

ANC HEADPHONES: 挿入損失の測定

by Joe Begin

はじめに

アクティブノイズキャンセレーション(ANC)は、音楽ヘッドホンの定番の機能になり、航空及び軍事用の通信に使用されるヘッドホンの必須な機能とみなされています。今回のTechnoteでは、APx500オーディオアナライザを使って、ANCヘッドホンのノイズ低減効果を定量化する方法について説明致します。

挿入損失

音響学上、挿入損失は一般的には音源とレシーバー間の音響経路における減衰器の役割を担い、レシーバーの配置している場所におけるノイズレベルの低減として定義されます。ヘッドホンの場合、音源は周囲の環境音、イヤホンは減衰器になり、レシーバーはヘッドホンを装着した人の外耳道にあたります。ANCヘッドホンは2種類のノイズを低減することができます。

1. パッシブ(受動的)なノイズ低減:
ヘッドホンの素材によって音エネルギーの一部を物理的にブロックします。
2. アクティブ能動的なノイズ低減:
イヤホンの隙間から入ってくる外部ノイズをキャンセル致します。

上記のパッシブ減衰とアクティブ減衰の両方を測定することと致します。

標準規格

ANCヘッドホンのノイズ低減性能を評価する国際的な規格は現在ございません。しかしガイドラインとして、ISO 4869-3, Acoustics - Hearing protectors - Part3: 音響学-視覚保護具-パート3(音響テストフィクスチャを使用したイヤーマフタイプの保護装置の挿入損失測定)が広く使われています。この規格はANCヘッドホンと機能的に近いパッシブヒヤリングプロテクターと相関があります。

図1に示したAudio Precision社製AECM206のような機器を使った測定になります。

このフィクスチャはこのようなタスクに最適なソリューションです。頭部模型は大きくイヤシミュレーターマイクと外部との間に50dB以上のノイズ分離を施しています。



図1. AECM206 ヘッドホンテストフィクスチャ

ISO 4869-3 はヒヤリングプロテクターがない状態でマイクで測定した1/3オクターブバンドの音圧レベルと、ヒヤリングプロテクターがある状態での音圧レベルの間にアプリケーションの挿入損失を正確に測定する際に役に立ちます。

ISO 4869-3はランダム入射音場または拡散音場の音場の規定をする際利用されます。拡散音場では、音波は全方向に対して均等な確率で無作為に反射致します。また、長時間のRMSレベルは全ての場所で同じ状態となります。拡散音場は残響室で作成できます。例えば、図2は残響室の各コーナーにスピーカーを向けてランダムノイズを生成することで、拡散音場を作成する1例として示しております。

