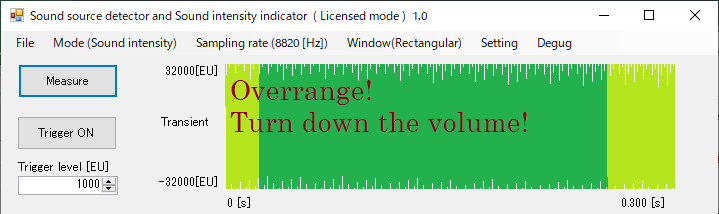


図4-3-1　AD変換器の入力が限度を超えた場合

図2-4-3の入力音量にてマイクのボリュームを調整します。

測定対象が変わったときやマイクの位置が変わったときは，毎回，図2-4-3においてマイクボリュームを最大に戻します。「Overrange! Turn down the volume!」が表示されたとはボリュームを下げてください。「Overrange! Turn down the volume!」が表示されないぎりぎりのボリュームの大きさで測定すると，ノイズの少ない測定となります。

# サンプリング周波数の決定

FFT（周波数分析モード），音源探査モード，Sound intensity（音響インテンシティ）測定モード，Transfer function（伝達関数）測定モードすべてにおいて，適切なサンプリング周波数を決める必要があります。この方法を述べます。

## 5.1　エイリアジング

騒音対策の対象となる音の周波数はおおむね100～4000 [Hz] です。4000 [Hz] の音だと1秒間に4000回音圧が変化するので，1周期0.00025秒です。サンプリング定理から4000 [Hz] の信号を離散フーリエ変換するためにその2倍以上のサンプリング周波数が必要となります。サンプリング周波数は8000[Hz]が適切です。図5-1-1はサンプリング周波数が十分高い例で，このようなデータサンプリングをすると元の信号の周波数を特定できます。図5-1-2はサンプリング周波数が低い場合で，データは丸プロット「〇」の位置で取得され，デジタルデータに変換（AD変換）されます。AD変換されたデータだけを読み取ると図の赤色破線のような信号となり，元の信号と異なった周波数の信号が観測されることになります。

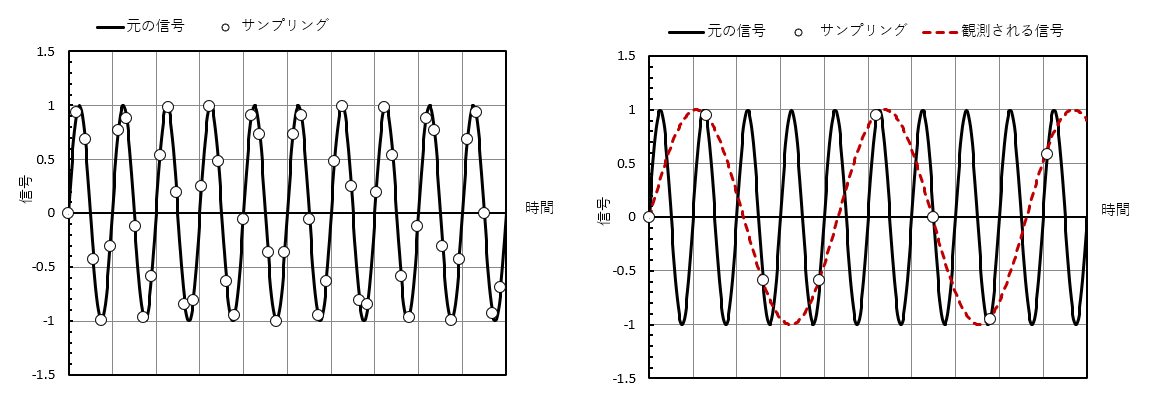


図5-1-1　サンプリング周波数が十分高い場合　　　　　　　　図5-1-2　サンプリング周波数が低い場合

このような誤った測定をさけるために，サンプリング定理からサンプリング周波数は次式を満たす必要があります。

では，サンプリング周波数が低い場合を体験しましょう。ソフトを立ち上げてメニューの「Mode」／「FFT」をクリックしFFTモード（高速離散フーリエ変換モード）に変更して，図5-1-3のように，メニューの「Sampling rate」／「8000 [Hz] 」をクリックして， [Measure] ボタンを押して測定を開始してください。

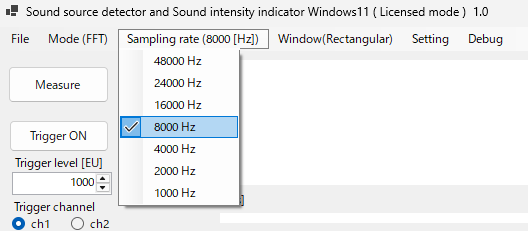


図5-1-3　FFTモード，サンプリング周波数9600 [Hz] への設定と測定開始

「C:\e\_SI2」フォルダ内にある「sine\_L\_6000Hz.wav」をダブルクリックして，6000 [Hz] の正弦波音を発生させて，マイクをスピーカに近づけてください。次にFFTモードで測定を開始してください。

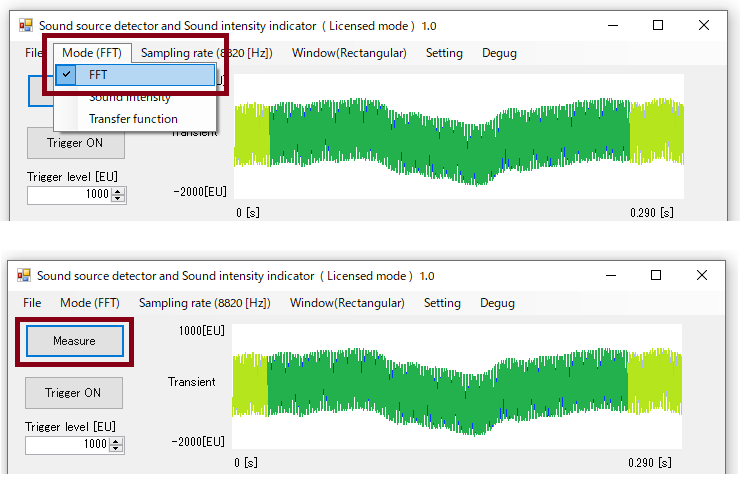


図5-1-4　 FFTモードでの測定

すると図5-1-5に示すように表示されます。上段のグラフは音圧の時刻歴波形，中段のグラフは周波数分析結果の振幅，下段のグラフは周波数分析結果の位相角です。中段のグラフにて，2000 [Hz] の音として観測されます。エイリアジング（aliasing）という現象です。今回のサンプリング周波数は8000 [Hz] だったので観測できる最大周波数は4000 [Hz] でした。観測される周波数は次式のようになります。

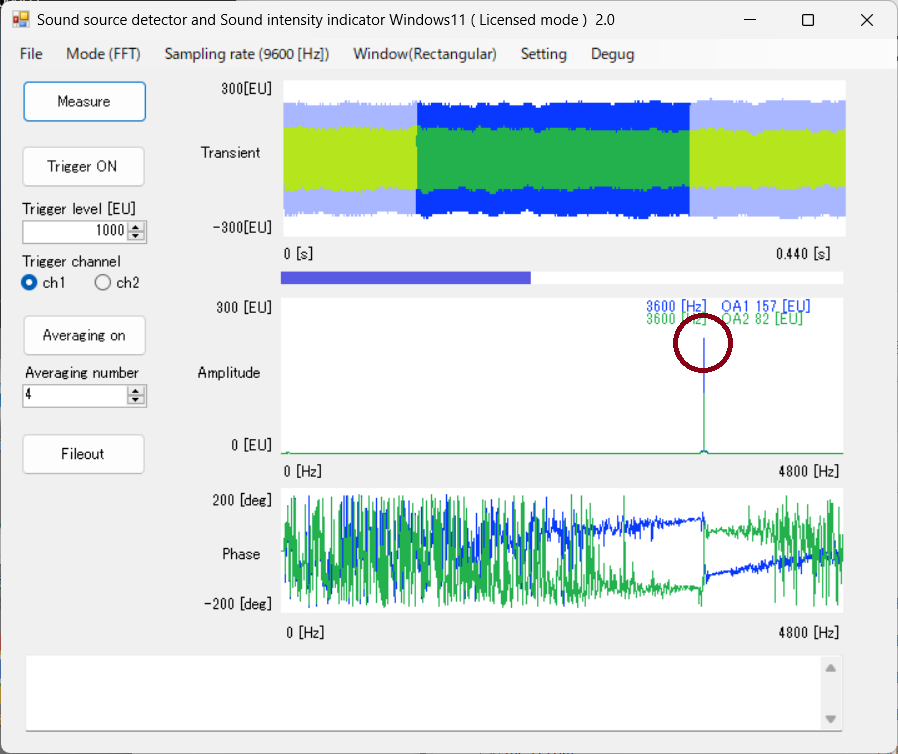
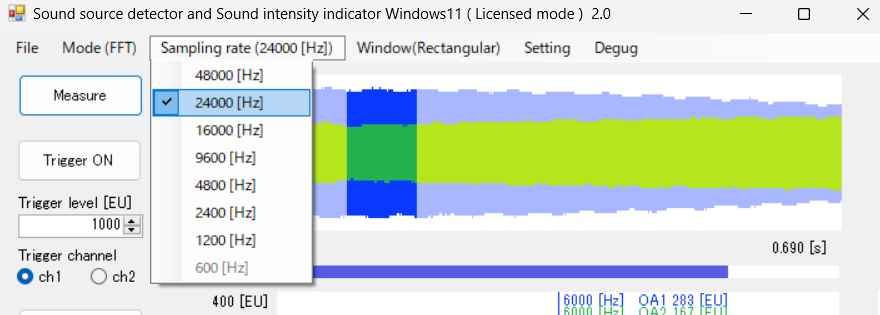


