



USBヘッドセットのオーディオテスト

by Joe Begin

はじめに

このTechNoteでは,APx500オーディオアナライザのオープンループテスト機能を使って,USBヘッドセットの性能手帳を行う方法を説明します.今回ファイル名“USB Headset.approx”を提供致します.

注意: 今回のTechnoteやプロジェクトファイルは対数掃引正弦波(チャープ)を使って,ヘッドセットマイクとイヤホンの周波数応答の測定方法を具体的に説明致します.オープンループ測定技術はAPxでも様々なオーディオ品質要素(ノイズ, レベル, ゲイン, 高調波歪み, 相互変調歪み, チャンネル間位相, スピーチ品質等)の測定に利用できます. さらに,周波数応答を測定する方法にも利用できます. これには,従来のチャープ測定,マルチトーン分析,伝達関数測定等も含まれます.

クローズループとオープンループ測定

クローズループオーディオテストでは,オーディオアナライザのジェネレーターはクリーン基準信号を生成しそれをDUTに渡し基準信号と比較してDUT出力信号を分析します.信号が即座にDUTを通過できない場合,オープンループテストを行ういます.例えば,メディアプレーヤーのテストでは測定用のファイル(メディア)の作成が必要となり,DUTで再生した出力信号を分析できるように致します.またオーディオレコーダーの場合には,逆の考え方がなります.DUT出力信号はアナライザーでの分析の為,録音されたファイルを転送する必要があります.通常クローズループテストはオープンループテストより,使われるケースが多いです.USBヘッドセットをクローズループ構成で測定できる一方,不便さを感じることもあります.例えば,主としてVoIP電話等の通信用に利用致します.

VoIP電話では,DUTのヘッドセットマイクから信号がネットワークを介して通話相手のイヤピースやイヤホンに送信します.同様にDUTのイヤホンの信号は接続している発信者の電話のマイクロホンから発信され,ネットワークを介して送信します.この構成でヘッドセットをテストするには,VoIP電話の実装を参照する必要があります.ネットワークの複雑さと潜在的な信号劣化も考慮する必要があります.USBヘッドセットのテストには,オープンループ構成で行うのは適しています.イヤホン进行测试する為に,PCのアプリケーションソフトからリファレンス音源をDUTに再生します.ヘッドセットマイクロホンのテストの為に,PCは録音アプリケーションで記録した信号をアナライザソフトウェアで分析します.APxソフトウェアは,このようなオープンループテストを簡略化する機能を持ち合わせています.

USBヘッドセットオーディオパス

USBヘッドセットには2つのオーディオ経路があります.

1. 送信経路:ヘッドセットマイクからの音響信号がデジタル化され,信号処理を行う為,USB経由でPCに送信します.
2. 受信経路: PCのデジタルオーディオ信号はUSB経由でヘッドセットに送信され,アナログに変換後,イヤホントランスデューサーによって音響信号に変換されます.

どちらの経路にも音響信号が含まれるため,特殊な音響用アクセサリがを使う必要があります.

ヘッドセットマイクロホンテスト

まず複雑な方の送信経路(マイクロホンテスト)から説明致します.

アコースティックアクセサリ

ヘッドセットマイクロホンテストには以下のアコースティックアクセサリが必要です。

- スピーチの測定に不可欠な周波数範囲(100Hzから8kHz)において、適度にフラットなスピーカー (typically 100 Hz to 8 kHz).
- スピーカーを駆動するパワーアンプ (パワースピーカーを使用の場合は不要)
- スピーカー出力を校正する為の最適な電源を備えた測定マイク
- 測定マイクを校正する為のキャリブレーター

ヘッドセットマイクのテスト用のスピーカーは目的によって使い分けます。人が装着したときのヘッドセットマイクの性能を正確に特性を図るには、口の形をしたシミュレーターと頭と胴体のシミュレーター(HATS)を仕様する必要があります。(図1)HATSはマイクロホンを装着した環境の音場を正確に測定するために必要です。

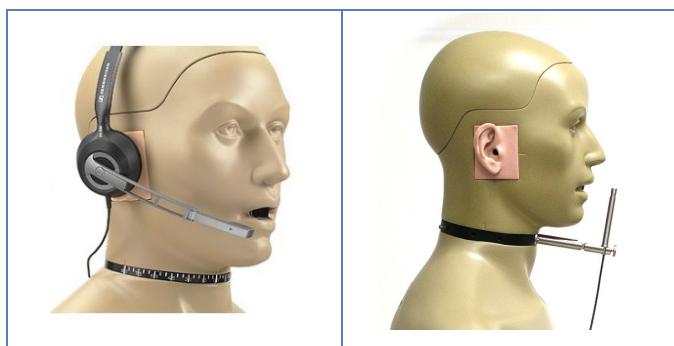


図 1. 左: マウスシミュレーターを搭載したHATSを装着したヘッドホンのイメージ
右: HATSのマウス測定ポイントにセットした測定マイクの図

テストの目的がヘッドマイクの感度を測定やその周波数応答を決める事であれば、単純なテスト構成で出来ます。図2はこのテックノートの中で測定する環境の写真です。これは補聴器測定用の小さな暗室になっており、ヘッドセットのイヤホンとマイクを設置し、ヘッドセットを分離できるような設計になっています。写真の通り、DUTマイクはリファレンスマイクとスピーカーの前の同じテストポイント（青い円）の位置に設置致します。