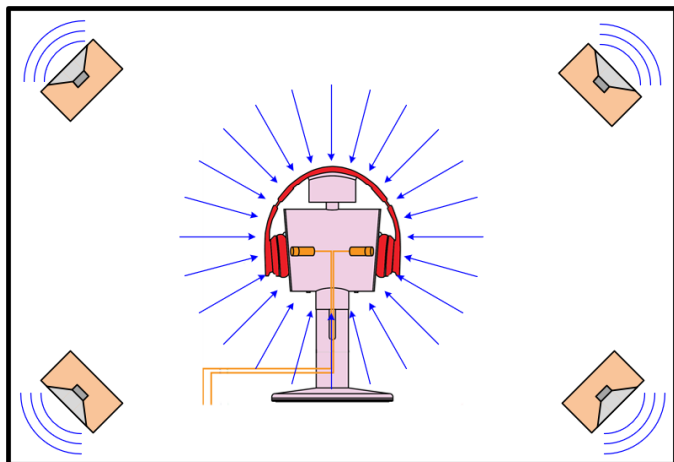


図2. 拡散音場の作成イメージ

ISO 4869-3にはランダム入射音場を使用する際の音場均一性に関する厳しい要件があります。

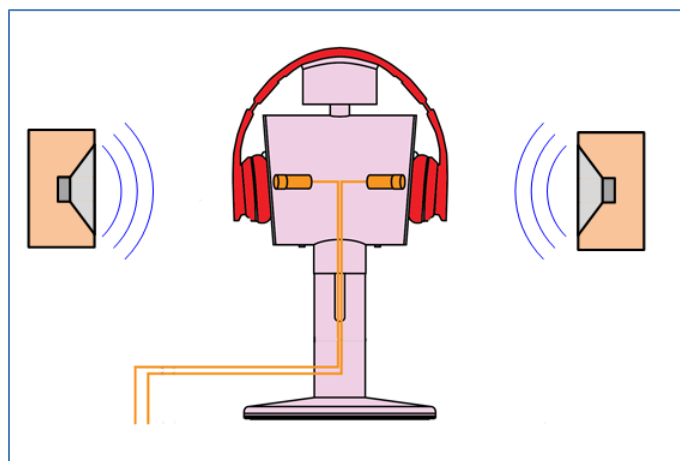


図3. 各ヘッドホンテストフィクスチャに対して対照的に配置したステレオスピーカの配置図

測定方法

図3では拡散音場を作成手間をかけたくない場合は、ヘッドホンテストフィクスチャの両側に配置したステレオスピーカを利用して、ANCヘッドホンの性能を合理的に測定しております。この構成で、APxプロジェクトファイルも作成しております。付属のプロジェクトファイルは、APx1701がなくても利用できます。手順は次の通りです。

音場の均一性を検証する為の追加測定が必要になる場合を除いて、ISO4869-3に準拠した拡散音場を使って同じ手順で行います。

テスト機器

次のテスト機器を使って、プロジェクトファイルを作成

- APx515オーディオアナライザ
- APx1701 トランスデューサーテストインターフェース
- AECM206 ヘッドホンテストフィクスチャ
- CAL250 音声レベル校正器

The APx1701トランスデューサーテストインターフェースはステレオスピーカを駆動するパワーアンプとヘッドホンテストフィクスチャのイヤースミュレーターマイク用の電源(CCP)を備えている為、このアプリケーションにとってアクセサリです。

また、TEDS(Transducer Electronic Data Sheet)をサポートしており、アナライザは各マイク内蔵のICにプログラムされた校正データを利用して、マイクを自動的に校正します。

測定概要

ANCの性能は、テスト信号として高レベルの広帯域ノイズ(ピンクノイズ)をスピーカからヘッドホンテストフィクスチャで測定します。測定は、APxのOctave Analysisを使用致します。この測定はAPx Octave Analysisプラグインからインストール致します。(AP.comから無料にてダウンロード可能です。)イヤースミュレーターの音圧レベル(SPL)スペクトルは次の条件で測定致します。

1. オープンイヤ(フィクスチャにヘッドホンなし)テスト信号なし(テストチャンバー内の暗騒音ノイズレベルを測定ため)
2. テスト信号でオープンイヤー
3. テスト信号でヘッドホン进行测试フィクスチャにセットした状態でANCスイッチはOFF
4. 3の状態ANCスイッチON

手順1,2で測定されたスペクトルの差から,測定の信号対雑音比の推定値があらわれます。(このケースでは,信号は増幅されたピンクノイズにあたります。)手順2,3,4で測定したスペクトルの違いから,ヘッドホンのパッシブ減衰とアクティブ減衰の推定値がそれぞれ得られます。

APプロジェクトファイル

APプロジェクトファイル(ファイル名:ANCHeadphones.approx)には2つのシーケンスがあり,一つは"Cal Ear Simulators"ともう一つは"ANC Measurement"です。シーケンスを実行するには,最初にNavigatorタイトルバーの真下にあるシーケンスコントローラからSequenceを選択し,次にシーケンスコントロールの下にある[実行]ボタンをクリックします。(図4)。

