



TN127

- 2700 Series
- APx585 family
- APx525 family
- APx515

# APx オーディオアナライザによる LEVELED ACOUSTIC OUTPUT

## マイクロフォン及び補聴器の評価方法

byline

### はじめに

マイクロフォンや補聴器などのアコースティック製品を評価する場合、一定の音圧レベルの信号をシミュレートして DUT 入力するのが一般的です。また周波数応答特性を測定する場合、幅広い周波数帯と同等の音圧レベルを持った音場を生成するのが望ましいとされます。これを "Leveled Acoustic Output" 又は "Leveling the Sound Field" と呼ばれることがあります。本テクニカルノートでは、Leveled Acoustic Output についてどのように APx シリーズ オーディオアナライザを使用するかについて解説します。また本測定を自動化するプロジェクトファイルについても解説します。

### 使用機材

- 試験設備 (Sound Test Chamber)
- APx500 シリーズオーディオアナライザ(v3.4 以上)
- 測定用マイク及び電源
- ラウドスピーカー (測定対象周波数より広いレンジでフラットな周波数特性のもの)
- パワーアンプ
- 接続ケーブル類
- サウンドレベル キャリブレーション (推奨)

テストセットアップは図 1 をご参照下さい。

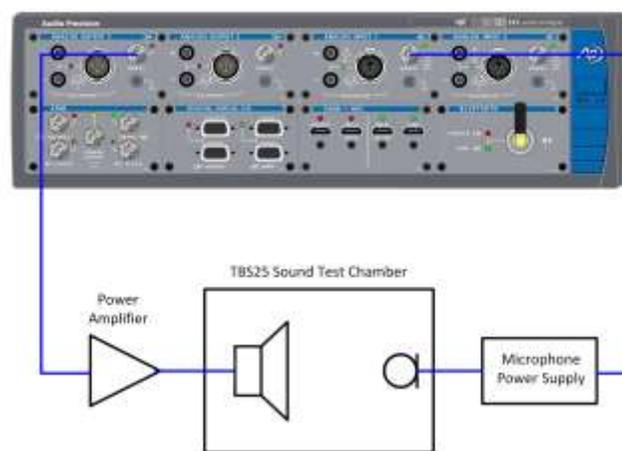


図 1 テストセットアップ

### 試験設備 (Sound Test Chamber)

試験設備には主に (1) 測定環境におけるノイズの遮音性 (2) 反響音の抑制、除去のための吸収性が求められます。理想的には無響室で測定を行うのが望ましいでしょう。無響室を利用できない場合、時間選択性解析を用いて反響音の影響を除去することができますが、有効な周波数レンジにも影響します。本テクニカルノートでは、補聴器などの測定に用いられる [Interacoustics 社製 TBS25](#) を使用します。小型の暗箱で 45~55dB 遮音性と 500Hz 以上の無響特性があります。

### ラウドスピーカー

ラウドスピーカーは歪が少なく、測定用マイクに対して十分な音圧レベルを出力できるものを使用します。また測定対象周波数よりも広いレンジでフラットな周波数特性のものを準備して下さい。TBS25 には補聴器の測定に適したラウドスピーカーが内蔵されており、周波数特性

はイコライザ無しで 50Hz～8kHz で数 dB 以内のフラットな周波数特性を持ちます。

## パワーアンプ

アンプは、必要な音圧レベルでスピーカーを駆動するのに十分な出力を持っている、大きな歪みのないものを使用します。一般的に、アンプはラウドスピーカーよりも少ない歪みになりますが、スピーカーの定格インピーダンスで出力と歪みの確認を行って下さい。また DUT の測定対象となる周波数レンジをカバーするものを準備して下さい。