ヘッドセットマイクロホンテスト概要

高いレベルで以下の手順でDUTマイクロホンの周波数応答テストを行います。

- リファレンスマイクロホンを校正して、DUTマイクロホンをテストポイントに設置します。
- テストポイントにおけるスピーカーの音響出力を校正し、周波数応答がフラットになるように、クローズドループ測定から得られたEQ曲線を使って、スピーカーをフラット特性に致します。
- チャープ信号を使って、DUTマイクロホンからの信号をwav ファイルとして録音作成致します。
- APxソフトウェアのオープンループチャープ機能を使って、wavファイルを分析します。

手順に関しては、次のセクションで説明します。今回はアコースティックレスポンス測定を使います。1パスカルrmsである94dB SPLのテストレベルを選択します。RMSレベル応答はマイクロホンの感度に対するdBにおける周波数(FS/Pa)を表示致します。



図2.テスト暗室のヘッドセットマイクロホンとリファレンスマイクの設置図

スピーカーとEQをフラットに調整する方法は,Tech Note 127のLeveled Acoustic Outputの項で説明しております. Tech Note127で述べております通り,APxソフトウェアには2種類のEQがあります.Output EQはシグナルパスの全ての信号に利用でき,Measurement EQは正弦波ベースの測定(ステップ正弦波,チャープ,マルチトーン測定)に利用できます.図3は音響テスト暗室箱用にEQしたものと,EQなしの2種類の応答の比較を表しています.これらの結果から得られた測定結果の平坦度からの偏差はEQなしと比べ,Output EQとMeasurement EQはそれぞれ, ± 2.83 , $\pm 0.28, \pm 0.08$ dBです.

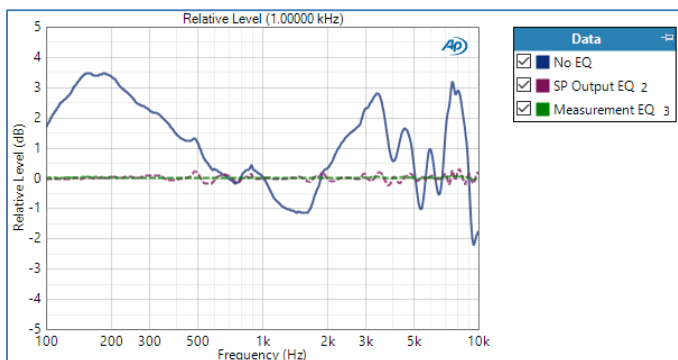


図3. Signal Path Output EQとMeasurement EQ,音響テスト暗室箱EQなしでのテストポイントの相対レベル

マイクロホンの詳細なテスト手順

ここでは,ヘッドホンマイクロホンのテスト手順をステップバイステップで説明致します.必要に応じてテストができます.付属のAPxプロジェクトファイルは自動化されているので,操作は簡単です.

1. アナライザの入力モードをAcousticに設定し,Mic Cal /dBSLボタンをクリックし,マイクロホン校正ダイアログを呼び出します.(図4)リファレンスマイクロホンを校正して,dBSLのパスカルと音圧レベル(SPL)を測定します.

Channel	Serial #	Level	Sensitivity	Expected Sensitivity	Sensitivity Tolerance
Ch1		31.98 uVrms	12.53 mV/Pa	Calibrate	1.000 dB

図4. マイクロホン校正ダイアログ

2. リファレンスマイクロホンとDUTマイクロホンをテストポイントに配置し,音響テスト暗室箱を閉じます.

3. 次のステップでは,ジェネレーターを調整し,目標のSPLを達成するために音響出力レベルを基準周波数で校正します.基準周波数(1kHzなど)とターゲットSPL(94dBSLなど)を選択します.次に測定プロセスで利用するStart ValueとStop Valueを次のように設定します.Verify Connectionsパネルで基準周波数を設定し,最初にジェネレーターのレベルをスピーカーに負荷をかけない値を設定します.ジェネレーターをオンにして,RMSレベルの値を確認しながら,リファレンスマイクロホンのSPLがターゲットSPLを超えるまでレベルを徐々に上げて行きます.この時点でのジェネレーターレベルは最適なStop Valueとして利用できます.SPLがターゲットを下回る任意のジェネレーターレベルをStart Valueとして利用できます
4. アナライザのoutputモードをAcousticに設定し,Acoustic Output Levelの設定機能(図5)使って,基準周波数での出力レベルを校正します.

図5. Set Acoustic Output Levelダイアログ

5. テストポイントでスピーカー応答のレベルを必要とするEQ曲線を求めるには,周波数応答をを測定し,Relative Level応答をファイルにエクスポートする必要があります.必要に応じて,反射音をウィンドウから除外するAcoustic Response測定を利用します.

注意:良い結果を得られる様,relative level結果の基準周波数を手順3のアカースティック出力の設定手順で指定する基準周波数(1kHzなど)にします.

6. 手順5でエクスポートしたrelative levelの結果をSignal Path SetupのOutput EQにインポートし,反転させて利用します.
7. 手順4のアカースティックアウトプット校正を繰り返し,EQカーブの精度を上げ,校正結果を求めていきます.