図5-1-5　サンプリング周波数9600 [Hz] による測定結果

それでは，図5-1-6のようにサンプリング周波数を24000 [Hz] に変更して測定してください。今度6000 [Hz] として正しく測定されました。



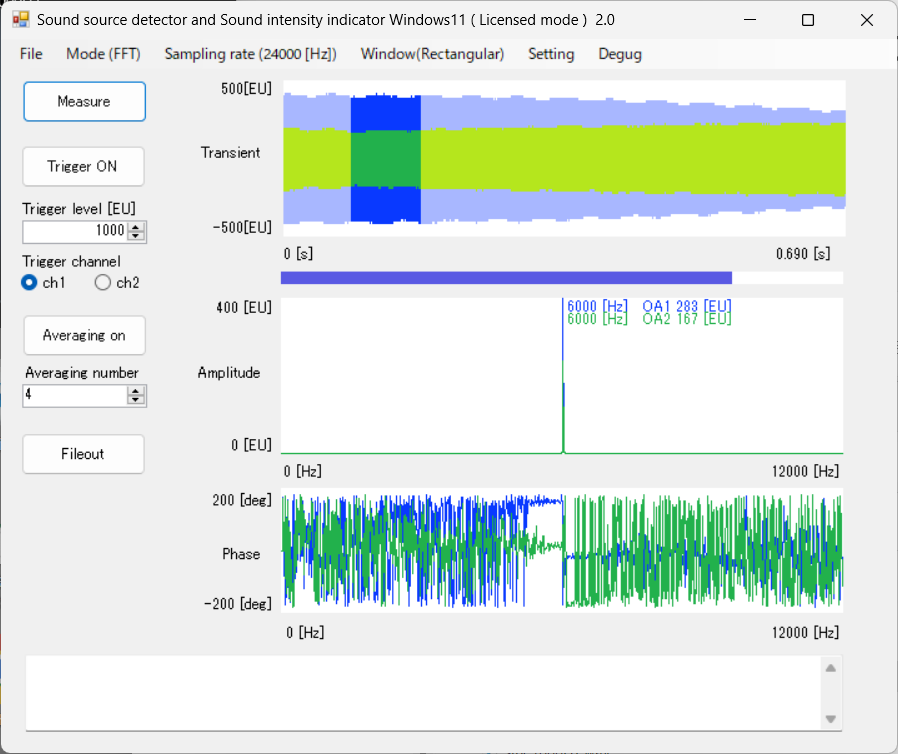


図5-1-6　サンプリング周波数を26000 [Hz] に変更

## 5.2　サンプリング周波数の決定法

モードをFFTとし，サンプリング周波数を48000 [Hz] に変更して音を測定します。例えば図5-2-1のような測定結果となります。中段のグラフの最高周波数のところにマウスポインタを移動してクリックします。するとその点の周波数が表示されます。この例の場合4014 [Hz] だったので，(5.1.1)式に従うと必要なサンプリング周波数は8028 [Hz] 以上となります。

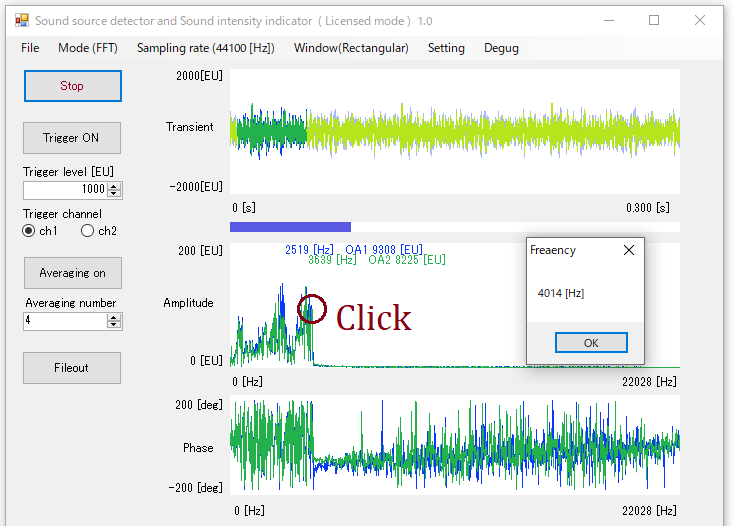


図5-2-1　サンプリング周波数を48000 [Hz] とした周波数分析結果

図5-2-2に示すように，メニュー「Sampling rate」から8028 [Hz] 以上のものを選択します。この場合は16000 [Hz] となりのます。以上がサンプリング周波数の決定法です。

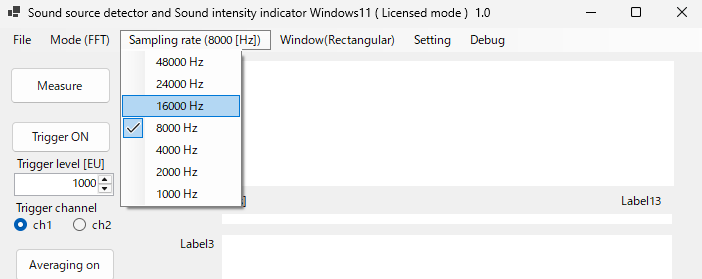


図5-2-2　サンプリング周波数の設定

# 周波数分析

本装置は音源探査機ですが，ユーザのほとんどは騒音対策を目的としているでしょう。騒音対策の基本は音の周波数分析です。周波数分析機能から説明します。

## 6.1　周波数分析機能

周波数分析機能は，マイクが測定した音圧を離散フーリエ変換して表示する機能です。高速離散フーリエ変換はFast Discrete Fourier Transformですが，一般的にはDiscreteが省かれてFFT（Fast Fourier Transform）と呼ばれています。

図6-1-1に示すようにFFTモードとしてください。図6-1-2に周波数測定画面を示します。上段のグラフは信号の時刻歴波形，中段のグラフは周波数分析結果の振幅，下段のグラフは周波数分析結果の位相角です。信号値はマイクが出力する信号を16ビットAD変換した値です。図2-5-3のボリューム値を変えると信号値が変わります。

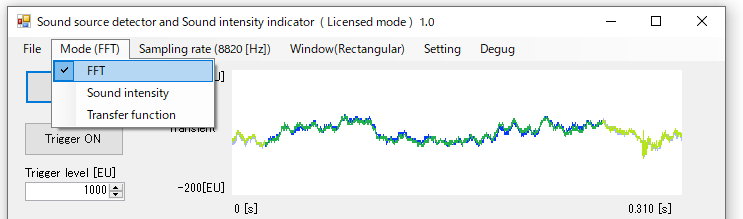


図6-1-1　FFTモードへの変更

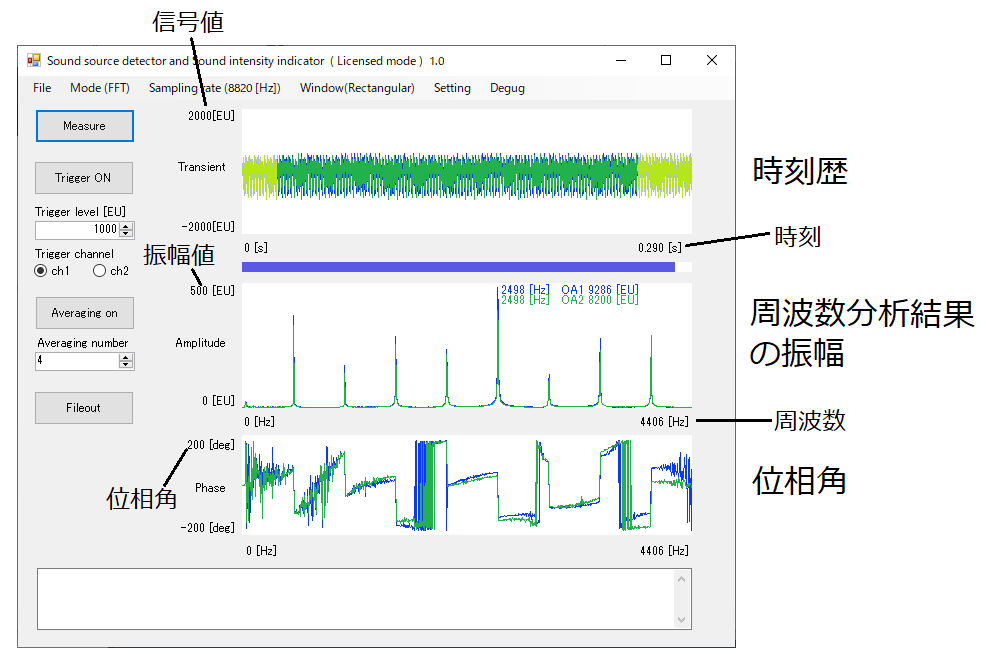


図6-1-2　周波数測定画面

図6-1-1の時刻歴波形において濃い緑色，濃い青色，薄い緑色，薄い青色の線があります。濃い色で表示されたデータが周波数分析されます。緑色はマイクのLチャンネルの信号，青色はRチャンネルの信号です。

## 6.2　トリガ機能（間欠音の測定）

間欠音の時刻歴波形を図6-2-1に示します。図のAの時間帯の音の周波数分析をしたいところですが，本装置はディフォルト設定では連続してデータを採取するため，Bの時間帯の音を測定する場合もあればAの時間帯の音を測定する場合もあります。Aの時間帯の音だけを測定するためにトリガ機能を使います。

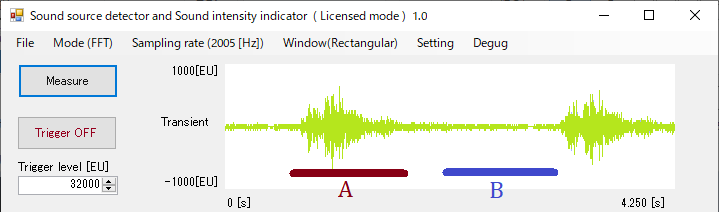


図6-2-1　間欠音の時刻歴波形

「e\_SI2」フォルダ内の「press\_machine.wav」を再生します。Windows Media Player で連続再生とすることを忘れないでください。スピーカ音量を最大とし，ガムテープなどでスピーカの近くにマイクを固定します。そして，4.3項「マイクボリュームの調整」に従ってボリュームを調整してください。図6-2-2に示すように，Sampling rateを2000 [Hz] とし， [Trigger ON] ボタンを押し， [Measure] ボタンを押してください。

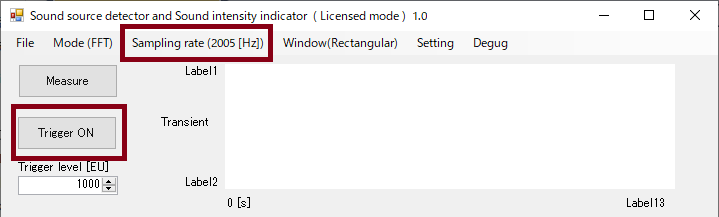


図6-2-2　トリガONの設定

すると図6-2-3のような波形が表示されます。測定を開始したい点は測定者が決めます。今回は図の赤丸で示した点を測定開始点とします。その波形値を目盛から読み取ります。今回は2000 [EU] 程度でしょうか。Trigger level [EU] のボックスに2000を入力します。