スピーカーのインピーダンスに対して定格出力が大きすぎるアンプは使用しないことを推奨します。例えば TBS25 内蔵スピーカーの定格インピーダンスは 8Ω、出力音圧レベルは 1W/110dB SPL (test point)、標準 THD は 0.3%@100dB SPL、最大入力 は 4.5W (continuous)、40W (short-term) です。Stewart 社製 PA-50B はラウドスピーカーの測定でよく使用されるアンプで、本スピーカーとの測定に相当といえます。THD+N は 8Ω で定格 25W のとき 0.1%未満のため、本スピーカーを駆動する際 (1～2W 未満) の歪みがスピーカーよりも低くなります。また定格 25W 出力のときでも、想定外のバーストなどによりスピーカーを破損しないように注意して下さい。

## 測定手順

1. [input signal path]の設定。
2. 測定用マイクのキャリブレーション
3. [output signal path]の設定
4. [generator] の出力レベル調整
5. スピーカーの周波数応答特性の測定
6. 測定した周波数応答特性の逆特性を Acoustic Response 測定の出力 EQ に設定
7. (3)の繰り返し

APx オーディオアナライザとの接続ができれば、電源をいれ APx500 ソフトウェアを起動します。

## APx 入力設定

[Signal Path Setup]の[Input Configuration]の設定をします (図 2)。マイクの電源出力に合わせて、[Connector]は [Analog Unbalanced] (通常マイク測定用) もしくは

[Analog Balanced] を選択し、[Channels] は [1]、[Bandwidth]は[22 kHz]、[Acoustic]にチェックを入れます。

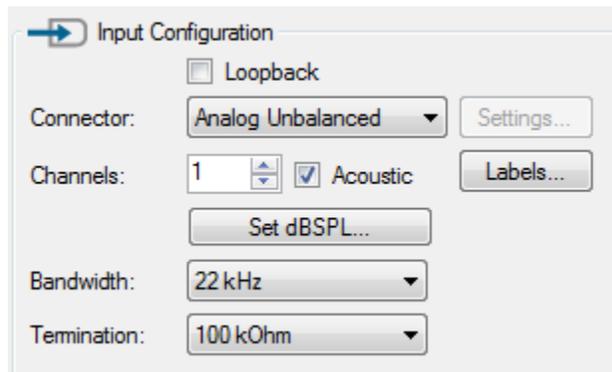


図 1.[INPUT] 設定

Acoustic Input モードでは以下ようになります

1. 入力レベルの単位が Vrms から dB SPL または Pa に変更されます
2. チェックボックスの下に Mic Cal/dB SPL ボタンが表示されます。

## 測定用マイクのキャリブレーション

[Set dB SPL]ボタンをクリックすると、[Microphone Calibration] ウィンドウが開きます。ここでは測定用マイクの感度を設定できます。サウンドレベルキャリブレータを使用することでマイク、ケーブルのチェックが同時に可能となります。



図 2. MICROPHONE CALIBRATION ウィンドウ

サウンドレベルキャリブレータで設定している出力レベルと [Calibrator] の下にある [Level] を同じ値に設定します (通常 114 もしくは 94 dB SPL)。キャリブレータにマイク挿入して、キャリブレータのスイッチを入れます。

Monitors 画面で信号が入力されていることを確認できます (図 3)。レベルが安定したら、[Calibrate] ボタンをクリックします。

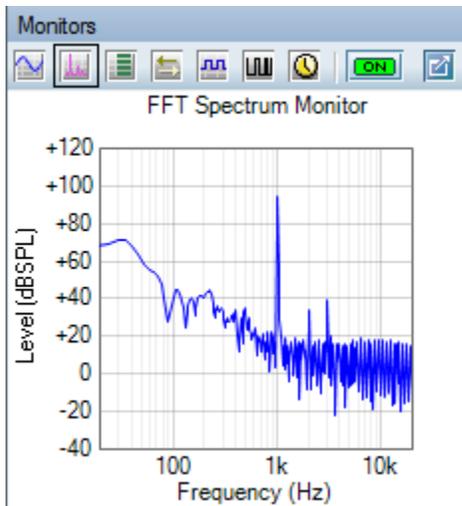


図 3. FFT モニタ画面

[Microphone Calibration]ウィンドウでは使用する周波数（通常 1 kHz もしくは 250 Hz）や、マイクの感度（通常 50 もしくは 12.5 mV/Pa）、精度の設定も可能です。これらの項目を入力すると、測定された感度や周波数が基準外となったとき赤色で表示されます。マイクのシリアルナンバーも記載しておくことができ、これらの情報はプロジェクトファイルに保存されます。