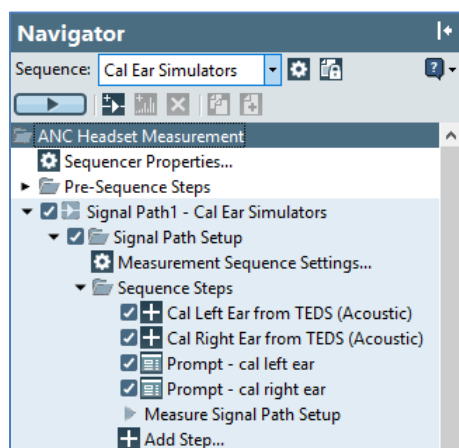


図4. APx Navigator内でのシーケンスセレクトとファーストシグナルパスの表示

Cal Ear Simulatorsシーケンスは,[Signal Path1-Cal Ear Simulators]というシグナルパス名でSignal Path Setupの測定を実行します。この測定は2つのシーケンスステップを呼び出し,最初にTEDSから左右の耳のシミュレーターの校正を行います。次に2つのプロンプトステップを呼び出します。サウンドレベルキャリブレーターで片方ずつシミュレーターの左右の耳を校正します。この場合,TEDSはイヤースミュレーターの校正に使用するので,サウンドレベルキャリブレーターを使用した校正は必要ありません。しかし,接続の整合性を検証し,イヤースミュレーターが正しく機能していることを追加で確認できる為キャリブレーターを使用するのは良い手段です。

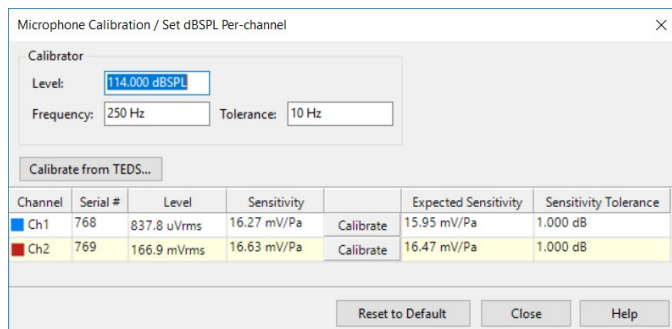


図5. シリアルナンバーと期待感度を示したマイク校正ダイアログのイメージ

マイクがTEDSから校正されると,Microphone Calibrationダイアログ(図5)にあるシリアルナンバーとExpected Sensitivityの項目に各マイクのデータが入力されます。結果として測定された感度が期待値と感度許容差(この場合は1dB)以上異なる場合は,キャリブレーションプロンプト(図6)のSensitivity項目は黒と緑の表示から赤になります。許容範囲外の感度であればシーケンスは失敗となります。したがってSensitivityフィールドが使用されていない場合は,クリアにする必要があります。

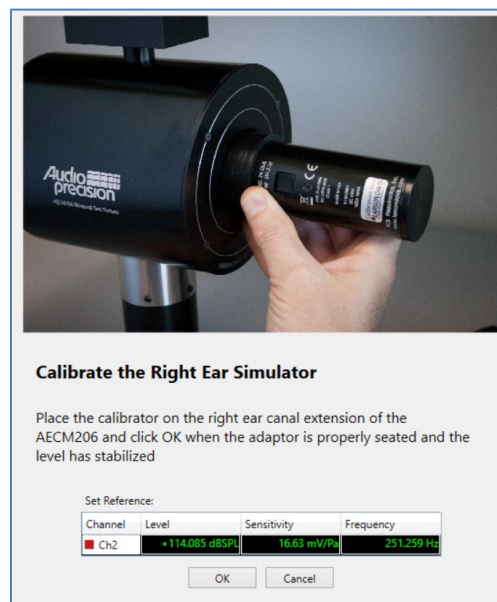


図6. APx sequence stepを使ったCalibration プロンプトの状態

プロジェクトファイル'ANC Measurement'という名前のシーケンスは,最初にデバイスIDプロンプトのプリシーケンスステップを呼び出し,次に[Signal Path2 ANC Measurements]という名前の信号パスを実行します.このプロンプトでユーザーが入力したデバイスIDはAP変数に格納され,シーケンスレポートに出力します

ReferenceをSignal Path1からSignal Path2にコピーする際に利用するSignal Path Setup Nodeの中に重要なコンフィグレーション設定情報があります.マイク感度等を含むReference情報は各Signal Path固有の情報になります.この設定にアクセスするには,[Measurement Sequence Settings]のラベルのついた歯車アイコンをクリックして同じ名前のダイアログを呼び出します. [Copy Reference from:]の名前の設定は,リファレンスをキャリブレーションシグナルパスから,このシグナルパスにコピーする際の特典する点には注意してください. (図7)また,この設定を有効にするには,Sequencerから測定を行わなければなりません.