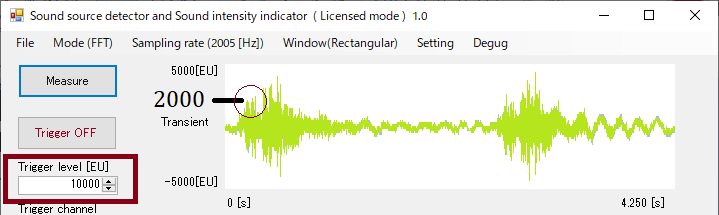


図6-2-3　トリガレベルの設定

図6-2-4のような画面になります。時刻歴波形において濃い色で表したデータが周波数分析の対象となります。意図したデータが周波数分析の対象となるように，Trigger levelとSampling rateを調整します。

図のB部に注目します。どうやら今回の波形に含まれている周波数成分は483 [Hz]が主成分で，それ以上の周波数成分はなさそうなので，エイリアジングはないと判断できます。

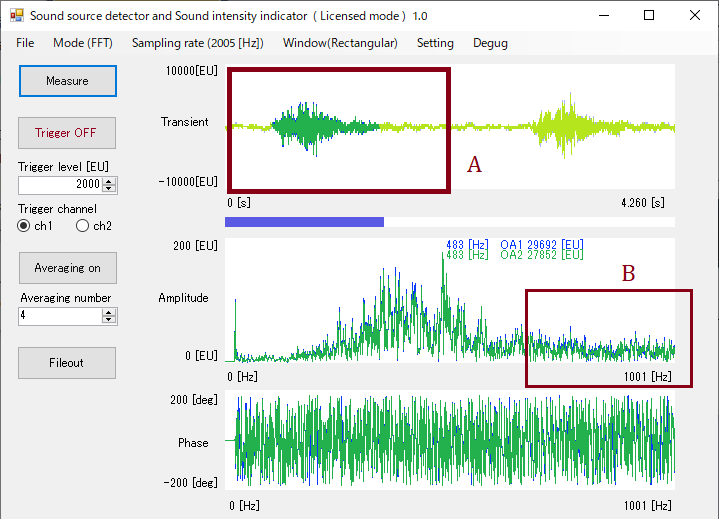


図6-2-4　トリガ機能を有効にした時の測定データ

## 6.3　平均化

FFTはノイズに弱い分析法だといわれています。平均化することでノイズ成分を減らします。6.2項の作業を続けます。図6-3-1に示すように [Start averaging] ボタンを押し，Averaging numberを10とします。そして， [Measure] ボタンを押して測定を始めます。測定を10回行うので1分ほど待つと，図6-3-2のように「Averaging finished.」と表示され測定を停止します。

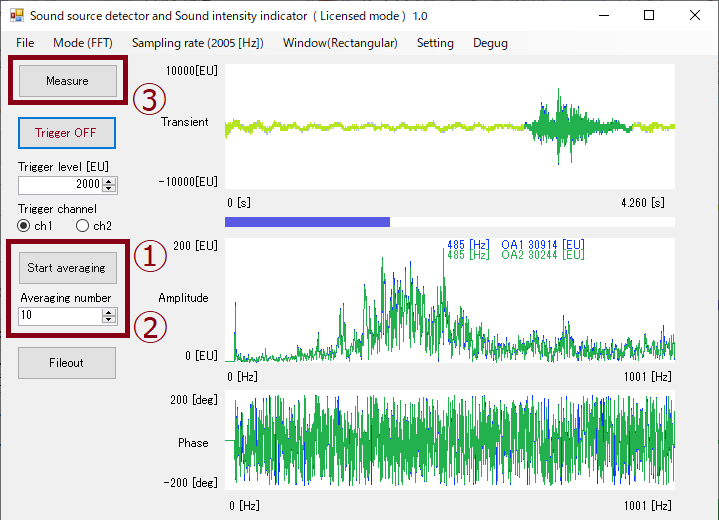


図6-3-1　平均化の設定

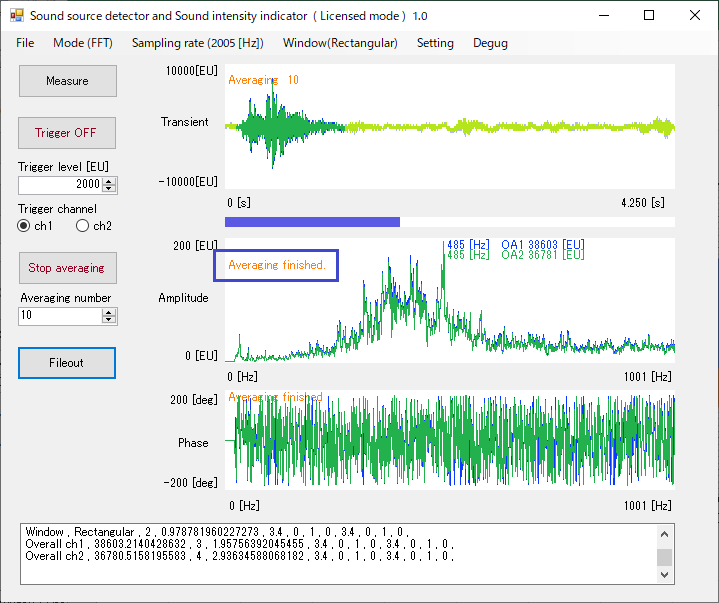


図6-3-2　平均化終了画面

図6-3-3に平均化しない場合とn=10で平均化した場合の周波数分析結果を示します。平均化によりグラフの凹凸が滑らかになり，ノイズ成分が低減されていることがわかります。このグラフはExcelで書いたものですが，測定データをExcelに読込む方法は後述します。

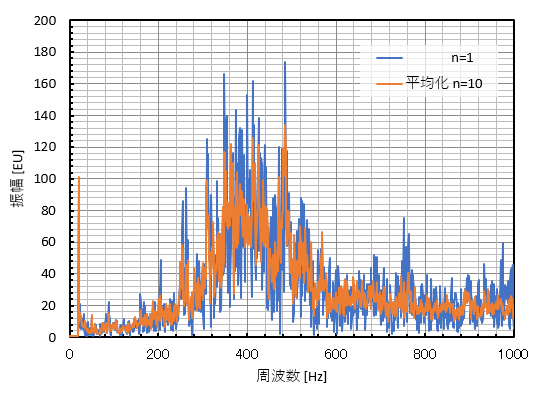


図6-3-3　周波数分析結果　平均化あり／なし

## 6.4　デシベル表示

周波数分析の結果をLogスケールでデシベル表示できます。図6-4-1に示すように，メニューの「Setting」／「Log scale」をクリックすると，図6-4-2右図に示すように中段の振幅の縦軸がデシベル単位になります。ただし，このデシベル値は一般的な騒音計のデシベル値ではなく，16bitでAD変換された値を次式で変換したものです。図2-5-3のマイクのボリューム値を変えると，デシベル値も変化することに注意してください。

本装置

騒音計

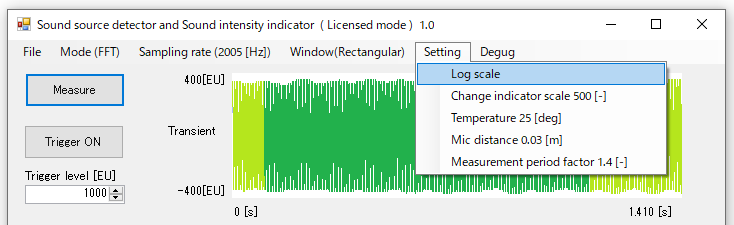


図6-4-1　振幅のLogスケール表示

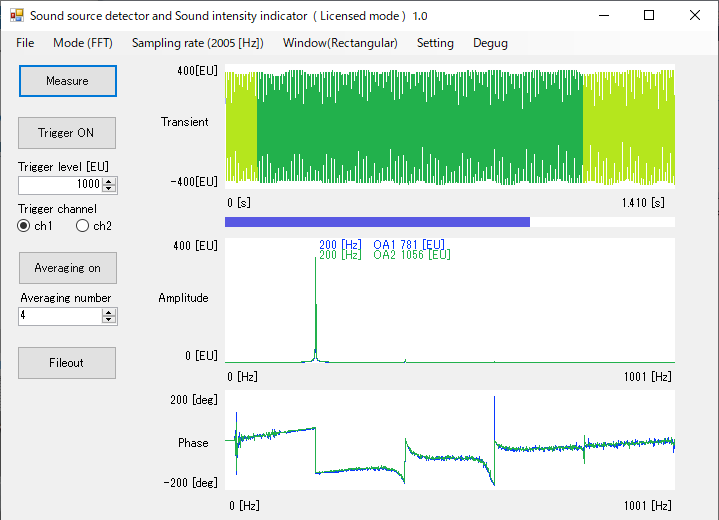
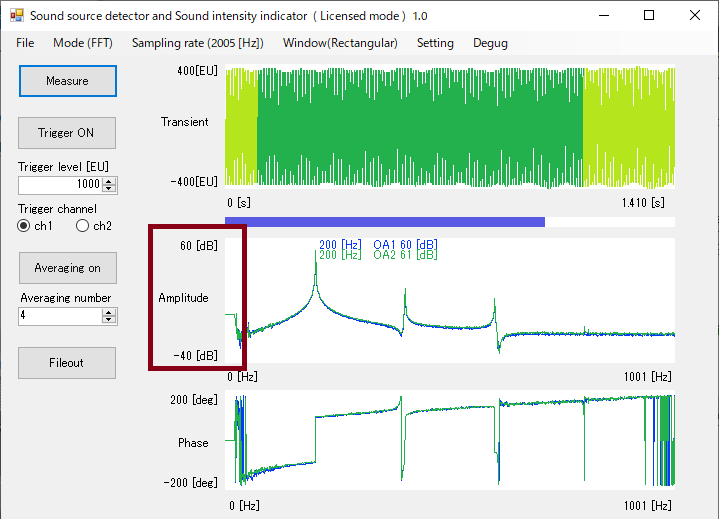
 　

図6-4-2　Logスケール表示

## 6.5　ウインドウ関数

ウインドウ関数の説明では，Amplitude（振幅）表示をLogスケールにした状態で説明します。Logスケール表示は，メニュー「Setting」／「Log scale」をクリックします。図6-5-1に200 [Hz] の正弦波音を測定した画面を示します。Transient波形の色の濃い部分が周波数分析の対象です。