サウンドレベルキャリブレータを使用しない場合、マイクの感度を入力します。マイクのスペックシートに記載された数値を[Sensitivity]に入力して下さい。

キャリブレーションが完了したら、計測箇所にマイクを設置します。

## APx 出力設定

[Signal Path Setup]の Output Configuration の設定をします（図 5）。アンプの入力形式に合わせて [Connector]は [Analog Unbalanced]もしくは [Analog Balanced] を選択し、[Channels] は [1]、[Acoustic]にチェックを入れます。

Acoustic Output モードでは以下のようになります。

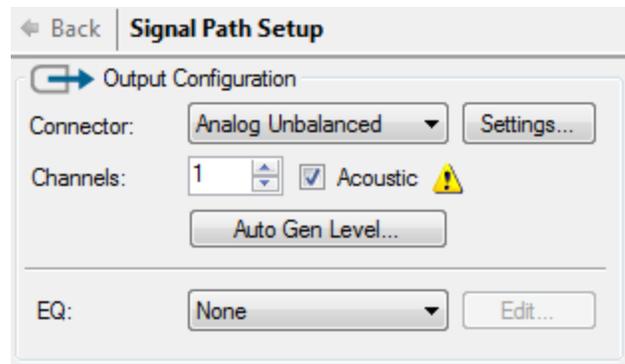


図 4. SIGNAL PATH SETUP - OUTPUT 設定

1. 黄色の Warning マークがチェックボックスの右側に表示されます。これは出力のキャリブレーションが完了していないことを示しています。
2. [Measurements]の[Generator]出力の単位が Vrms から dB SPL に変更されます
3. [Auto Gen Level]ボタンがチェックボックスの下に表示されます。

## Generator の出力レベル調整

[Auto Gen Level]ボタンをクリックすると[Set Acoustic Output Level]ウィンドウが表示され、Acoustic 出力の設定を行うことができます（図 5）。dB SPL 出力の Generator のキャリブレーションを行うためのパラメータを設定します。パワーアンプのゲインやスピーカーの感度を構成する要素となります。

[Maximum Level] にはパワーアンプに入力したい最大電圧を入力します。例えばアンプのゲインが 20dB(10x)でスピーカーへの出力を 1.0Vrms に抑えたい場合、[Maximum Level] は[100mVrms] になります。

[Target Level] には調整したい出力レベルを入力します。測定時のレベルに近いレンジを入力して下さい。

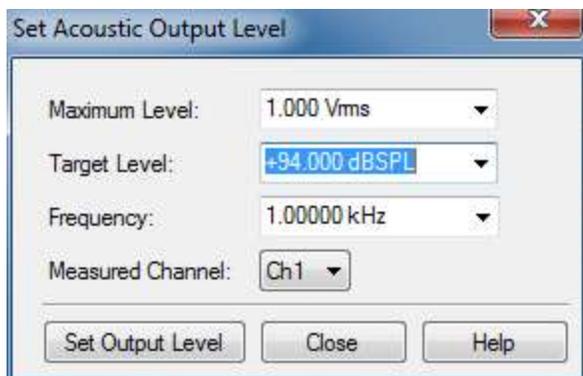


図 5. SET ACOUSTIC OUTPUT LEVEL ウィンドウ

[Frequency] は調整で使用するサイン波の周波数を入力します

全ての項目を入力したら、[Set Output Level]ボタンをクリックして調整を開始します。The system will then hunt for the correct generator voltage needed to “calibrate” the output in dBSPL.