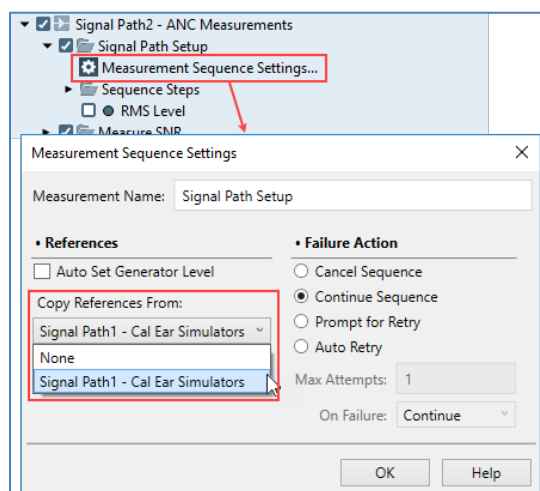


図7. キャリブレーション信号pathからリファレンスをコピーするためのシーケンス設定の画像

次に,ANC測定シーケンスのプロンプトステップ(図8)は適切な接続を行うようユーザーを誘導していきます. ANC測定signal pathにおけるSignal Path setupを終えた後の,最初の測定は“MeasureSNR”というオクターブ解析測定になります.このプロジェクトファイルには,ジェネレータレベルは4.0 Vrmsに設定しています. スピーカーの感度と位置,暗騒音のノイズレベル,アンプのゲイン(APx1701を使用していない場合)に応じて,テスト条件に即したジェネレータレベルを設定する必要があります.最終的にはANC機能をアクティブにして測定したSPLスペクトルが全ての周波数で周囲のノイズレベルを少なくとも, 10dBを上回るような値にジェネレータレベルを設定することです. つまりいくつかの実験が必要です.

▶ 4

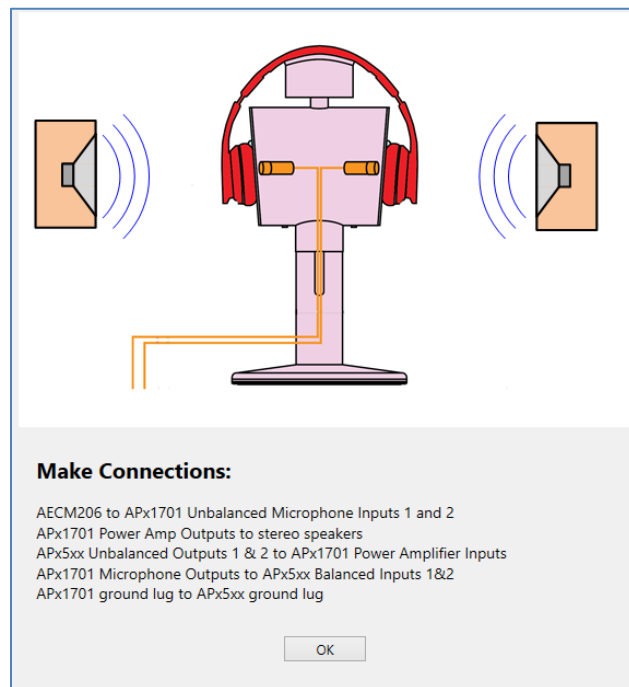


図8. 接続プロンプト

プロジェクトファイルの“Measure SNR” measurement測定では, ジェネレータレベルごとに2つのステップのネストを使用します. 1つは0Vrms (信号なし), もう1つは所定のジェネレータレベル(テストセットアップの場合は4Vrms)です. 測定が完了すると, データセット Measured1には暗騒音スペクトルが含まれ, Measured2にはテストシグナルの入ったオープンイヤー測定の結果が含まれます. (図9)