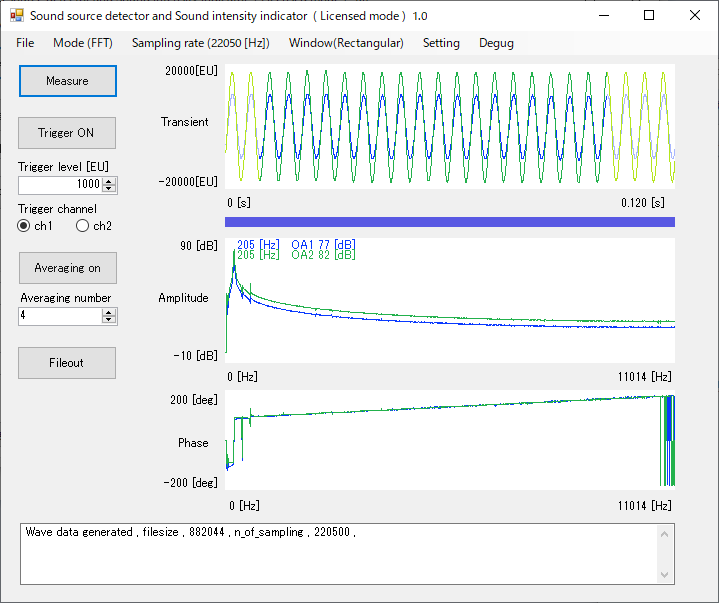
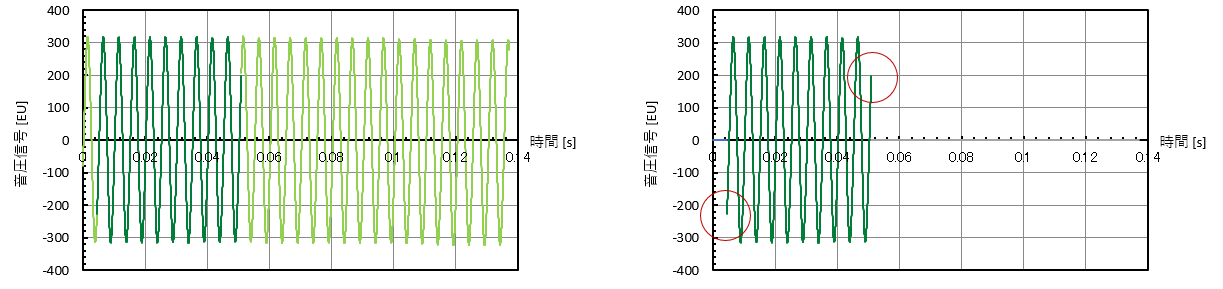


図6-5-1　200 [Hz] の正弦波音を測定した画面

Transient波形の色の濃い部分が周波数分析の対象ということは，測定データは図6-5-2のように切り取られていることになります。



測定データ　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　周波数分析対象となるデータ

図6-5-2　測定データの切り取り

振幅表示をLogスケールにすると，図6-5-3の矢印で示すように周波数成分にはすそ野があります。つまり，200 [Hz] 以外の周波数成分を含んでいることを示しています。しかし今回の音源は200 [Hz] の正弦波音なので，200 [Hz] 成分以外の周波数成分は持っていないはずです。このような周波数分析結果になった理由は，図6-5-2に示したように測定データが切り取られ，データのはじめと終わりの部分が不連続になっていたためです。

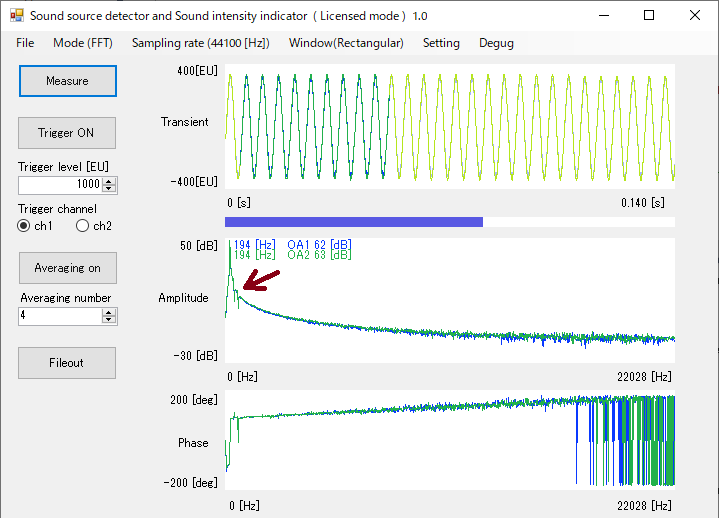


図6-5-3　200 [Hz] 正弦波音の測定結果

この問題の対策のためにウインドウ関数と呼ばれるものを導入します。ウインドウ関数は時間の関数で「重み」を表しています。図6-5-4に音圧信号，ウインドウ関数，音圧信号とウインドウ関数の積，を示します。この例でのウインドウ関数はHanning windowと呼ばれているものです。図のようにウインドウ関数のはじめと終わりがゼロなので，音圧信号とウインドウ関数の積のはじめと終わりがゼロになります。音圧信号とウインドウ関数の積を周波数分析すれば，図6-5-2の右図に示した不連続性はなくなります。

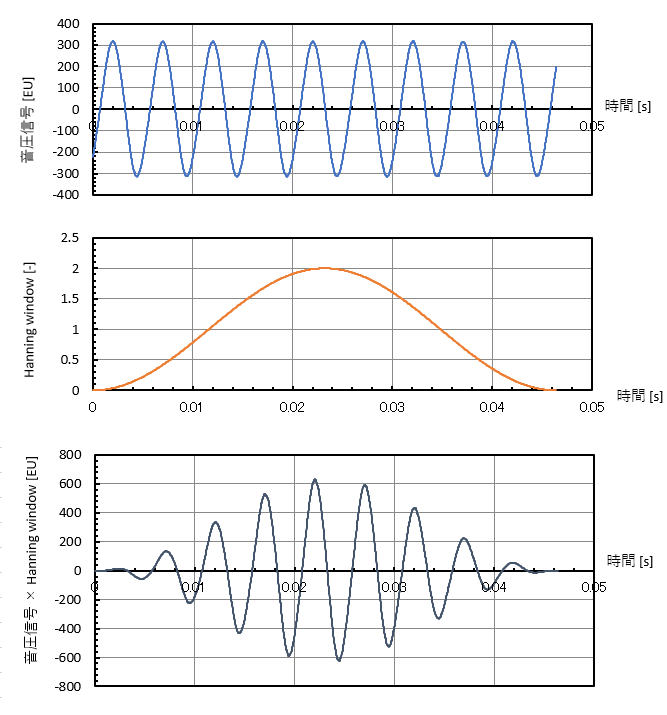


図6-5-4　音圧信号，ウインドウ関数，音圧信号のウインドウ関数の積

ウインドウ関数をかけた場合の周波数分析結果を図6-5-5に示します。すそ野が20 [dB] 以上低減されています。この例では倍音が観測されていますが，ウインドウ関数と倍音は関係ありません。

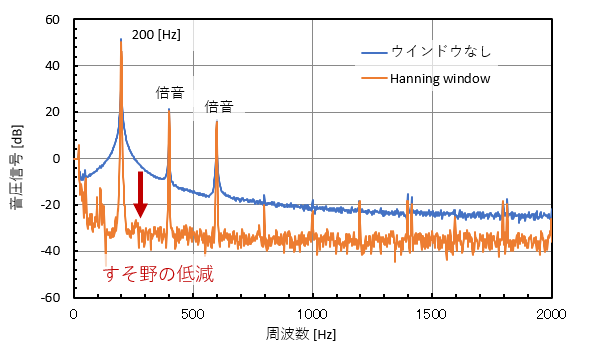


図6-5-5　ウインドウ関数をかけた場合の周波数分析結果

本装置は図6-5-6に示す4種類のウインドウ関数を用意しています。ウインドウ関数なしはRectangular windowに相当します。それぞれのウインドウ関数は最大値が1ではなくいろいろな値を持っています。このような値にすることで，周波数分析結果の大きさがRectangular windowの場合と近くなるようにしています。通常はHanning windowで問題ないと思いますが，ウインドウ関数の違いに興味があれば参考文献1)を参照ください。

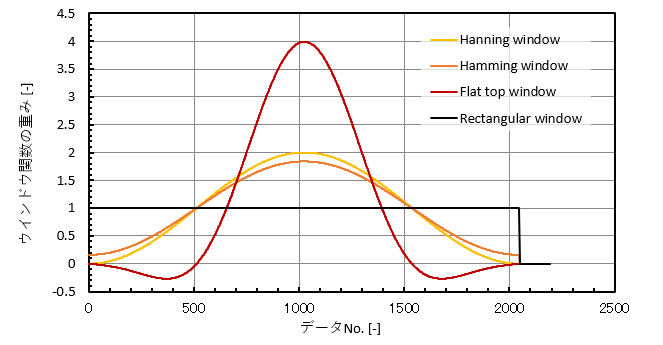


図6-5-6　ウインドウ関数の重み

## 6.6　A特性評価

騒音計ではA特性，C特性，Z特性などそれぞれの周波数成分に重みをかけた測定ができます。図6-6-1に各特性の重みを示します。A特性は人の聴覚に合わせた重みで，A特性の騒音値が，人がうるさく感じる大きさに近いということになります。例えばA特性の1000 [Hz] の重みは0 [dB]，つまり1倍です。1000 [Hz] の音には重みをかけていません。一方，100 [Hz] の重みは -20 [dB]，つまり1/10倍です。人の聴覚は100 [Hz] の音に対するうるさく感じる度合いが1/10だということです。例をあげると，1000 [Hz] 80 [dB] の音と100 [Hz] 100 [dB] の音が，人にとっては同じくらいのうるささです。ということは騒音対策を講じるときに，少々100 [Hz] の音が入っていたとしても対策は必要なく，1000～4000 [Hz] の音に対して対策が必要だということになります。騒音対策を講じるときの指針として，A特性の測定値を使うと都合がよくなります。