調整が正常に完了すると、Generator の出力レベルは調整時の周波数で dBSPL でキャリブレーションされます。その他の周波数で dBSPL でキャリブレーションするには、スピーカーの周波数特性を補完するためにシステムを調整する必要があります。

## 周波数応答特性(Frequency Response)の測定

APx500 シリーズオーディオアナライザで使用可能な周波数応答特性の測定項目は以下の通りです

- Acoustic Response
- Loudspeaker Production Test
- Frequency Response
- Continuous Sweep
- Stepped Frequency Sweep
- Bandpass Frequency Sweep
- Multitone Analyzer

無響室や自由音場では、これら全ての測定が可能です。またその場合、周波数応答特性の測定に最も適した環境と言えます。

反響音のある室内では、Acoustic Response（もしくは Loudspeaker Production Test）が可能です。

ここでは例として、TBS25 で Frequency Response 測定を行います。APx の[Signal Path] で本項目が表示されていない場合は追加します。Generator の出力を必要な音圧レベルに設定し、Start と Stop の周波数を入力します（図 6）。ここでは出力を 94 dBSPL、Start 周波数 200 Hz、Stop 周波数 10 kHz にそれぞれ設定しています。Sweep はデフォルト 350 ms ですが必要に応じて変更して下さい。

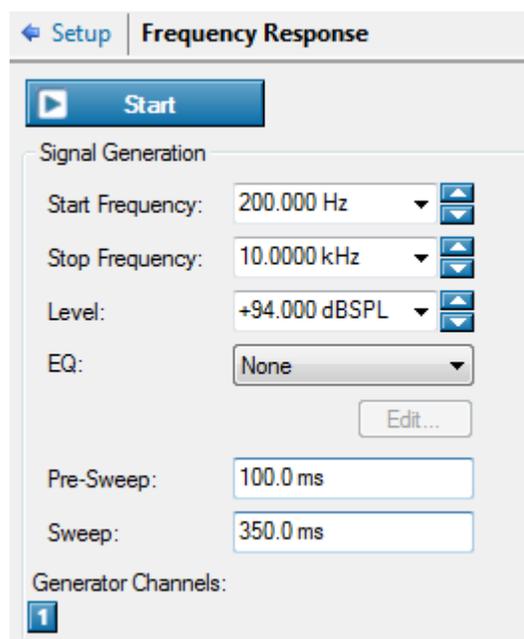


図 6. FREQUENCY RESPONSE 測定の GENERATOR 設定

設定が完了したら、[Start]ボタンをクリックし測定を開始します。測定が完了すると結果がグラフに表示されます。[Append Graph Data]にチェックを入れて測定を行うと測定結果が重ねてグラフに表示され、再現性を確認することができます（図 8）。図 8 は TBS25 で 200Hz～10kHz を 94dBSPL で 5 回測定した結果です。

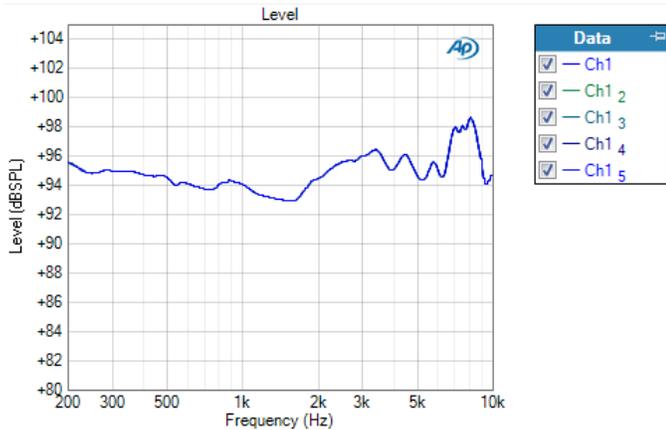


図 7. TBS25 の FREQUENCY RESPONSE (EQなし)