8. 周波数応答を測定し,EQを使ってスピーカー校正が平坦になっていることを確認します.ターゲットSPLが94dBの場合,リファレンスマイクロホンの応答は94dBSLでフラットラインとなります.
9. Signal Pathのコピーを作成するには,右クリックのメニューを利用します.そこからFile(Digital Units)に変更します.これで,DUTマイクロホンを測定する,アコースティックアウトプット調整がなされたSignal Pathを作成できます.
10. 新しいSignal Pathはオープンループマイクロホンテスト用のAcoustic Response測定となります.(図6)
11. PCのコントロールパネルからWindowsサウンド環境設定ダイアグラムを開きます.Recordingタブを選択し,DUTマイクロホンをクリック,Default Deviceに設定します.(図7)
12. PropertiesボタンをクリックしてマイクロホンPropertiesダイアログを開きます.Levelタブでマイクロホンの音量を調整します.(図8)Advancedタブをクリックし,レコーディングフォーマットの初期値を確認ください.図7の例では,16bit/44.1kHzが表示されています.マイクロホンの周波数応答に影響を与える可能性がある,ノイズリダクション等のエフェクトは無効にしてください.マイクロホンPropertiesとサウンド環境設定ダイアログを閉じます.
13. 手順11で説明したように,wavファイルを開き,DUTマイクロホンで利用されたビット深度とサンプルレートでwavファイルを録音する準備をします.オープンループのチャープ信号の持続時間の合計より2-3秒長いファイルが必要になります.(Pilot Tone+Pose-Pilot Silence+Pre-Sweep+Sweep)
14. 録音用のアプリケーションで録音をスタートし,APxのAcoustic Response measurementからGenerateをクリックします.チャープ信号全体が取得するには,録音の長さを長くする必要があります.
15. Acoustic Response measurementのAnalyzerセクションからFile list controlを使用し,分析するために録音したwavファイルを読み込みます.
16. Analyzerをクリックし録音したwavファイルを分析します.

図6. オープンループ,Acoustic Response measurement 設定例

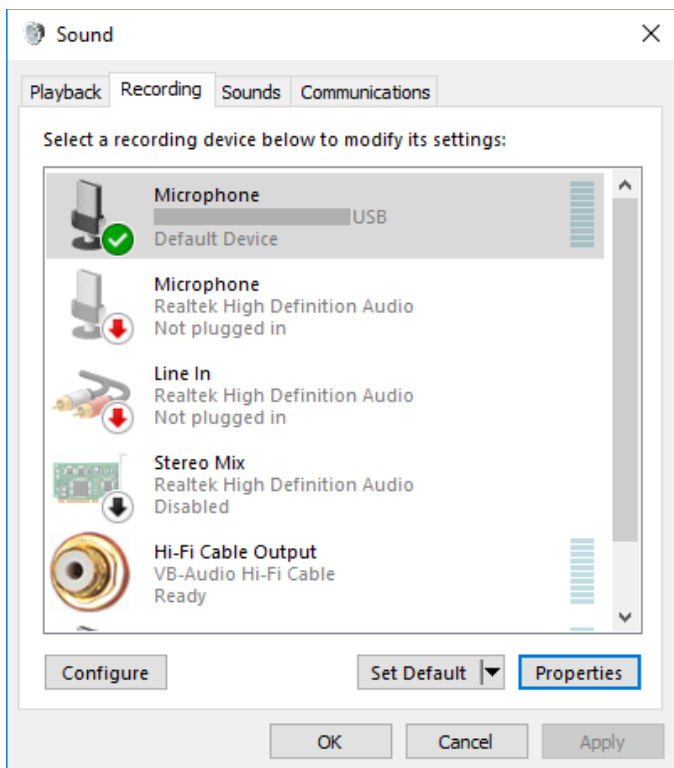


図 7. Windows 10サウンド環境設定ダイアログ

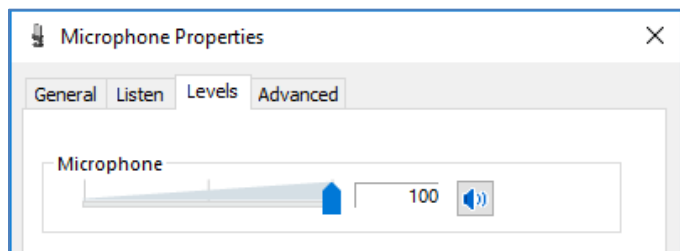


図8. マイクホンPropertiesダイアログのレベルタブ

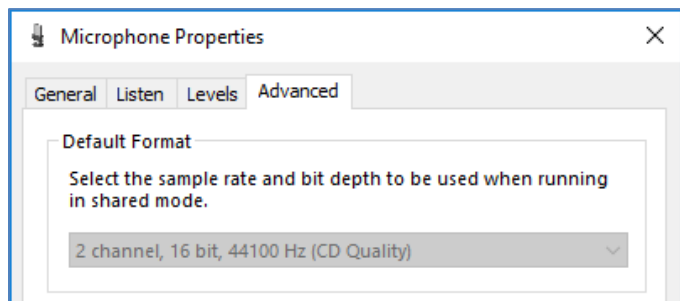


図9. マイクホンPropertiesダイアログのアドバンスドタブ
(注意: この装置は“エフェクト”設定が利用できません.)