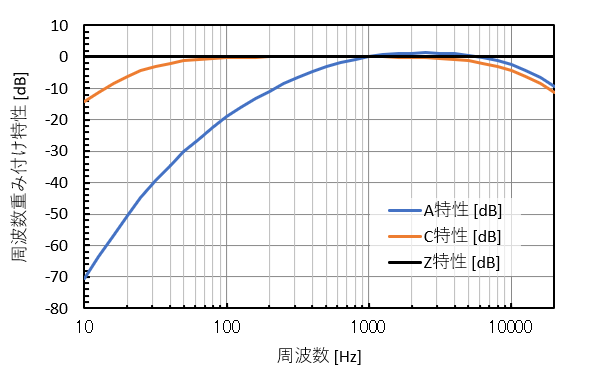


図6-6-1　騒音計の周波数重みづけ特性

本装置には，周波数分析結果にA特性の重みを掛けるモードがあります。図6-6-2に示すように，メニューの「Window」／「A weight」をクリックします。

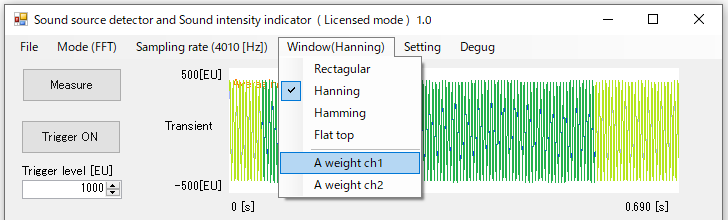


図6-6-2　A特性の設定

繰返しとなりますが，本装置のデシベル表示の値（図6-6-3）と騒音計が示すデシベルと値は，両者比例関係にありますが，異なる値であることに注意してください。

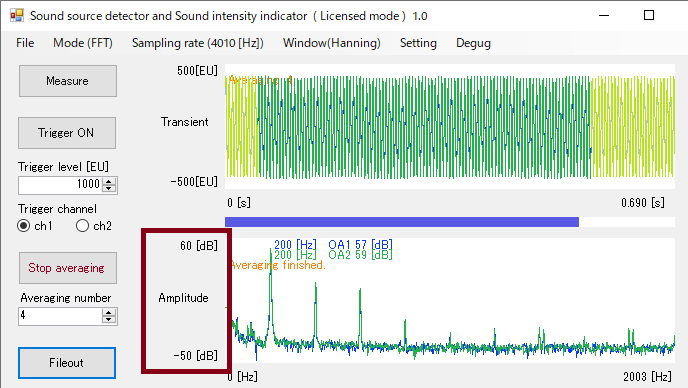


図6-6-3　本装置のデシベル表示

## 6.7　オーバーオール値

図6-7-1で示した位置にオーバーオール値 が出力されます。オーバーオール値は次式で計算しております。

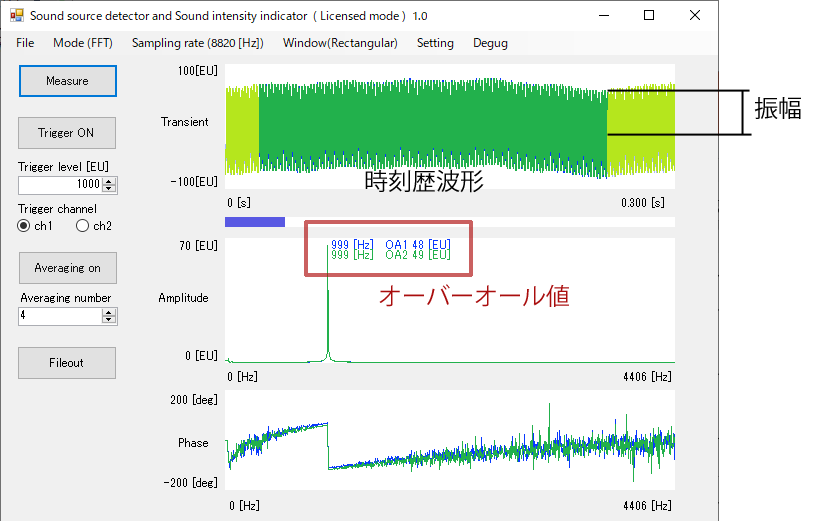


図6-7-1　オーバーオール値の表示

信号を とすると，実効値は次式で定義されています。オーバーオール値は信号の実効値と一致します。

信号が単一周波数の振幅 の正弦波の場合，オーバーオール値（実効値）は以下の関係にあります。

## 6.8　ハムノイズに注意

図6-8-1にプレス音の周波数分析結果を示します。50 [Hz] 成分が観測されています。50 [Hz] 成分はいろいろな場面で観測されていて，これが騒音の成分だと考えがちですが，多くの場合，電源周波数がノイズとして混入していると考えた方がいいです。西日本では 60 [Hz] となります。この周波数成分については注意が必要です。

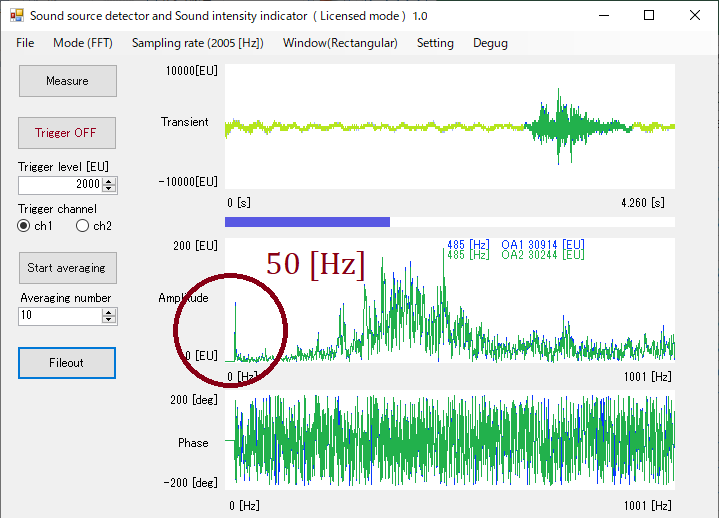


図6-8-1　プレス音の周波数分析結果

# 音響インテンシティ測定

## 7.1　音響インテンシティ

音響インテンシティ の定義を以下に記します。

粒子速度 は音の速度ではなく，空気の小さな塊（流体粒子）の速度です。 は方向を持ったベクトル量なので，音響インテンシティ もベクトル量となります。例えば図7-1-1に示すように点音源から音が放射されているとします。音は点音源から遠ざかるように進行します。よって，点音源の音響インテンシティの方向は点音源から遠ざかる方向です。音響インテンシティの大きさは観測する位置によって異なります。点音源の出力を としましょう。半径 の球の表面積は なので，音響インテンシティの大きさは次式となります。音響インテンシティは単位面積の面を通過する音のエネルギとなります。

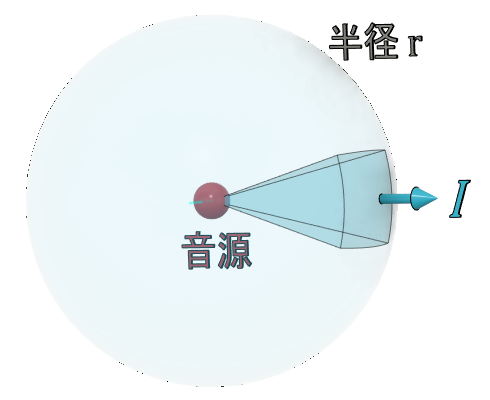
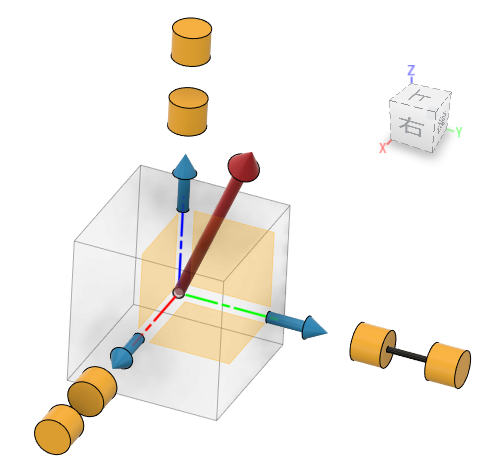


図7-1-1　点音源と音響インテンシティ

音響インテンシティはベクトル量なので3成分あります。そして本装置には2つのマイクがあり，図7-1-2に示したマイク配置で測定することで，音響インテンシティの3成分 が測定されます。本装置が表示する音響インテンシティは(7.1.1)式ではなく，次式で求まる音響インテンシティです。音響インテンシティの単位は ですが，本装置はPCのマイクロホンのボリュームを調整しているので，本装置は音響インテンシティに比例する量を表示します。



音響インテンシティ

マイク

図7-1-2　音響インテンシティ測定時のマイク配置

## 7.2　音響インテンシティの測定準備

音が右から左に伝わっているときと，左から右に伝わっているときとでは，音響インテンシティの符号は反対なので，2つのマイクの位置関係を把握する必要があります。添付したwavデータ（sine\_1000\_Hz\_L.wav）をノートパソコンなどで再生します。次にCドライブ直下「e\_SI2」フォルダ内の「sound\_intensity\_1.exe」ファイルをダブルクリックしてソフトを起動します。図7-2-1に示すように，メニューの「Mode(-----)」をクリックし「Sound intensity」を選択します。次に [Measure] ボタンを押すと測定を開始します。