満足する結果が得られたら、[Relative Level]の結果を CSV または Excel ファイルにエクスポートします。この曲線を逆相したものを次項の Generator の EQ に使用します。グラフ下のツールバーにある[Export]ボタンをクリックすると[Export Graph Data]ウィンドウが開きます (図 8)。

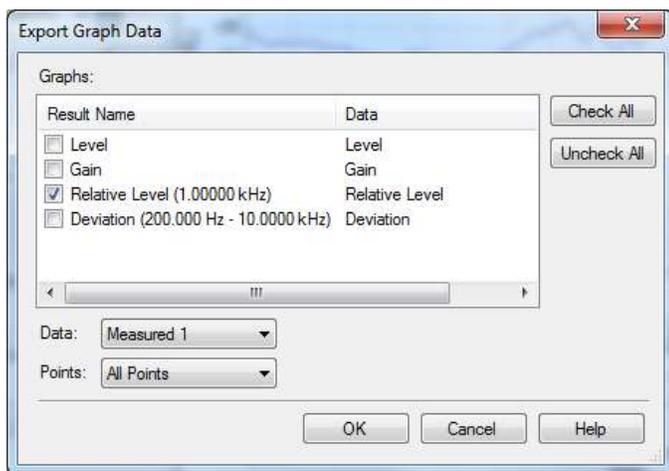


図 8. EXPORT GRAPH DATA ウィンドウ

ここでは、[Relative Level]のみ選択されていることを確認し、出力したい結果を[Data]で選択して下さい。[Points]を[All Points]にすると最適な結果が得られます。[OK]ボタンをクリックして出力するファイル名を入力して下さい。

## Signal Path の EQ 設定

Signal path の EQ 設定は Signal Path 設定画面から [Output Configuration]の[EQ control]をクリックし (図 4) 、

[Browse for file...]を選択します。前項でエクスポートしたファイルを選択すると、[Edit EQ Table]に曲線が表示されます (図 9)

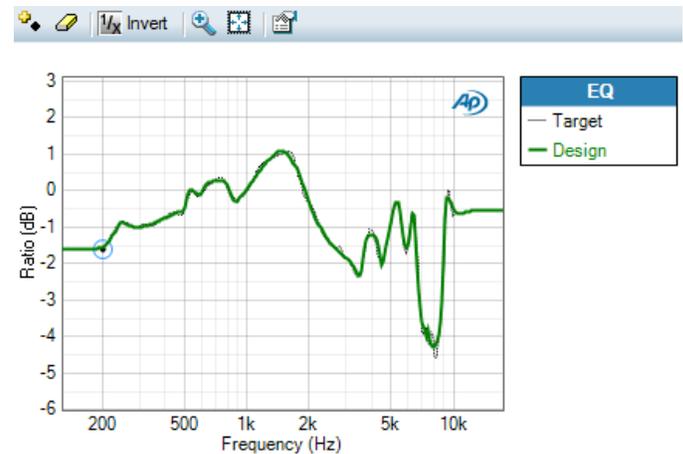


図 9. EDIT EQ TABLE ウィンドウ

測定された Relative Response を[EQ Table]にインポートすることによって、最適なデジタルフィルタを設定します。画面上部の[Invert]ボタンをクリックすると逆特性の曲線が表示されます。[OK]ボタンをクリックすると EQ フィルタの設定が反映され、[EQ control]に選択したファイル名が表示されます。

## 調整手順の繰り返し

EQ は EQ 曲線の最大レベルに合わせて設定されるため、任意の音圧レベルまで繰り返し調整する必要があります。[Auto Gen Level]ボタンをクリックし、[Set Acoustic Output Level]ウィンドウから[Set Output Level]をクリックすると調整手順を繰り返し行うことができます。前回までの設定を変更する必要はありません。