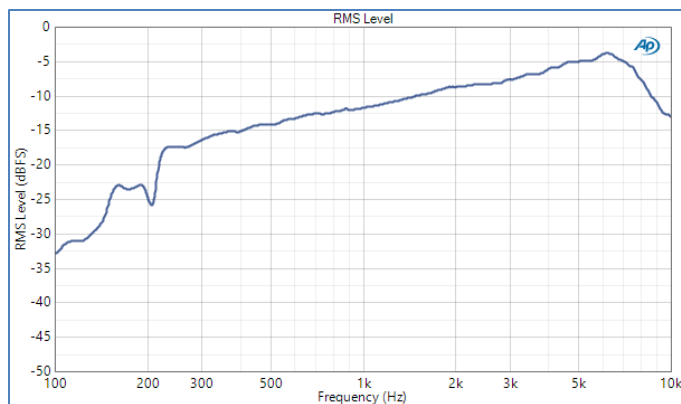


図10. オープンループアコースティック応答94dBSPL (1Pa)時でのDUTマイクロホンの周波数特性

マイクロホンテスト用のプロジェクトファイル

USBヘッドセットプロジェクトファイルには、ヘッドセットマイクロホンテストを自動化するHeadset Micという名前のシーケンスがあります.wavファイルの録音と再生を自動化するGoldwaveというWindowsサードパーティー製編集ソフトウェアを使用します.Goldwaveを使用する理由は、コマンドラインインターフェースを備えているからです.つまり、APx Run External Programシーケンスステップから呼び出すことができます.これにより,wavファイルをシーケンサーからPCに自動的に録音,再生することができます.

APxのシーケンスは、プロジェクトファイル内でチェックしたアイテムの集合体です.選択したシーケンスが実行されるとチェックした全てのSignal Path,シーケンスステップの測定が行われ,結果はsequence reportに記録されます.Headset Micシーケンスでは3つのSignal Pathを使用します.

図10のRMAレベル応答測定を見てください.DUTは94dBSPLの影響もあり,グラフの曲線は感度対周波数(FS/Pa)で表示されています.このヘッドセットマイクロホンの感度は1kHz時で-11.8dB(FS/Pa)です.

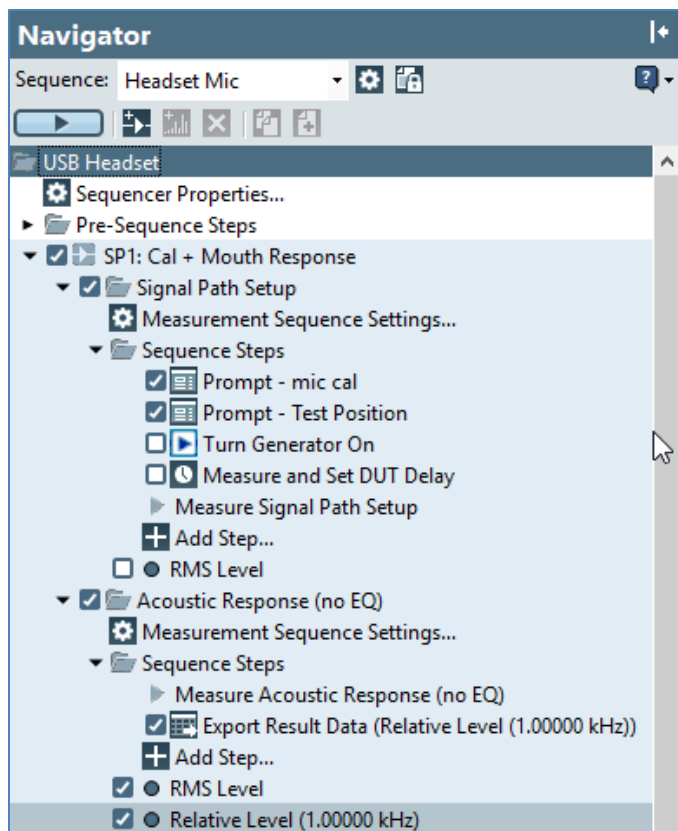


図11. ヘッドホンマイクロホンシーケンスの第一のsignal path

第一のSignal Path"SP1:Cal+Mouth Response"(図11)は、リファレンスマイクロホンを校正し、テストポイントでのスピーカの周波数応答を測定する際に利用します。自動化の方法は以下の通りです。

- マイクロホンを校正し、テストポイントにリファレンスマイクロホンを配置し、Signal Path Setupのプロンプト
- Auto Set Generator Levelは、Signal Path SetupのMeasurement Sequence Settingsパネルで確認できます。スピーカーを校正する出力調整は、マイクロホンを校正するテストポイントに配置された後に実行します。注意:Measurement Sequence Settingsにはシーケンスで同じ名前のノードをクリックしたらアクセスできます。
- Acoustice Response(noEQ)という名のシーケンスステップでは、フォルダ内へAcoustic Responseの相対レベル結果のプロジェクトファイルに書き出します。

2番目のSignal Path"SP2: EQ Mouth" は、スピーカーのテストポイントでのEQに利用します。このSignal Pathの自動化は以下の通りです。

- Signal Path Setupの Measurement Sequence Settings は、最初のSignal Pathからリファレンスをコピーして構成します。(図12)これにより、マイクロホン校正とアコースティック出力の感度が、正しく設定されます。