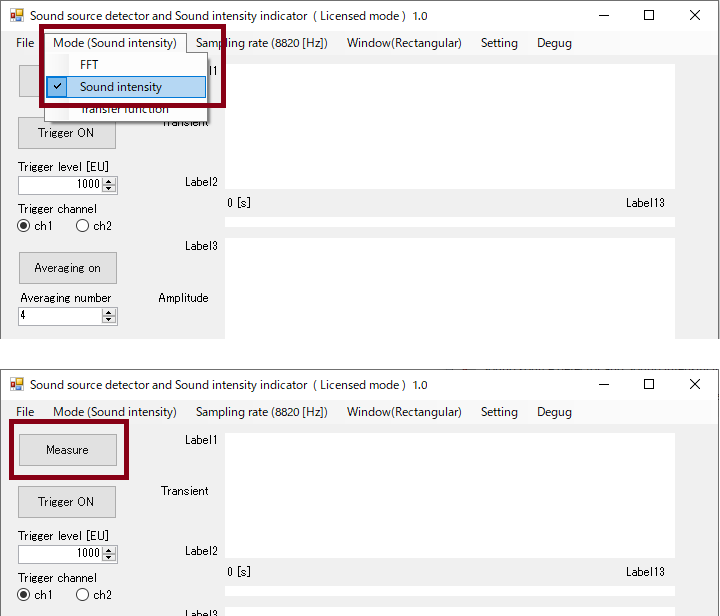


図7-2-1　音響インテンシティ測定の開始

図7-2-2に示すように2通りの測定をします。すると図7-2-3に示すように2通りの測定結果が得られます。

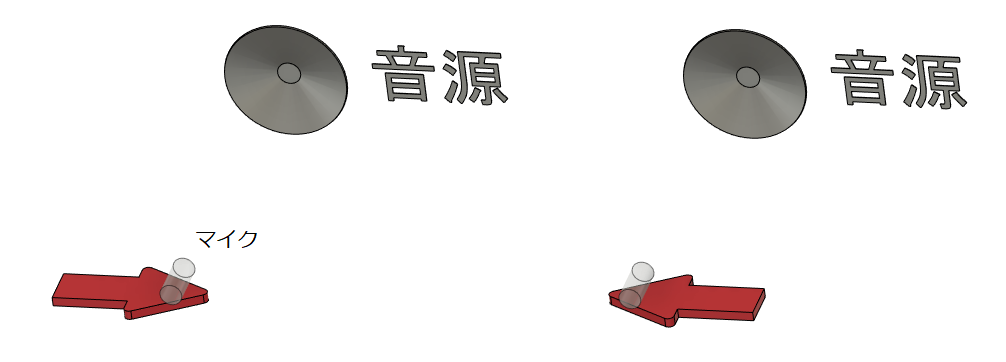


図7-2-2　音響インテンシティ測定

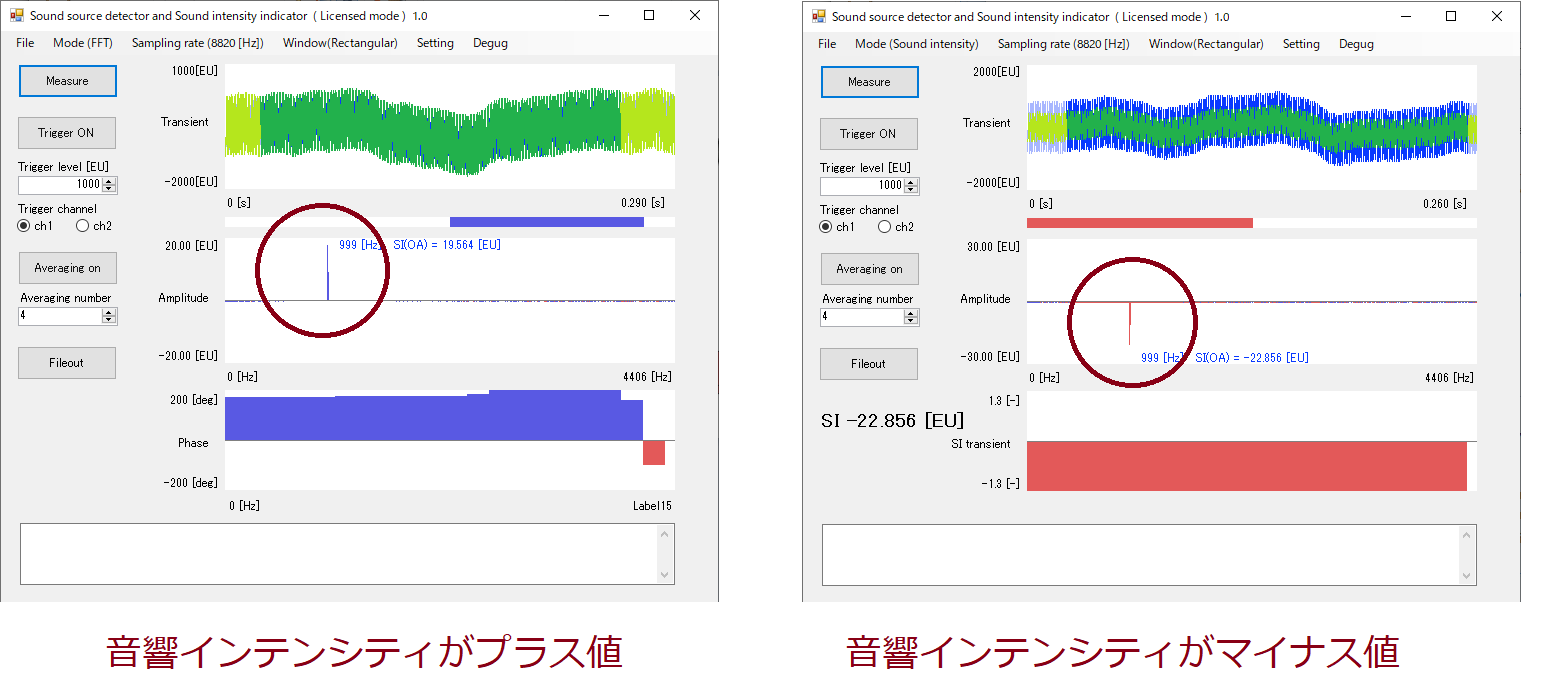


図7-2-3　音響インテンシティ測定結果

2つの測定の違いは音響インテンシティの符号です。音響インテンシティがプラス値になるマイクの方向を覚えておき，図7-2-4に示すようにマジックで矢印を書いておいてください。

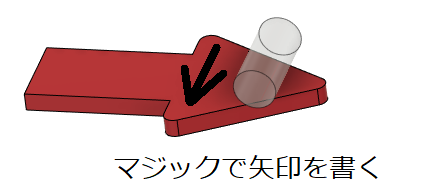


図7-2-4　音響インテンシティがプラスになる方向を記入

出荷時に書いておいてもいいのですが，ユーザの方にマイクの方向を意識していただくためにこのような記述としました。

## 7.3　音響インテンシティの測定

最初に，5項で述べた手順でサンプリング周波数を決定し，6.2項で述べたトリガを設定し（必要な場合のみ），6.3項で述べた平均数を設定し（必要な場合のみ），6.5項で述べたようにウインドウ関数を選択し（必要な場合のみ），6.6項で述べたA特性の有無を選択して（必要な場合のみ）してください。

ここで述べる音響インテンシティ測定は，いきなり測定対象で実施すると多分失敗します。スピーカを用意するかノートパソコンの内蔵スピーカから，添付したwavデータ（sine\_1000\_Hz\_L.wav）を再生して，スピーカから300 [mm] 程度離れた測定点を数か所設定して，測定の練習をしてください。

音響インテンシティはベクトル量なので，X方向成分 ，Y方向成分 ，Z方向成分 の3成分があり，1か所の音響インテンシティの測定には3回の測定が必要です。図7-1-2にベクトルで表した音響インテンシティとマイクの位置を示しました。

図7-3-1に測定対象と測定点を示します。測定点は3次元空間のある面上に配置された点群となります。各測定点に番号をつけ座標を決めます。測定点の位置を定義にするために，空間内に糸などを張って測定点位置を明示する必要があります。この作業は少し手間がかかりますが，3次元空間内の位置を特定するためには必要な作業となります。

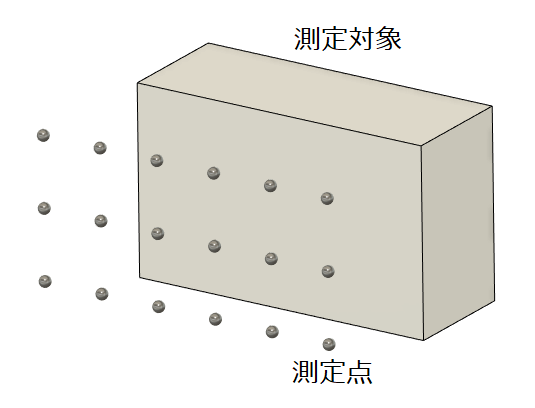


図7-3-1　測定対象と測定点

図7-3-2に示すように，1測定点あたり3回の測定をします。そして図7-3-3に示したソフトが表示するSI値（サウンドインテンシティ値）を記録します。このSI値は全周波数帯域に対するものです。オーバーオール値のようなものです。

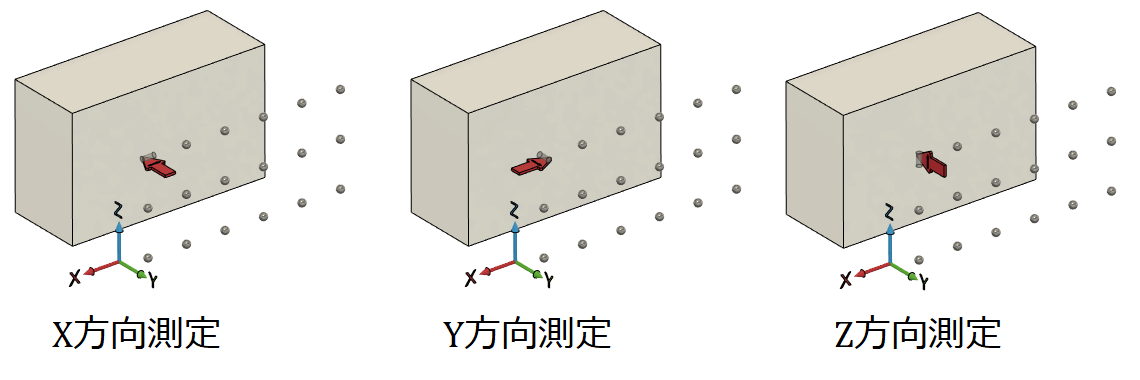


図7-3-2　音響インテンシティの測定

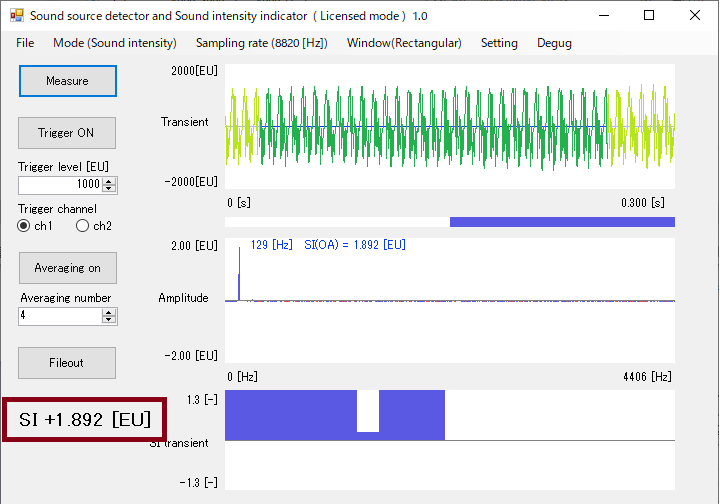


図7-3-3　SI値の表示

添付したマクロ付きExcelファイル（Soun\_intensity\_map.xlsm）のマクロプログラムを動かすための準備をします。Soun\_intensity\_map.xlsmを開き，メニュの「開発」クリックし，「マクロ」をクリックします（図7-3-4）。