## Leveled Acoustic Output

ここまでの手順で、出力がキャリブレーションされ"Acoustic output"の準備ができました。サイン波を出力し、周波数を変更しながらレベルを測定してこれを確認できます。図 10 は 94dB SPL での TBS25 の相対レスポンスを示しており、 $\pm 0.5$  dB 以内での応答特性はフラットになっています。

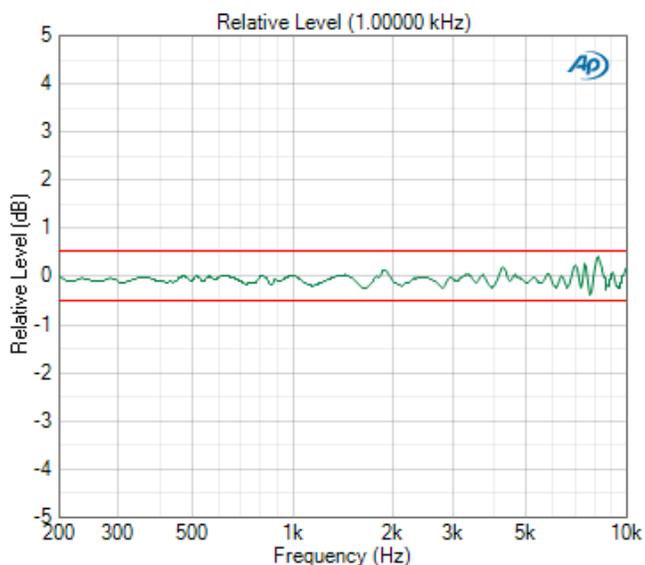


図 10. TBS25 の FREQUENCY RESPONSE (EQ あり)

Leveled Acoustic Output 用に Signal Path の設定が完了し、Level, Gain, THD, Frequency, Level Sweeps 等の測定が可能になりました。

尚、この調整手順：Leveling process は、リファレンスマイクが設置された 1 箇所のみ適用できます。DUT がマイクロフォンもしくは補聴器の場合、DUT の代わりにリファレンスマイクで調整を行い、注意して DUT と置換えて下さい。

## 補聴器の測定

ここまでの手順で音圧レベルは dB SPL でキャリブレーションされており、補聴器の測定を行うことができます。

## マイクロフォン

測定対象のマイクロフォンに応じて、アナログ/デジタルの入力を選択します。

### アナログマイクロフォン

アナログマイクロフォンの場合、通常 Vrms か dBV で測定を行います。[Signal Path setup] ⇒ [Input Configuration] ⇒ [Acoustic input] のチェックを外すと (図 1)、音圧レベル (SPL) から電圧 (Voltage) の測定に切り替わります。もしくは、新たに Signal Path を作成し、次項の設定を行うことで測定が可能です。

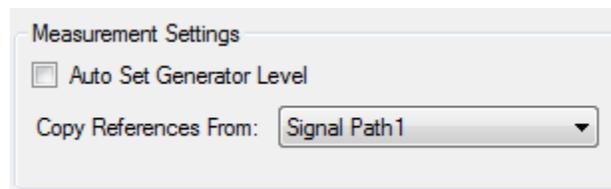
## デジタルマイクロフォン

PDM や AES 等のデジタルマイクロフォンの場合、[Signal Path] ⇒ [Input Configuration] ⇒ [Connector] の設定を DUT に合わせて変更すると (図 1)、dBFS や FS 等のデジタル測定の単位に切り替わります。

## 新規 Signal Path の作成

Acoustic Output 用にキャリブレーションされた Signal Path を新たに作成する場合、以下 2 通りの手順から Leveled Acoustic Output 用の Reference をコピーして下さい。

1. Signal Path をコピー  
[Sequencer] 内の [Signal Path] を右クリックし、[Copy] を選択、再度右クリックし [Paste] を選択します。オリジナルの Signal Path のコピーが作成されます。
2. 新規 Signal Path を作成  
Signal Path を新規作成し、[Reference Levels measurement] から Sequence step を使用しオリジナルの Signal Path から Reference をコピーします (11)。但し Sequence step は Sequencer から測定が行われた場合のみ実行可能です。