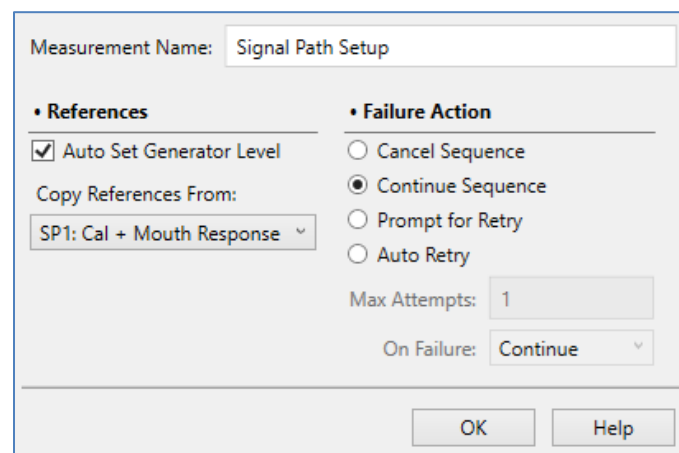


図12. Signal path SP2: EQ Mouthの設定が画面

- Signal Path Setupでは出力EQ曲線にシーケンスステップ(図13)のデータをインポートして利用します。最初のSignal Pathでエクスポートされた相対レベル応答を読み込み、それを反転させて出力EAとして適用し、スピーカー出力の平坦化を行います。

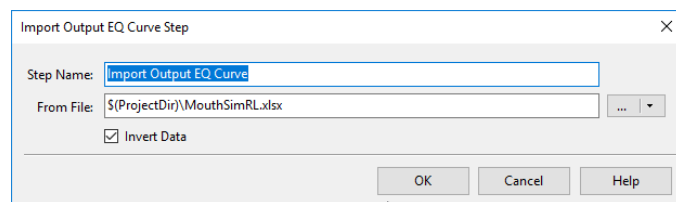


図13.Signal path SP2: EQ Mouthの出力EQ曲線の読み込み

- Measurement Sequence Settings(図12)のAuto Set Levelチェックボックスもチェックし出力調整を再度行います。EQを適用後の出力感度の再測定を必要とするケースがあるためです。

3番目のsignal path"SP3: Headset Mic"はDUTマイクロホン測定を行います。このSignal Pathはアコースティック出力の構成から、入力コネクタがFile(Digital Units)に設定されています。この応答結果は2つ目のSignal Pathからインポートされた出力EQ曲線のコピーです。音響応答測定には、次のシーケンスステップが自動化の追加項目に含まれます。

- GoldWaveを起動するプログラム手順
- 遅延
- Goldwaveでwavファイルを録音する為のプログラム手順(図14)注意:Goldwaveは閉じる際にファイルを自動的に保存するように設定する必要があります。
- -new: “HeadsetRecord.wav”という新しいファイルを作成します。サンプルレートは44.1 kHz, 1チャンネルで3秒です。
- -record: ファイルに録音します。
- -close: 終了後Goldwaveを閉じます。
- Working FolderはAPxプロジェクトファイルにあるフォルダ内に保存されます。
- Generate stepが確認され,1秒の遅延の後,次のAnalyze Stepに移ります。

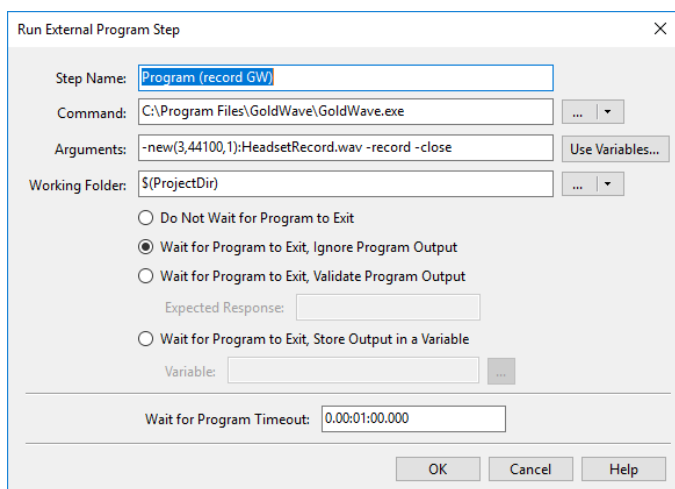


図14. GoldWaveのwavファイルを録音する際の外部プログラムの実行設定画面

注意:測定画面のAnalyzerセクションのFile listコントロールでは,Goldwaveの録音ファイルへのパスが分析ファイルとして設定されます。
Goldwaveをインストールし,自動保存したら,APxでヘッドセットマイクロホンシーケンスを実行し,プロンプトに従って,ヘッドセットマイクロホンの周波数応答を測定するに必要な手順を自動的にを行います。

ヘッドセットイヤホンテスト

Receive path (イヤホンテスト)について説明します。

アコースティックアクセサリ

ヘッドセットイヤホンテストに必要なアコースティックアクセサリは,イヤースミュレーターを備えたテストフィクスチャです。イヤースミュレーターは小さなカブラで,標準的な人間の耳と同等の音響インピーダンスを持つように設計されている,音圧型マイクロホンです。イヤホンからの音圧レベルを測定する手段を提供するだけでなく,テスト中にイヤホンにロードされることも対応しています。

