



TN140

TESTING MICROPHONE ARRAYS WITH THE APx PDM 16 MODULE

Technoteに関して

オーディオプレジジョンはAPx500シリーズおーでいおアナライザ用の新しいデジタル入力としてPDM 16を発表致しました。同時に1~16個のPDMデバイスからのオーディオ信号を解析できるユニークな仕様を使って、PDM 16はデジタルMEMSマイクロフォンやPDMマイクロフォンアレイを使ったエンジニアリング作業向けに設計されています。今回は本件に関して説明致します。

PDM 16とは？

PDM 16 (図1)は最大16個のPDMデバイスのオーディオ測定に対応できる入力モジュールです。主な仕様は以下の通りです。

- Bit Clock: 128 kHz to 24.6 MHz
- Decimation Rates: 1/N, (N = 32, 64, 128, 256 or 512)
- Clock Master or Slave
- Vdd Supply (0 - 3.6 V)
- Logic Levels: 0.80 - 3.3 V



図1. APx PDM 16モジュールの前面パネル

PDM 16モジュールへの接続は、インターフェースパッド(図2)を使って行います。これは最大10mAアナライザを離すことができるように設計されています。さらに、足がついており、静音設計構造となっています。

このパッドへの接続は2列の40ピン校正(0.1インチピッチ)のコネクター(リボンケーブル)を使います。パッドはモジュールと接続後、電源を入れると、LEDが光り、PDMモジュールがアクティブになります。



図2. PDM 16リモートインターフェースパッド

オプションジッターの発信や電源除去測定や特別な間引き率測定等を使ったPDM出力測定を必要とするユーザは、2チャンネルのPDM入出力を提供するAPxPDMモジュールを使うことをお勧めいたします。尚、既存のPDMモジュールとPDM16モジュールは同時にAPxアナライザで利用できます。

マイクロフォンアレイテストの測定

マイクロフォンアレイテスト設備

このTechnoteで使うマイクロフォンアレイはAPの社内テスト用に開発した小さなプリント基板(図3)を活用することになります。この設備は16個の ST Micro model MP34DT05-A PDMマイクが搭載されており、また、PDM16リモートパッドと同じコネクターとリボンケーブルで接続致します。しかし、ビームフォーミングのような実用的なマイクロフォンアレイのようなアプリケーション用には設計開発されていません。PDM16モジュールの機能性、接続性テストを目的とした設計となっています。



図3. 16マイクロフォンアレイを搭載したPDM 16テスト設備

テスト向けのセットアップ

理想としては、マイクロフォンはDUTや参照マイクをきちんと音場上で設置し、無響室でテストすることが望ましいです。このTechnoteでは、補聴器測定用の小さな箱を使うことに致します。(図4)この測定箱は500Hz以上の周波数において、約40dの音声遮断を可能としております。また、会話レベルの周波数レンジでのアコースティック測定で利用されます。さらに、100Hz~10kHz間で±3dB以内の平坦周波数機能をサポートしたフルレンジラウドスピーカー機能を保有しています。図5は測定箱に入れたマイクロフォンアレイテスト設備とニアマイクロフォンアレイをラウドスピーカー上に設置した写真となっています。1/4インチの空間測定において、マイクロフォンはスピーカーの前の青い円のセンターにおいたテストポイントに2個目のマイクロフォンの隣に置いております。DUTマイクロフォンはテスト設備のPDMチャンネル1に接続されています。