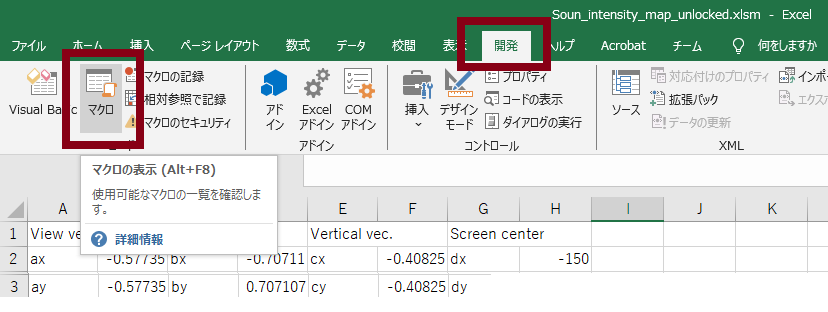


図7-3-4　マクロの起動

図7-3-5に示すように「編集」をクリックします。

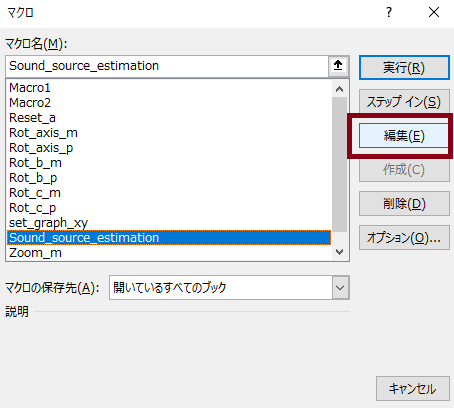


図7-3-5　マクロの編集

図7-3-6に示すようにマクロ編集ウインドウが開くので，メニュー「ツール」をクリックし，「参照設定（R）....」をクリックしします。

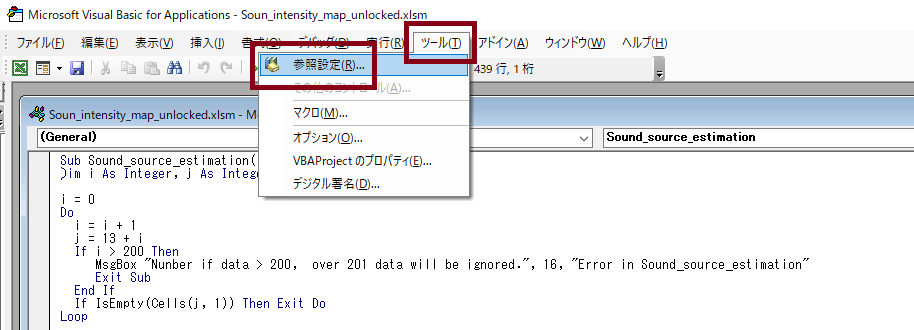


図7-3-6　マクロ編集ウインドウ

図7-3-7に示した参照設定ウインドウが開くので，「Solver」のチェックスイッチをOn（☑）にし，「OK」ボタンを押します。

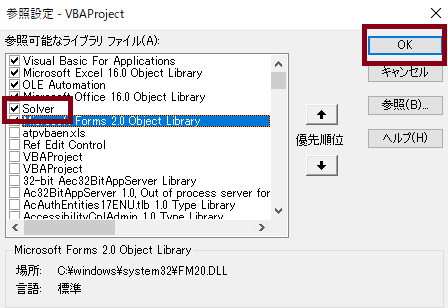


図7-3-7　参照設定ウインドウ

マクロ付きExcelファイル（Soun\_intensity\_map.xlsm）において，図7-3-8に示すように測定点の座標値とX，Y，Z方向のSI値に入力します。このExcelシートの着色したセルを書き換えないでください。すべての測定が終わったら，回転ボタンを押してみてください。ベクトル表示されたSI値が回転し，その方向を認識できると思います。最後に [Sound source] ボタンを押すと音源座標が表示されます。このとき4回，図7-3-9の画面が表示されますが，すべて [OK] ボタンを押してください。

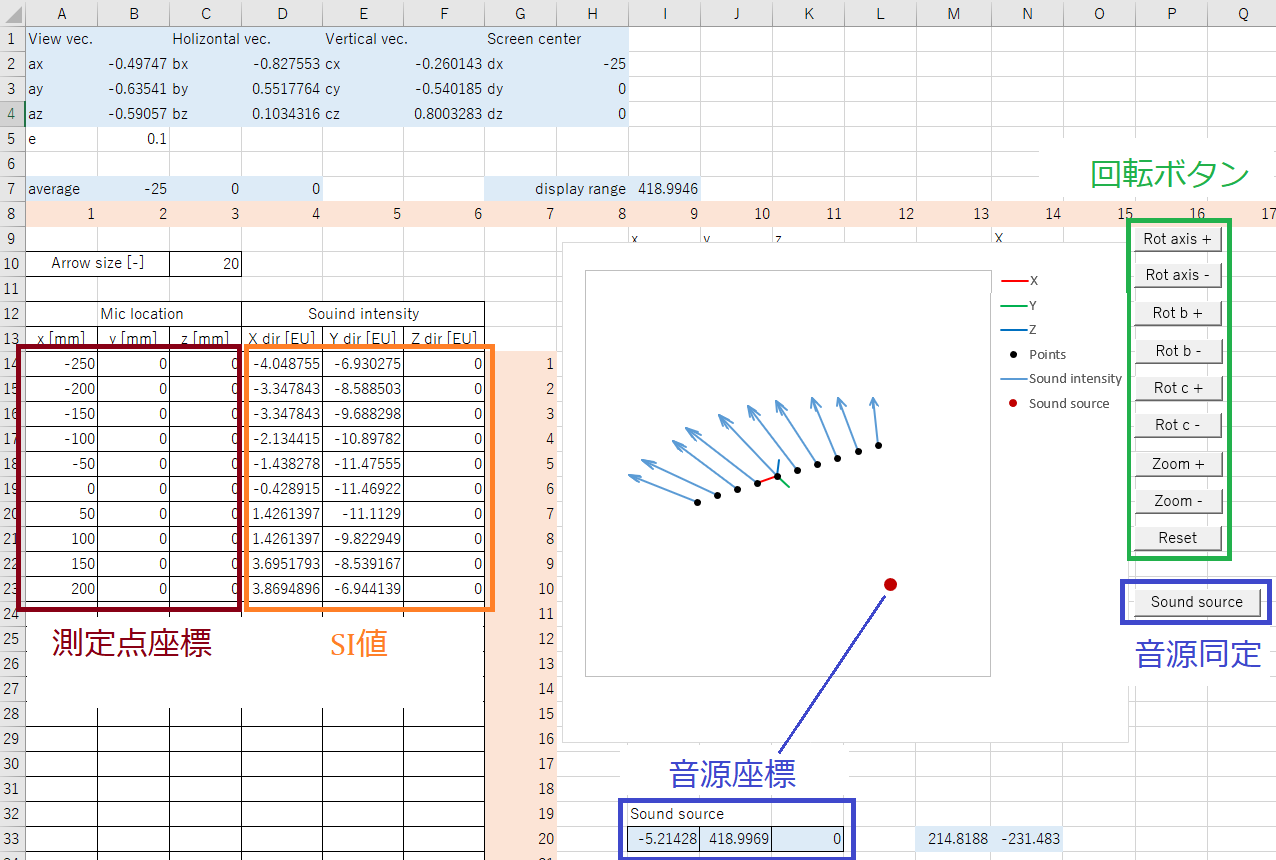


図7-3-8　SI値の記録と音源位置の同定

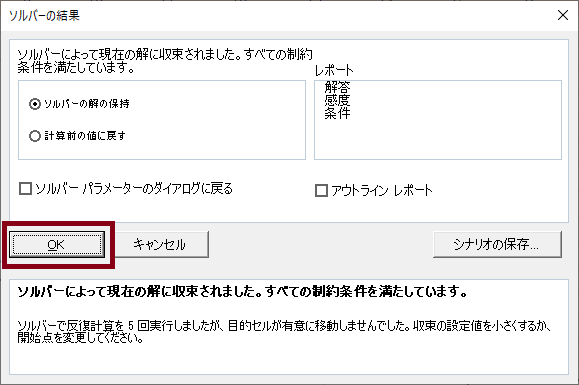


図7-3-9　Excelのソルパーダイアログ

## 7.4　特定帯域の音響インテンシティ測定

問題とする騒音の周波数に問題としない環境の音が混ざっているときは，問題とする騒音の周波数を調べておき，その周波数帯域だけの音響インテンシティを測定することができます。まず，白紙のExcelシートを開いておいてください。図7-4-1に音響インテンシティ測定データを示します。 [Stop] ボタンを押して測定を停止し， [Fileout] ボタンを押してください。そしてExcelに移動し，A1セルを選択してキーボードの [Ctrl] キーを押しながら [V] キーを押してください。

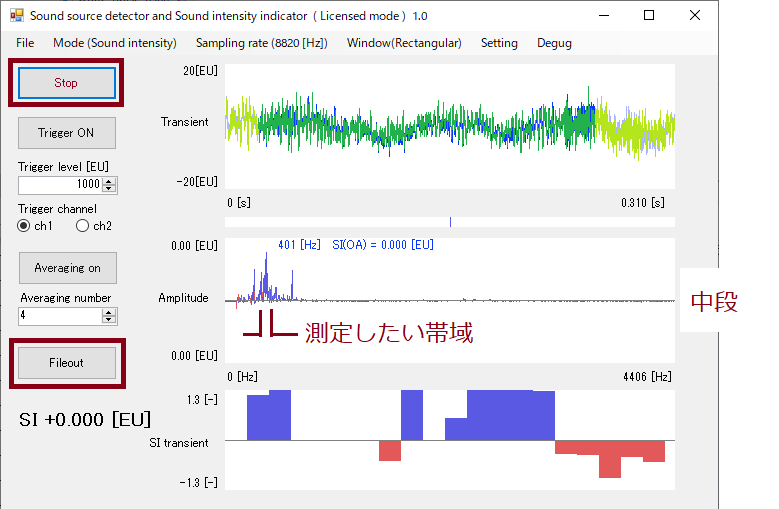


図7-4-1　音響インテンシティ測定データ

すると図7-4-2に示すように，中段のデータ（SI値）がExcelシートに貼り付けられます。図のD列の周波数とE列のSI値に注目します。例えば340～392 [Hz] の帯域の音響インテンシティだけを測定したい場合は，図のように数式を代入します。総和値（=SUM(E81:E93)）が特定周波数の音響インテンシティ値となります。この値を前項のSI値として入力します。