挿入タイプ(カナル型)のイヤホンの場合,イヤースミュレーターは,外耳道をシミュレートするアダプターと一緒に利用することができます。(図15)外耳(耳介と呼ばれる)の上や耳の上に装着するオーバーイヤー型のイヤホン(ヘッドホン)の場合,実際の耳介を備えたテストフィクスチャ(模型)が必要です。1つのオプションはイヤースミュレーターを備えたHATS(図1)を利用することです。AECM206ヘッドホンテストフィクスチャ(図16)は,HATSに代わるコストパフォーマンスの良いものです。このフィクスチャには耳介を備えたイヤースミュレーターがあり,ヘッドホンテストに関してはHATSと同等の性能があります。



図15. AECM304閉塞型イヤースミュレーター

ヘッドホンテストに役立つ別のアコースティックアクセサリは,サウンドレベルキャリブレーターです。(図17)各イヤースミュレーターマイクロホンの感度を正確に設定するために利用します。このアプリケーションでは,高い周波数でのカブラの空洞共振の影響を受けるので,一般的な1kHzよりも250Hzで動作するキャリブレーターが推奨されます。また,各イヤースミュレーターはマイク電源が必要です。



図16. AECM206ヘッドホンテストフィクスチャ



図17. イヤーシミュレーターマイクロホンを校正するCAL250サウンドレベルキャリブレータ

ヘッドセットイヤホンテスト手順

ヘッドセットイヤホンのテストをステップバイステップで説明します。必要に応じてテストを作成できます。ただし、付属のAPxプロジェクトファイルを使い自動化することを推奨いたします。

1. オープンループアコースティック測定の構成
Output Connector=None(External) Input Connector=Analog Acoustic Input mode:有効
2. 左右のイヤーシミュレーターを校正
3. オープンループアコースティックレスポンス構成で測定(図18)

Acoustic Response (1 position)

Generate
Analyze

☐ Append Graph Data
☒ Open Loop

Generator Signal

Audio File Settings

Sample Rate: 44.1000 kHz
Channels: 2

Frequencies

Pilot Tone: 1.00000 kHz
Start: 40.0000 Hz
Stop: 20.0000 kHz

Levels

☒ Levels Track Ch1

	Pilot	Sweep
Ch1	-6.000 dBFS	-6.000 dBFS

EQ: None

1 2

Durations

Pilot Tone: 500.0 ms
Post-Pilot Silence: 100.0 ms
Pre-Sweep: 0.000 s
Sweep: 2.000 s
Additional Silence: 0.000 s

Iterations: 1

Analyzer

Trigger

Level Threshold: 100.0 mPa
Channel: Auto
Timeout: 0.00:00:30.000

Signal Processing

☒ Frequency Correction

図18. USBヘッドセットプロジェクトファイルを使ったアコースティックレスポンス測定

図18の設定は以下の通りです。

- サンプルレートは44.1kHzで設定。USBヘッドセットデバイスが再生で使用するサンプルレートになっています。
- 測定は、1kHzのパilotトーンで、40 Hzから 20 kHzスイープを行っております。
- スイープとpilotトーンのレベルは -6dBFSです。
- pilotトーン時間は500 msです。これは、プロセスが自動化されているときに部分的に時刻を同期できるようにする為です。
- スイープ時間は2秒でpilot後の停止時間は100 msに設定しています。
- トリガーレベルのしきい値は100 mPaで設定しています。
- Frequency Correctionは有効になっています。その結果、APxソフトウェアはDUTのサンプルレートを自動的に修正し、測定したサンプルレートを反映した波形を再生成します。

4. wavファイルを作成し、アコースティック特性の結果をPCに保存します。注意:Generateをクリックすると、ダイアログが開きます。

- Windows サウンドプロパティを調整します。Windowsサウンド環境設定のプロパティを開き、PlaybackタブでDUTが選択されていることを確認致します。
- オーディオ再生ソフトでwav file読み込みます。
- アコースティック応答解析を開始します。
- PCからwavファイルを再生し、DUT応答を解析します。アナライザがシグナルをトリガーにして、pilotトーンを検出すると、解析は完了します。

図19はUSBヘッドセットプロジェクトファイルの結果になります。テストの再現性を確認する為、同じ条件で3回の測定を行っております。図20は測定値の左右をトレースした比較結果です。
(3回の測定から1回を抽出)

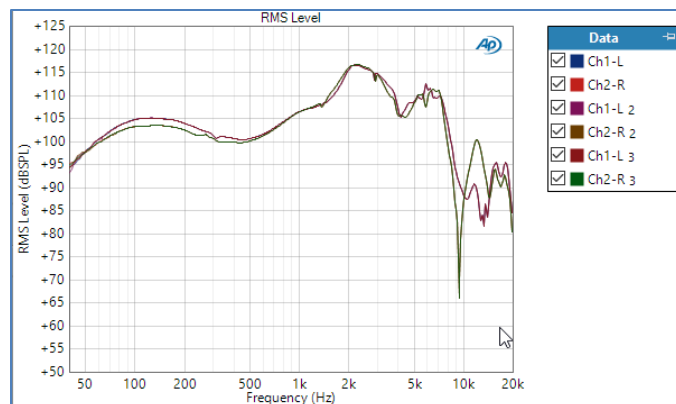


図19. アコースティック応答を使ったヘッドセットイヤホンの周波数応答結果(3回実施, 再配置施行はなし)