図4. 測定箱TBS25

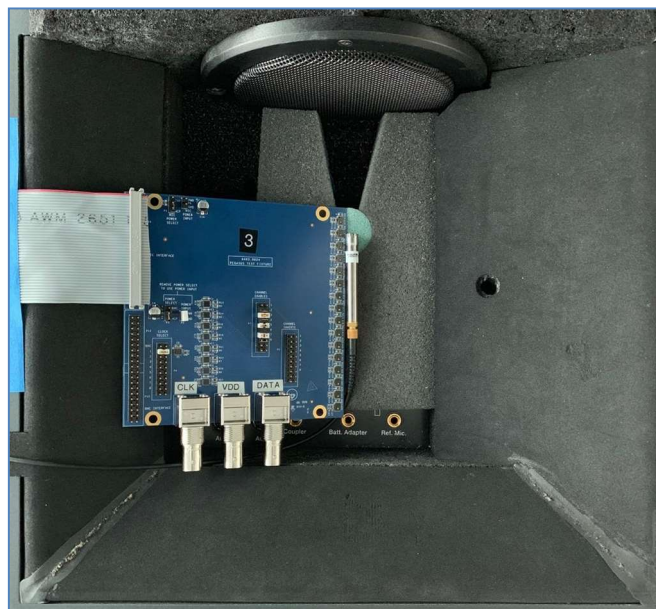


図5. アコースティック測定箱内のテスト設備

テスト利用機器

今回のTechnoteでは以下の機器を使っております。

- APx525 Audio Analyzer with PDM 16 module & pod
- APx1701 Transducer Test Interface
- TBS25 測定箱 (図4)
- 378M33 1/4" マイクフォン
- CAL200 Sound Level校正器

APx1701 Transducer Test Interfaceはこのアプリケーションでは、ラウドスピーカー箱を駆動するパワーアンプと測定マイク用のCCPパワー電源を搭載しているので、最適な機器として利用しております。また、TEDS (Transducer Electronic Data Sheet)規格にも対応しております。

テスト手順

手順は以下のマイクロフォンアレイのアコースティック応答を使っております。

1. アコースティック入力向けにアナライザの設定を行います。また、測定音圧のPaやdBSL単位でのレベルでマイクを校正致します。
2. 測定箱にDUTマイクロフォンアレイと測定用マイクロフォンを設置します。(図5)
3. アナライザ出力をアコースティックモードに設定し、参照レベルと周波数(例、94 dBSPL 1 kHz時)におけるdBSLでの校正するよう調整していきます。
4. APxアコースティックレスポンス応答測定を使って、アコースティック周波数応答の値を測定致します。測定は何度か行い、安定度を図ります。
5. #4の結果をエクスポートし、テストポイントで周波数応答値が平坦になるようイコライズして調整していきます。#3の手順を繰り返しながら、アコースティック出力を確認致します。
6. 入力コネクターをPDM16に切り替えて、設定を変更致します。
7. #4と同じ設定を使ってPDMマイクロフォンのアコースティック応答を測定致します。

テストポイントにおける音場レベル

手順1～5ではラウドスピーカーの出力を校正を活かして、テストポイントにおけるアコースティック応答の平坦度をイコライズしていきましました。この手順はTechnote 127 - Leveled Acoustic Outputに詳細を記載しております。

APxソフトウェアは二つの手法があります。

1. Output EQ: Signal Path Setupを使って、30個のデジタルフィルタでイコライズする方法
2. Measurement EQ: 特定のサイン波測定を使って、特定周波数や平坦に達した際の信号の振幅を調整する方法

図6はno EQ時、Output EQとMeasurement EQを使って、測定箱のテストポイントにおける周波数応答の値を示しております。結果、 ± 3.33 dB no EQ時、 ± 0.28 dB Output EQ測定時、 ± 0.07 dB測定時という結果が出ました。

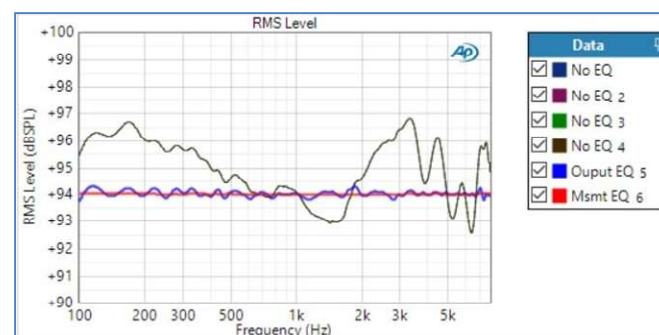


図6. No EQ時、Output EQ測定時、Measurement EQ測定時におけるテストポイントのSPL応答値

これらは場所が変われば、値も変わってきます。図7はMeasurement EQ測定を使って、テストポイントにおける位相応答を示しています。これは、参照マイクロフォンとラウドスピーカー間の位相の状況を示しております。