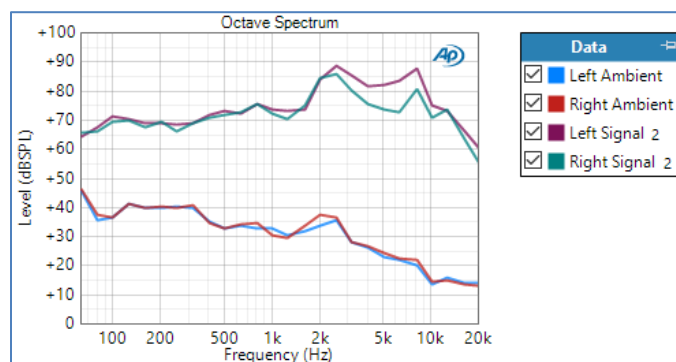


図9. テスト信号あり/なしで測定したオクターブスペクトル
この測定のSN比はテスト信号と周囲のノイズ信号の比 (図10)を計算する為に比較結果を使って定義しております.比較結果の表示はSN比に名前が変更されました.63Hzの1/3オクターブで測定して最低のSN比は約20dBですので注意願います.

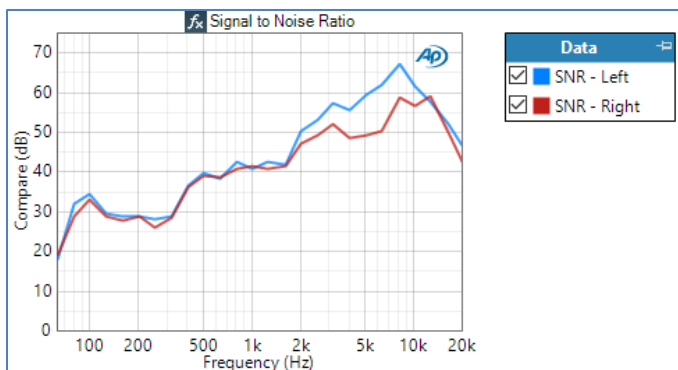


図10. 図9から得られたSN比, スペクトル比較測定結果

必要に応じてカスタマイズ測定も可能です。例えば、適切なスピーカーが利用可能な場合は、低周波数測定の制限を63Hz以下までにもすることも可能です。

ANC測定は“ANC Measurements (octave)”と名前を変えてオクターブ分析測定をされているケースもあります。図11にも記載の通り、この測定には一連のシーケンスステップがあり、ヘッドホンをつクスチャに着脱するか、ヘッドホンのANC機能(図12)をONにするように致します。追加の測定シーケンスステップはパッシブのみの減衰とパッシブ+アクティブ減衰のデータセットを取得するために使用されます。