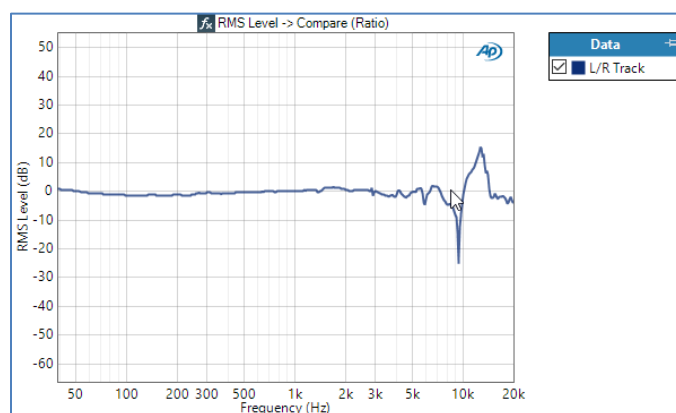


図20. 左右チャンネルの比較結果を利用した左右トラッキング応答

ヘッドセットイヤホン进行测试する場合、デバイスとテストフィクスチャのフィット具合で周波数応答に大きな影響を与える可能性があります。一般的には、毎回ヘッドセットをテストフィクスチャに設置しなおし、数回測定することです。図21は上記測定を5回繰り返した結果です。APは各チャンネルの測定結果をトレースし平均値を算出致します。アコースティック応答測定では、イヤホンテストのいくつかの項目結果を得られます。例えば、Level and Distortionの結果(図22)は、基本信号、全高調波歪み(THD)、2次及び3次高調波の周波数応答を1つのグラフに表示します。またRub and Buzz result (図24)の表示は、Rub and Buzz Crest FactorとPeak Ratioで知られる測定水準が表示され、Rub and Buzzはトランスデューサーの欠陥を検出することができます。