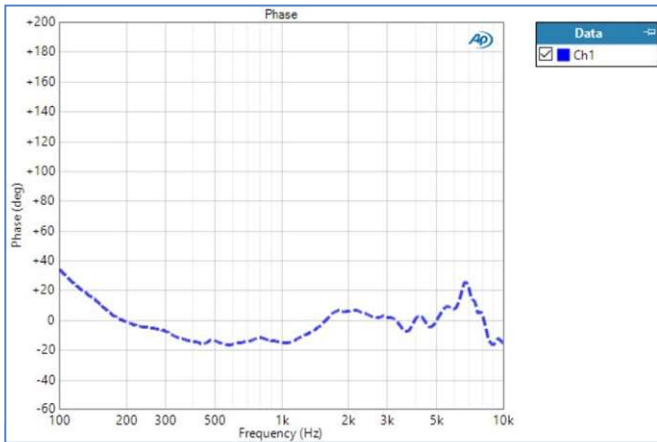


図8. PDM 16設定画面

マイクロフォンアレイ応答

図9はマイクロフォンアレイ応答を示しております。16個例示しておりますが、青の点線のch1はDUTマイクロフォンアレイの周波数応答(テストポイント時で、校正済み環境で測定)を示しております。

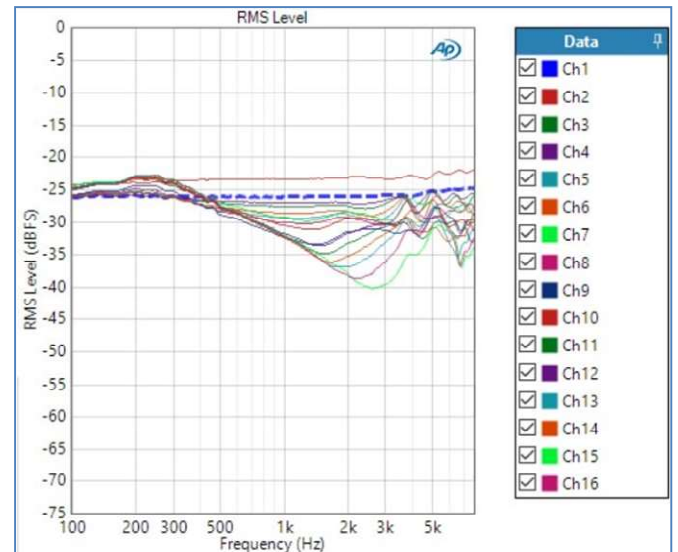


図9. 16PDM マイクロフォンの周波数応答

図9のch1の形状はほぼ図10に示しているデータシート上の周波数応答を同等の結果が得られております。CH1の1kHz時のRMSレベルは約-26dBFSです。これは1kHz時の94dB SPLアコースティック入力における一般的な電気応答と合致致します。この測定感度はこのマイクの -26 ± 3 dBFSとなります。

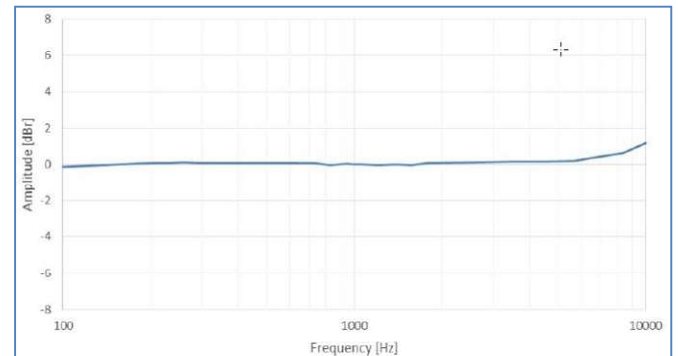
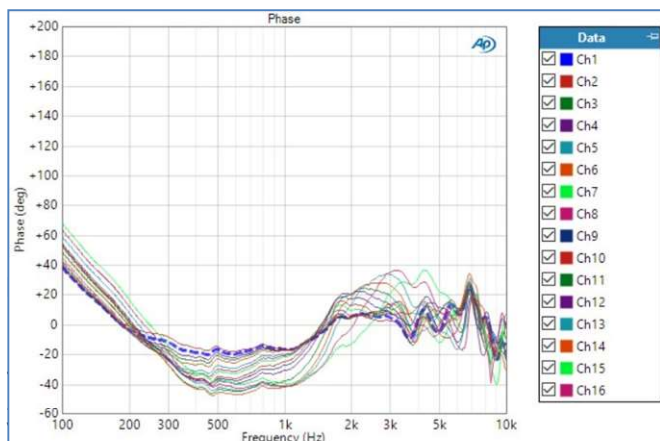