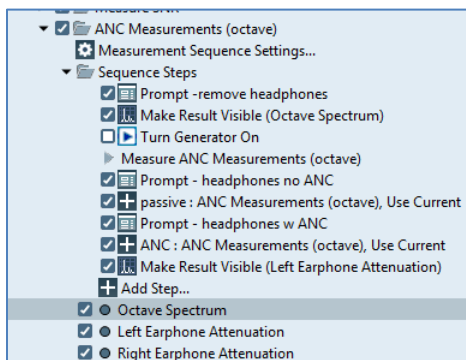


図11. ANC 測定におけるシーケンスステップ

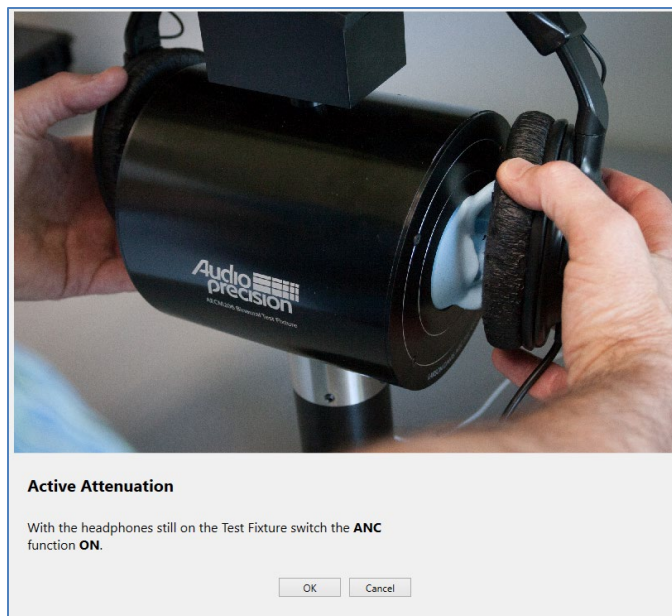


図12. ANC 測定のプロンプト

ANC測定が完了すると、図13のようにオクターブスペクトルの結果が3つのデータセットで表示されます。

- Measured1: オープンイヤー
- Measured2: パッシブ減衰
- Measured3: パッシブ+アクティブ減衰

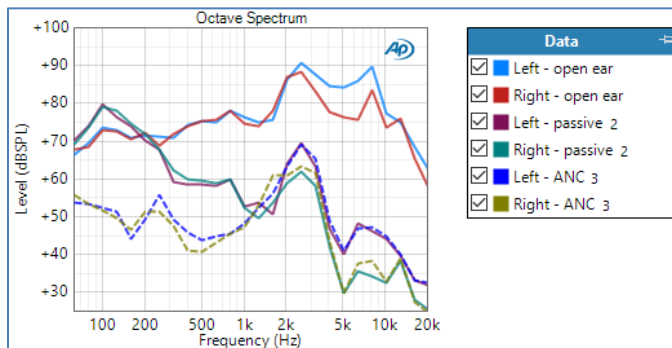


図13. ANC測定におけるSPL スペクトル測定

パッシブ減衰とパッシブ+アクティブ減衰を判別するには、比較結果を使って、3つの各データセットをオープンイヤーのデータセット(図14)を比べます。その結果、このグラフのオープンイヤーのトレースは0dBでフラットになります。

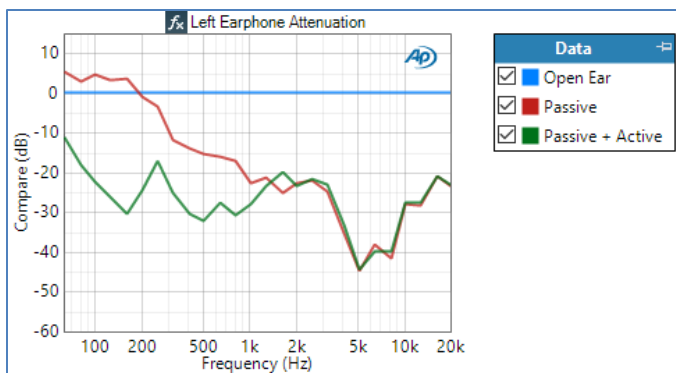


図14. オープンイヤーヘッドホンの左イヤホンのオープンイヤーのSPLスペクトル比

図14のパッシブ曲線はオープンイヤー曲線を200Hz未満の周波数で数dB超えていおりますので注意願います。これは、耳を覆うイヤホンカップが共鳴空洞を作り、低周波で耳に伝わるノイズを増加させております。または、貝殻の共鳴効果と呼ばれることもあります。カップまたはカップ状の手を耳の上に置くと、遠くの海の音に似た低温が発生します。比較の為に、インイヤー型イヤホンでの測定結果を図15に表示しております。インイヤー型イヤホンは空洞容積が小さい為、効果はそれほど顕著に表れず、それより高い周波数で発生することに注目願います。

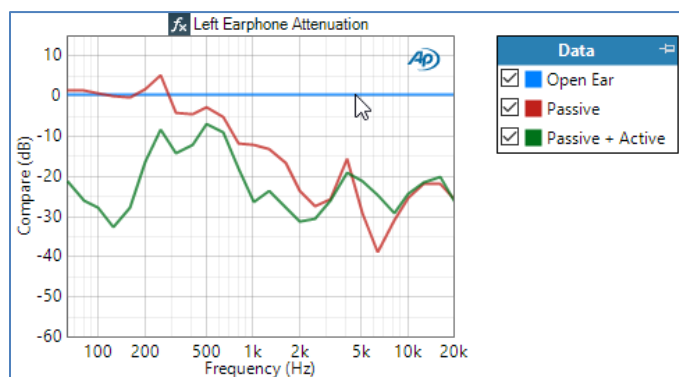


図15. インイヤー型イヤホンの左イヤホンのオープンイヤーのSPLスペクトル比

図14と図15はANCヘッドホンの標準的な性能を示しています。アクティブノイズキャンセレーションは約1.5-2.0kHzの低周波数で効果的ですが、それより高い周波数では効果が見えません。また、ヘッドホンのパッシブ及びパッシブ+アクティブのノイズ低減も示しています。挿入損失は基本的にこれらの逆特性にあたります。挿入損失を計算する比較結果もANC測定に追加されています。(図16)