11. REFERENCES SEQUENCE STEP のコピー

## 測定の自動化

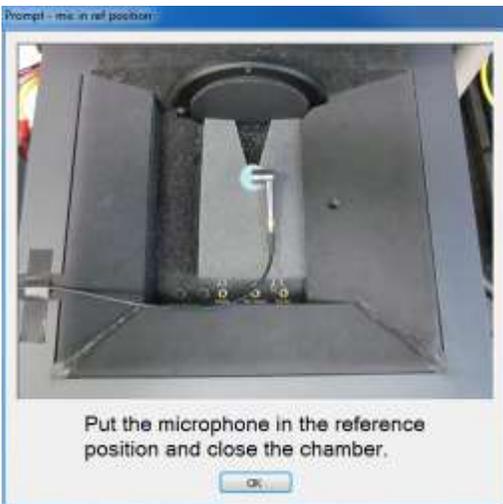
APx の Sequencer で、測定を自動化することができます。

“Leveled Acoustic Output” という名前のプロジェクトファイルから以下の手順が自動で実施されます。

1. マイクロフォンのキャリブレーション手順の表示 (12)
2. マイクロフォンの設置方法の表示 (13)
3. 周波数応答特性の測定、Relative Level Response のエクスポート及び First signal path から Second signal path へのインポート (Reference 含む)
4. Generator の dB SPL レベルの調整

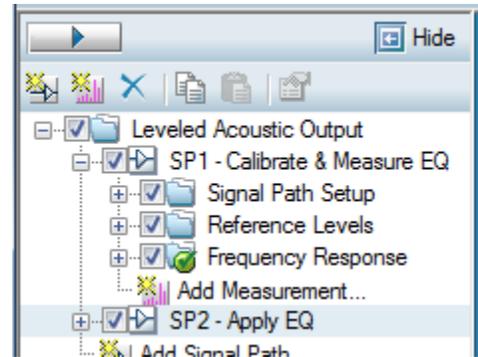


12. マイクロフォン キャリブレーション手順



13. マイクロフォンの設置方法<sup>4</sup>

測定の自動化を行うためには2つの signal path が必要になります (14)。1つはマイクロフォンのキャリブレーション及びEQ測定用、もう1つは測定したEQのインポート用です。



14. シーケンスの自動化

プロジェクトファイルは以下のシーケンスを利用します

- dB SPL レベルの設定
- Reference Level の generator の調整
- 周波数応答特性のエクスポート
- EQ カーブのインポート
- Signal Path のリファレンスのコピー