図10. 1kHz時の代表的なマイクロフォンメーカーの周波数応答

図11はマイクロフォンの位相応答を示しています。CH1の応答のみ実際の位相応答にあたります。またCH1の位相カーブは図7にある位相特定と似通っております。



正確なマイクロフォンの位相応答は測定することは出来ませんが、マイクロフォン間の大まかな位相相関を得ることができます。APxアコースティック応答測定は遅延が発生します。この遅延はインパルス応答のオフセットから計算できます。また、スピーカーとマイクロフォンの間の平均的な遅延も表しています。図12はPDM ch2(スピーカーと最も近い位置に配置している)を基準に各マイクロフォンとの遅延相関を取ったものになります。

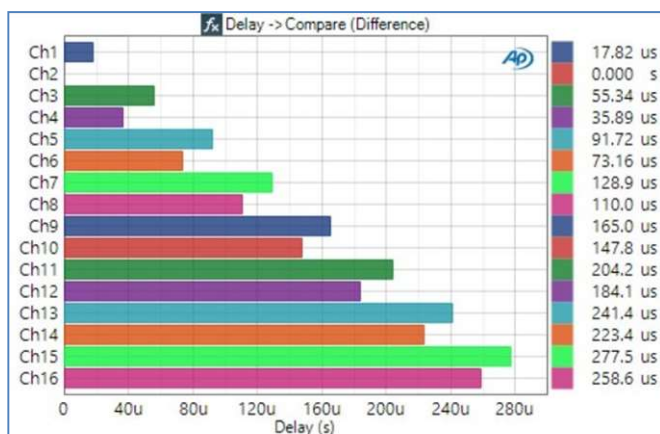


図12. Ch2を基準とした際の各マイクロフォンの遅延状況

奇数、偶数のマイクロフォンによって、図12は異なる結果を示しています。

しかし図13は各マイクロフォンの相対遅延データを示しております。これは傾斜が0.3503のリニアな比例直線の結果となっています。mmからメートルやμsから秒に変換すると、この傾斜は350m/sになります。これは音速の誤差1%以内に相当します。(346 m/s)

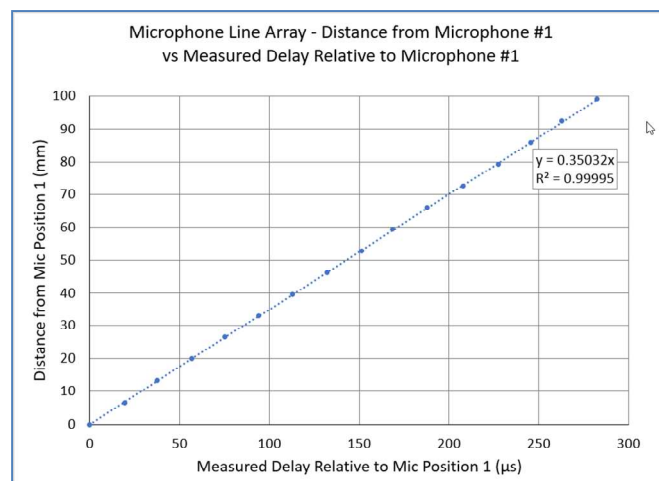


図13. 図12のプロットとマイクロフォンの位置から見た遅延測定

アコースティック応答による位相結果はch1との位相の相関関係が成り立っています。(図14) 今回のケースでは、ch1はスピーカーに対して、2番目に近い位置にあり、ch2が最も近い位置にあります。マイクロフォン間の平均的な遅延18.85 μsが位相差をしめしております。10 kHz時の位相差は、約67.9%のマイクロフォン空間による結果となりました。これは図13でも同様の結果を表しています。どの曲線も0度100Hz時と67.9度10kHz時の間でほぼ直線になっております。これは、ch1のマイクロフォンとの位置の相関関係と一致しております。