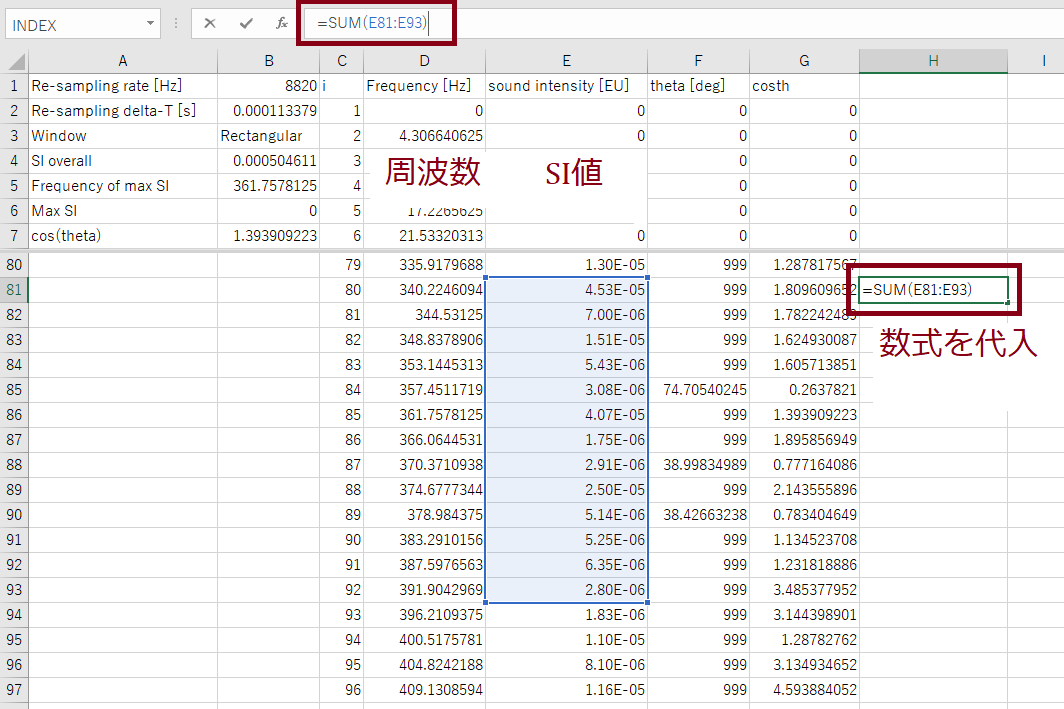


図7-4-2　測定データのExcelへの貼付けと特定帯域の音響インテンシティ値の計算方法

測定データのExcelへの貼付けについては後述します。

# 音源探査

## 8.1　音源探査方法

音源探査方法はチュートリアルの4.2項で述べたとおりですが，最初に5項で述べた手順でサンプリング周波数を決定し，6.2項で述べたトリガを設定し（必要な場合のみ），6.3項で述べた平均数を設定し（必要な場合のみ），6.5項で述べたようにウインドウ関数を選択し（必要な場合のみ），6.6項で述べたA特性の有無を選択して（必要な場合のみ）してください。

## 8.2　壁からの反射

壁からの反射が無視できない場合がよくあります。図8-2-1に音源の音響インテンシティと壁から反射した音の音響インテンシティを示します。音響インテンシティはベクトル量なので，観測される音響インテンシティはベクトル和となり，本測定器は間違った方向の音源を指し示すことになります。

対策としては，なるべく音源に近づけて測定すること，壁に吸音材を張り付けること，無響室で測定することが考えられます。

壁

音源

間違って観測された音源の方向

音源からの音響インテンシティ

反射音の音響インテンシティ

音響インテンシティのベクトル和

図8-2-1　音源の音響インテンシティと壁から反射した音の音響インテンシティ

# 伝達関数測定

## 9.1　伝達関数

マイクに注目すると図9-1-1に示したように と があります。本装置が表示する伝達関数 は下記値となります。

後述するテキストファイル出力機能は， を出力します。

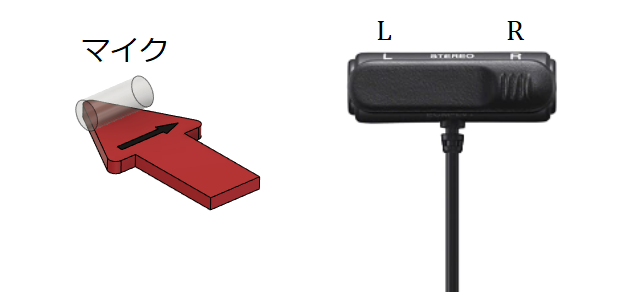


図9-1-1　本装置のマイク

## 9.2　測定方法

最初に，5項で述べた手順でサンプリング周波数を決定し，6.2項で述べたトリガを設定し（必要な場合のみ），6.3項で述べた平均数を設定し（必要な場合のみ），6.5項で述べたようにウインドウ関数を選択し（必要な場合のみ），6.6項で述べたA特性の有無を選択して（必要な場合のみ）してください。図9-2-1に示すように，メニューの「Mode」／「Transfer function」を選択し， [Measure] ボタンを押して測定を開始してください。

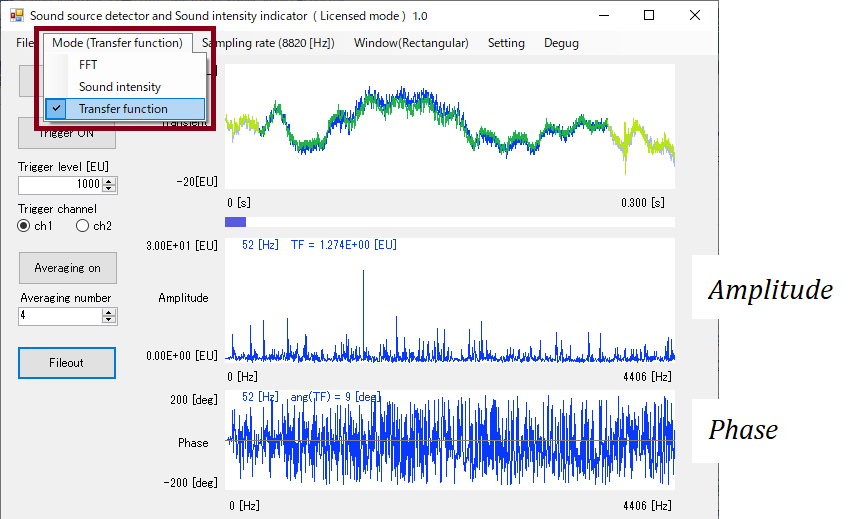


図9-2-1　伝達関数の測定

# 測定データをExcelに取り込む方法

最初にExcelを立ち上げ，白紙のExcelシートを用意してください。測定を開始し図10-1に示すように [Stop] ボタンを押して測定を停止します。そして，[Fileout] ボタンを押します。この時点で図の「振幅データ」と「位相データ」がテキストデータとしてWindowsのクリップボードにコピーされます。Excelに戻りA1セルを選択して， [Ctrl] キーを押しながら [V] キーを押して，クリップボードのデータをExcelに貼り付けます。図10-2にExcelに貼り付けられたテキストデータを示します。

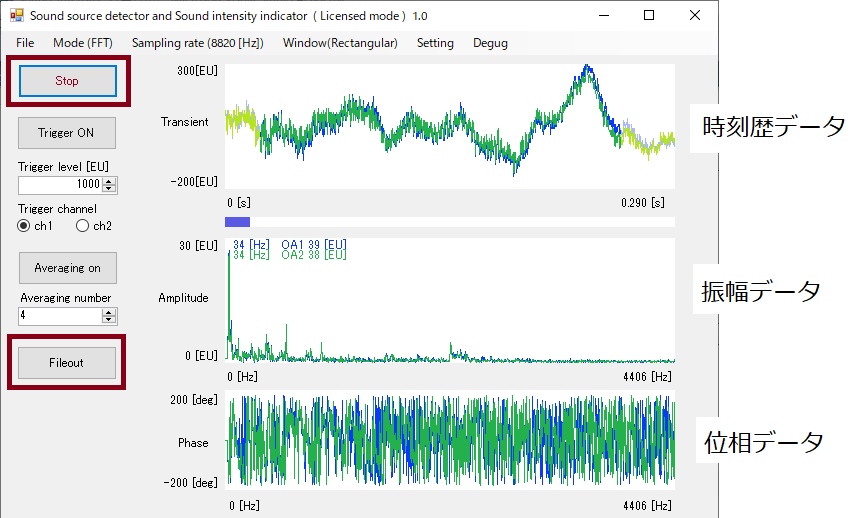


図10-1　測定データのテキスト出力



図10-2　テキストデータ

時刻歴データが必要なときは，図10-3に示すように，メニューの「File」／「Fileout resampled wave data」をクリックします。そしてExcelシートに貼り付けてください。AD変換器は常に44100 [Hz] でデータを収集していますが，このデータは指定したサンプリングレートに変換した時刻歴データとなります。

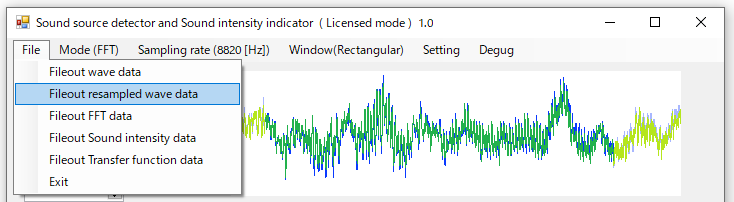


図10-3　時刻歴データのテキスト出力。

メニューの「File」／「Fileout wave data」をクリックすると，リサンプリングしない44100 [Hz] で収集したデータを出力します。Excelに貼り付けたときにデータ量が膨大となるので注意してください。

## 参考文献

1. 城戸健一，ディジタルフーリエ解析（Ⅰ）　―基礎編―，日本音響学会，（2014）
2. 城戸健一，ディジタルフーリエ解析（Ⅱ）　―上級編―，日本音響学会，（2014）
3. 小橋豊，基礎物理学選書4　音と音波，裳華房，(S62)

以上