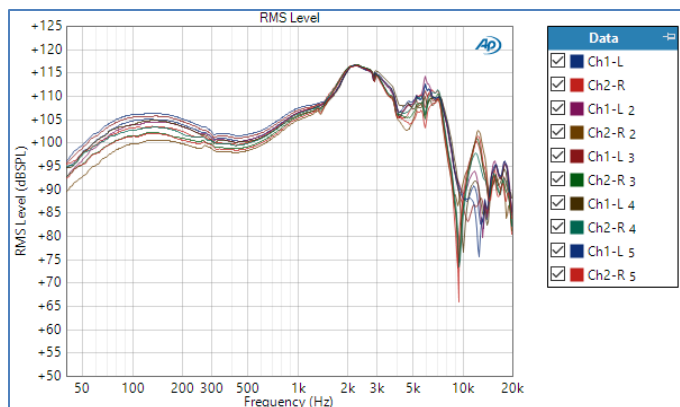


図21. 配置を施した5回測定した左右のイヤホン応答

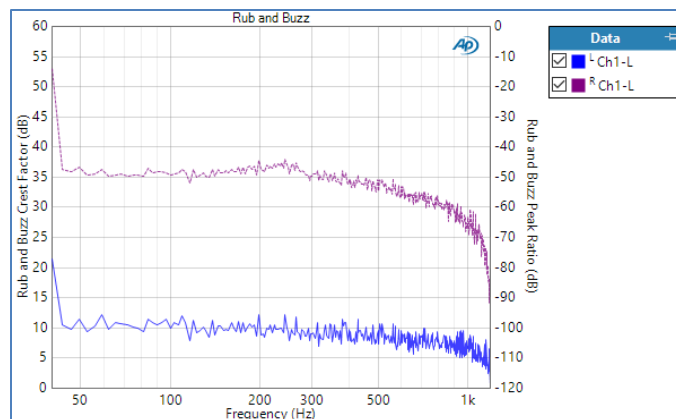


図24. Rub and Buzzのアコースティック特性結果.
Rub and Buzz Crest FactorとPeak Ratioを周波数で比較表示

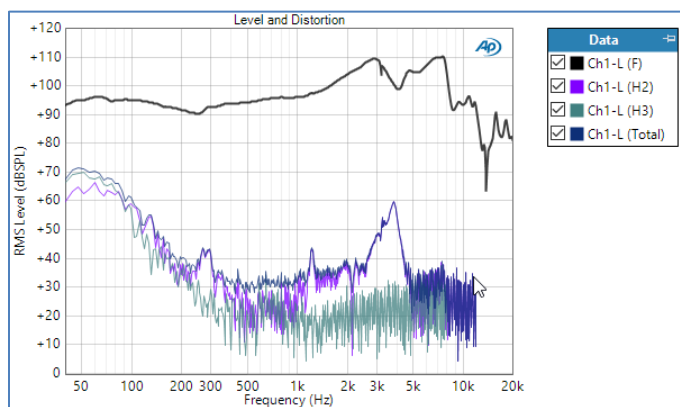


図22. Level and Distortionの周波数特性結果.基準音,
2次高調波,3次高調波と全高調波歪み

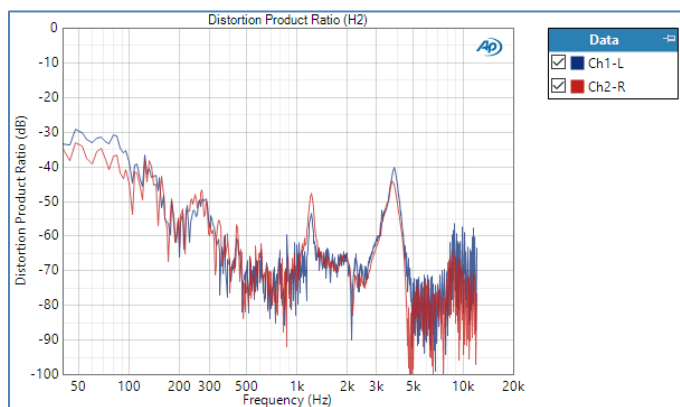


図23. Distortion Product Ratioの結果.両耳イヤホンの2次
高調波の周波数を比較

プロジェクトファイルを使ったイヤホンテスト

USBヘッドセットプロジェクトファイルの“Headset Earphones”という名のシーケンスから“SP4: Headset Earphones”というSignal Pathを実行します.ヘッドセットイヤホンの周波数応答テストを自動化します.ここでもGoldwaveを呼び出すAPx Run External Programシーケンスステップを利用してプロセスを自動化します.この場合,wavファイル(リファレンス音源として)再生します.



Calibrate the Right Ear Simulator

Place the calibrator on the right ear canal extension of the AECM206 and click OK when the adaptor is properly seated and the level has stabilized

Set Reference:			
Channel	Level	Sensitivity	Frequency
Ch2-R	+114.062 dB SPL	9.214 mV/Pa	249.977 Hz

図25. イヤーシミュレーターキャリブレーションプロンプト

ヘッドセットイヤホンシーケンスを含む自動化の方法は以下の通りです.

- 左右のイヤースимуレーターを校正するため、Signal Path設定のプロンプトシーケンスステップ(図25)
- テストフィクスチャにヘッドセットを配置及び再配置する為のプロンプトシーケンスステップ
- ジェネレーター波形をwavファイルに保存するため、アコースティック応答測定のプロンプトシーケンスステップ(図26)
このステップでは、APxのProjectDirを利用して、wavファイルをプロジェクトファイルのあるフォルダに保存します。
- GoldWaveを使ってPCからジェネレーター波形を再生するシーケンスステップ(図27).各測定が終わった後、-playステップには-close因数(Argument)があり、Goldwaveを閉じます。
- 測定を書き出すためのシーケンスステップ

以上でUSBヘッドセットのオーディオテストについての説明は終わりです.このTech Noteでは周波数応答測定に重点を置っていますが,これらの測定テクニックはUSBオーディオデバイスの多くのオーディオ品質測定に利用できます。

参考

今回使用したGoldWaveは goldwave.comから入手できます.これはAPx Run External Programシーケンスステップからのwavファイルの再生と録音を可能にするコマンドラインインターフェースなど多くの便利な機能があります。

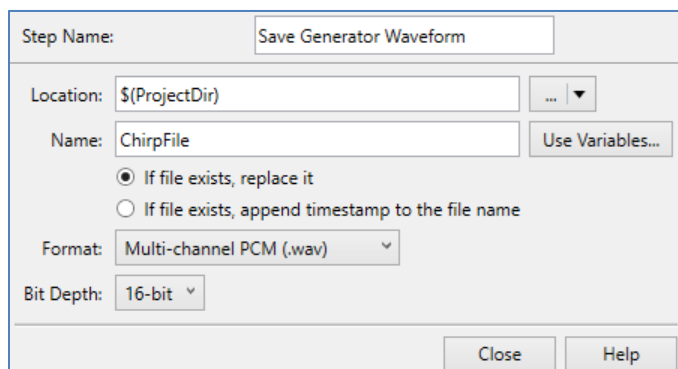


図26. Acoustic Responseジェネレーター波形をwavファイルに保存するシーケンスステップ

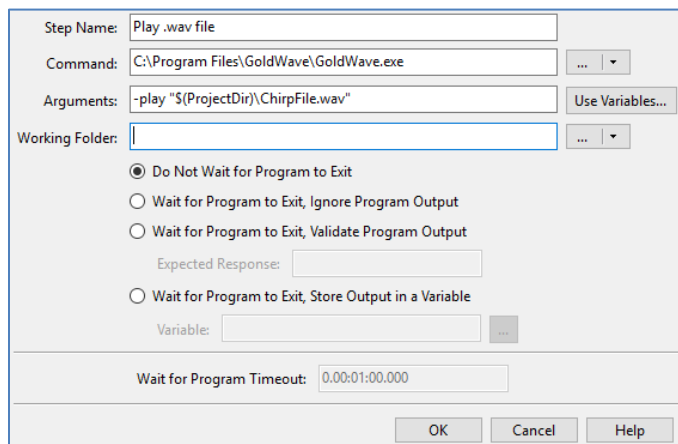


図27. GoldWaveを使ってアコースティック応答を含むwavファイルを再生するシーケンスステップ

GoldWaveをインストールすると,APxナビゲーターでHeadset Earphonesシーケンスを選択し,シーケンスを実行して,プロジェクトファイルでイヤホン測定を自動的に実行します。