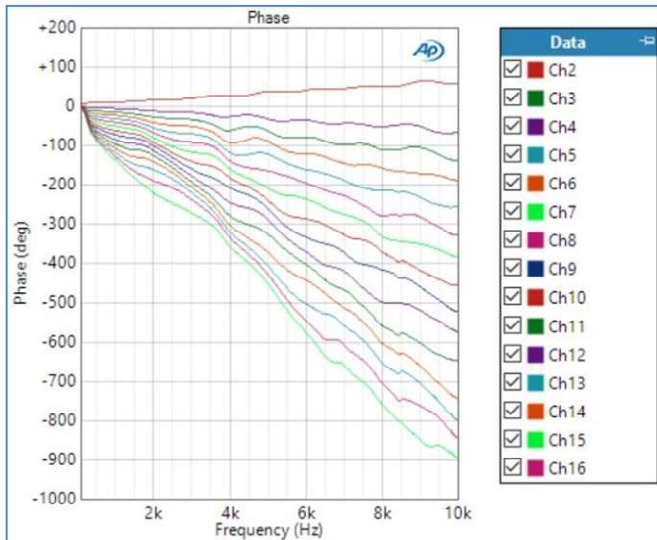


図14. ch1に対するマイクロフォンアレイの位相応答

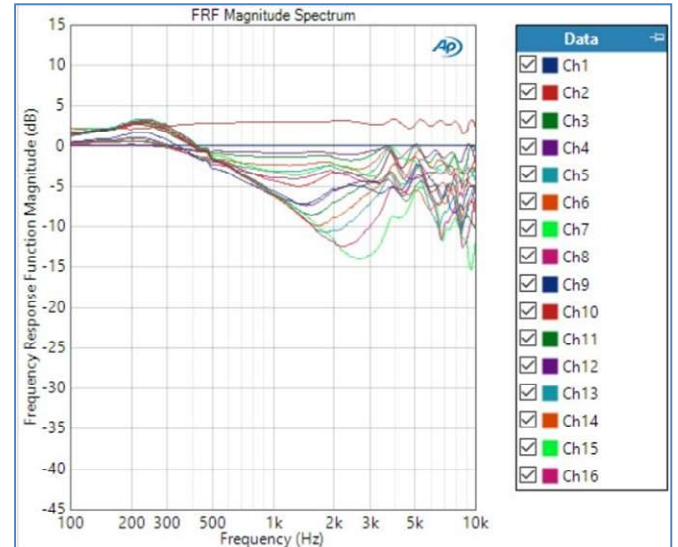


図15. 全てのDUTマイクロフォンとCHマイクロフォン間の伝達関数

伝達関数測定

APx伝達関数測定はマイクロフォンアレイの周波数応答即手にも活用されます。これは会話や音楽等の広範な信号を使って周波数応答測定ができることを意味しております。入力信号はwavファイルとして保存され、解析できます。例えば、ユーザーが会話の信号で伝達関数を測定したり、DSPアルゴリズムで得た信号を稼働させることもできます。図15図や16はテストポイントにあるch1に対するDUTマイクロフォンの周波数、位相応答を示しています。

PDM 16 アプリケーション

PDM16を使ったAPxオーディオ解析はマイクロフォンアレイを使った製品の研究開発にお役に立ちます。さらに様々なオーディオ測定を追加することによって、システムは全てのマイクロフォンから同時に得られる信号を提供することが可能となります。これらの波形がwavファイルとしてキャプチャーされ、MATLAB等でエクスポートすることでビームフォーミングや会話処理のアルゴリズムの評価にも役に立ちます。また、MEMSマイクロフォン製造メーカーにとって非常に関心の高い製品となると思われます。

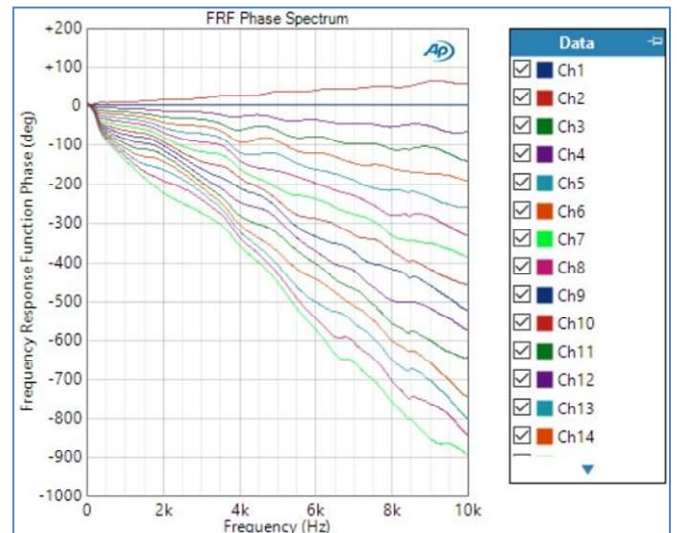


図16. DUTマイクロフォンとCH1マイクロフォン間の位相伝達関数