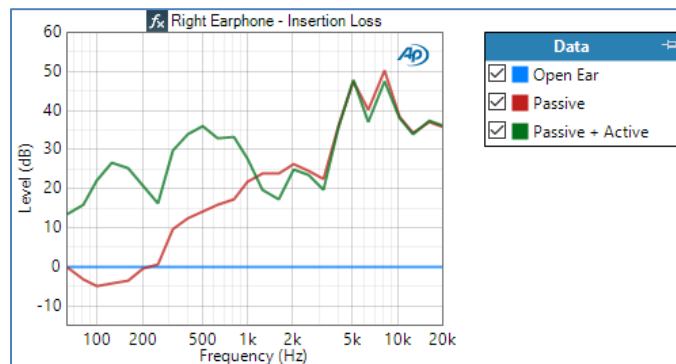


図16. 図13のオーバーイヤーヘッドホンの結果の右耳のイヤホン挿入損失

前述のように、テスト信号は十分に高いレベルを設定する必要があります。ANC機能をONにして測定したSPLスペクトルよりも少なくとも10dB以上は高い値である必要があります。測定値が周囲のノイズによって、影響を及ぼされるからです。これらの比の結果、SN比測定から暗騒音のスペクトルをエクスポートし、それをANC測定結果にインポートすることによって生成されます。(図17)このデータの場合、いくつかの周波数で10dBの基準に満たさないことに注目してください。つまり、これらのテストは10dBの基準を満たす設定で繰り返す必要があります。例えば、信号レベルを全体的に上げて、問題の周波数で測定EQを使用して信号レベルを上げたり、静かな環境でテストしたり、それらの組み合わせで実現することができます。

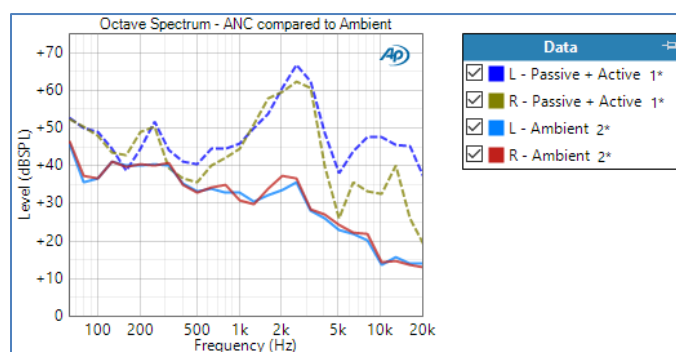


図17. 暗騒音スペクトラムとANC機能オン時のSPLスペクトラム測定の比較

APx1701以外でANCプロジェクトファイルを使用する場合

プロジェクトファイルはAPx1701トランスデューサーテストインターフェース以外の機器、つまり外部パワーアンプ(またはパワースピーカー)及び外部マイク電源での使用も簡単に対応できます。

最初のシグナルパスでは、TEDSからのマイクを校正するためのシーケンス手順のチェックを外し(オフ)にする必要があります。注意:この信号経路では、出力コネクタは(なし[External])に設定されます。したがって入力コネクタ設定がトランスデューサーインターフェースからアナログアンバランスまたはバランスに変更された場合、TEDSシーケンスからのキャリブレーション手順は表示されなくなります。これとは別にマイクロホンキャリブレーションダイアログ(図5)をチェックして、使用するテストフィクスチャ-マイクロホンのキャリブレータ-レベルと周波数設定がキャリブレータ-の値と一致し、Expected Sencitivityの項目が空白であるか適切な値が含まれていることを確認する必要があります。

シグナルパス2ではAPx1701のコネクションプロンプトシーケンスステップが表示されます。(図8)このプロンプトのテキストの説明は適宜編集する必要があります。またはチェックボックスをオフにしてステップを無効にすることもできます。