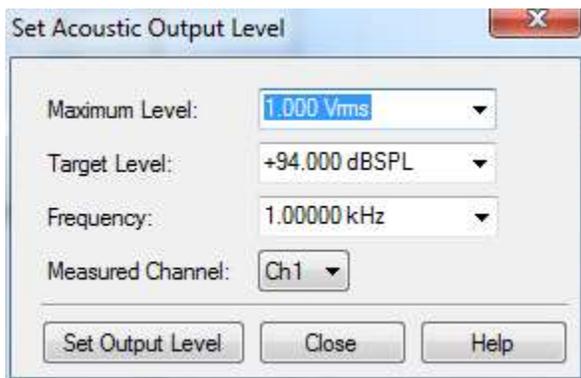
尚、使用に際し以下の変更を行います。

1. プロジェクトファイルはアナログバランス入出力に設定されます。その他の接続を使用する場合は、Signal Path 設定画面で適切な入出力が選択されていることを確認して下さい。
2. プロジェクトファイルは 114dB SPL のサウンドレベルキャリブレータを使用するよう設定されます。その他のキャリブレータを使用する場合はキャリブレータレベルを適切な値に変更して下さい。Signal Path Setup もしくは Reference Level Measurements の[Set dB SPL]ボタンで設定画面が表示されます。
3. Regulation step で APx から出力される Maximum Level (電圧) の設定画面が表示されます (15)。アンプのゲインに応じて値を変更して下さい。例として、[Maximum Level]を 1.0Vrms とし、アンプのゲインが 20dB であった場合、調整におけるアンプ出力は 10Vrms 程度になります。Signal Path Setup もしくは Reference Level の[Auto Gen Level]ボタンで設定画面が表示されます。
4. 測定した周波数応答特性のファイルの Path の名称を変更します。Signal Path の[Frequency Response measurement]を右クリックし、[Edit Prompt and

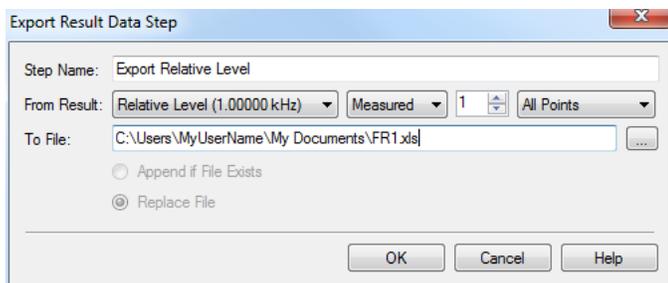
注<sup>4</sup> : 13 のマイクロフォンの向き (ソースに対し 90° ) は、音圧音場型マイクロフォンの場合に有効です

Properties]を選択します。[Export Relative Level]をダブルクリックし、[To File]の右側の[...]ボタンから xls ファイルを選択します（16）Relative Level response が選択したファイルにエクスポートされます。

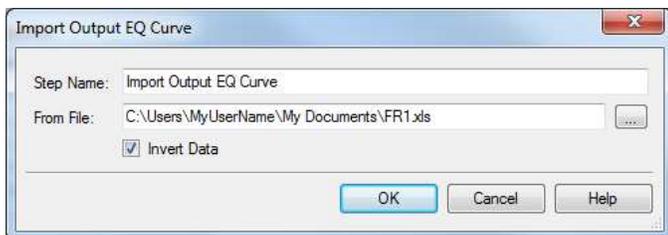
- EQ 曲線をインポートしたファイルの path の名称を変更します。Signal Path の[Signal Path Setup]を右クリックし、[Edit Prompt and Properties]を選択します。[Import Output EQ Curve]設定画面から[From File]もしくは右側の[...]ボタンからエクスポートするファイルを設定します（17）。



15. ACOUSTIC OUTPUT LEVEL 設定画面



16. EXPORT RELATIVE LEVEL SEQUENCE STEP 設定画面



17. IMPORT EQ CURVE 設定画面

これらの変更が完了すると、プロジェクトファイルが使用できる状態になります。[Start Sequence]ボタンをクリックしてマイクロフォンのキャリブレーション Leveled acoustic Output を自動で実施できます。

## Signal Path EQ vs Measurement EQ

本テクニカルノートでは、Signal Path のイコライザとして Signal Path EQ 機能を使用しました。本機能は任意の EQ 曲線に最適な 30-pole デジタルフィルタ設計を行います。このフィルタは時間領域で適用されるため、同じ Signal Path 内のサイン波やノイズ、音声信号などの EQ に使用されます。

この代わりとして、サイン波をベースとした周波数スイープ（ステップ周波数スイープや周波数応答、連続スイープなど）では Generator EQ 機能を使用できます。多くの場合において、サイン波をベースとした測定 EQ は Signal Path EQ 機能よりも良好な Leveled Output を得ることができます（±0.1dB 以内など）。

しかしながら、EQ は各スイープに対して個々に適用されるものであり、レベルやゲイン、THD+N などの測定用に Generator 出力の EQ として使うことはできません。尚、Generator の周波数スイープの EQ 機能が ON の場合、Signal Path の EQ は測定を開始すると無効になります。