



リファレンスプリアンプ
PCM / DSD D/A コンバーダー
アシンクロナスUSB
ESS9028PRO DAC搭載

Benchmark *DAC3 B* ユーザーマニュアル 資料編

(バージョン 1.x ファームウェア)



目次

1. Benchmark DAC1, DAC2, DAC3 シリーズの歴史	1
DAC1 シリーズ.....	1
DAC2 シリーズ.....	2
DAC3 シリーズ.....	2
2. Benchmarkテクノロジー	4
ネイティブDSD変換.....	4
高ヘッドルームDSP	4
32ビット SABRE-PRO DACチップ	5
自己診断可能な表示	5
双方向12Vトリガー機能.....	6
分散型電源レギュレーター	6
差動アンプ.....	6
高いジッター耐性のUltraLock3™	6
変換クロックジッターがD/A変換性能をどのように劣化させるか？	8
デジタルオーディオシステム全体でジッターの影響を完全に排除することは可能か？	9
UltraLock™ 搭載D/Aコンバーターでもできないこととは？	9
3. 性能測定データ.....	10
グラフ 1：アイドルチャンネルノイズのFFT解析	10
グラフ 2：AC由来のハムに関する低周波数域のFFT解析	11
グラフ 3：10kHzテストトーンによるFFT解析.....	12
グラフ 4：1kHzテストトーンによるFFT解析.....	13
グラフ 5：周波数特性	14
グラフ 6：チャンネル間の位相差	15
グラフ 7：振幅に対するTHDおよびTHD+N（バランス出力）	16
グラフ 8：振幅に対するTHDおよびTHD+N（アンバランス出力）	17
グラフ 9：振幅に対するTHD（バランス出力とアンバランス出力の比較）	18
グラフ 10：周波数に対するTHD+N（80kHzローパスフィルター）	19
グラフ 11：周波数に対するTHDおよびTHD+N	20
グラフ 12：サンプリング周波数に対する THD+N	21
グラフ 13：ジッター耐性	22
グラフ 14：ジッター耐性のFFT解析	23
グラフ 15：11kHz, 12kHzによる相互変調歪み.....	24

1. Benchmark *DAC1, DAC2, DAC3* シリーズの歴史

数々の受賞歴を誇るDAC1の原音忠実なオーディオ性能は、文字通り単体D/Aコンバーターの「ベンチマーク」になりました。DAC1 USB、DAC1 PRE、およびDAC1 HDRは、基本となるDAC1プラットフォームに多くの機能を追加したものです。Benchmark D/Aコンバーターは、世界のトップスタジオの数々で広く使用されています。

以下は、各種DAC1、DAC2、DAC3モデルの概要です。

DAC1 シリーズ

DAC1

Benchmarkで最初のDAC1コンバーター。DAC1の機能は以下のとおりです。

- 3系統デジタル入力
- パッシブ型パッドを備えたXLR出力
- RCA出力
- アナログ音量調節
- HPA2™ヘッドホンアンプ
- UltraLock™ジッター減衰システム

DAC1 USB

DAC1 USBでは以下の改良が適用されました。

- **AdvancedUSB™** コンピューター入力
- 左側ヘッドホン端子のミュートスイッチ
- 2つのヘッドホンゲインレンジ設定
- LM4562/LME49860大電流出力段により駆動の難しい困難な負荷に対応
- より低い出力インピーダンス

BenchmarkのAdvancedUSB™コンピューター入力は、特別なドライバーをインストールせずに96kHzオーディオをサポートする最初のUSBオーディオインターフェースでした。

DAC1 PRE

DAC1 PREでは次の機能改良が加えられました。

- 3系統同軸デジタル入力
- 3つのヘッドホンゲインレンジ設定
- LM4562 / LME49860オペアンプを全段で使用
- プレミアムグレードのバルクヘッドマウント（リアパネル直接取付け型）RCA端子

アナログ入力用のスペースを確保するために、XLRデジタル入力を削除し、代わりに同軸デジタル入力を2つ追加しました。

DAC1 HDR

DAC1 HDR追加された機能：

- 赤外線リモコン
- HDR-VC™（ハイダイナミックレンジ・ボリュウムコントロール）

HDR-VC™には、カスタム仕様のアルプス製モーター駆動式ポテンショメーターを使用しています。モーター駆動の音量調節により、リモコンの利便性と手動調節による高いオーディオ性能を両立しています。

DAC2 シリーズ

DAC2 HGC

DAC2 HGCは、DAC1でおなじみのハーフサイズフォームファクターを維持していますが、製品全体がゼロから再設計されたものです。

DAC2 HGCの特長：

- 1チャンネル当たり4基の32ビットコンバーターを搭載
- PCM 24bit/192kHzネイティブ変換
- ネイティブ64X DSD変換
- 高ヘッドルームのデジタル処理部
- UltraLock2™ジッター減衰機能
- マルチモード非同期USBオーディオ入力
- サンプリング周波数表示とビット数表示
- 極性切替え
- ホームシアターバイパス
- デジタル・パススルー
- 双方向12Vトリガー
- 2系統ステレオアナログ入力
- 3系統ステレオアナログ出力
- 2系統光デジタル入力
- 高効率、低ノイズ電源部

DAC2 L

ヘッドホンアンプ部がないことを除いて、DAC2 LはDAC2 HGCと同じ仕様です。

DAC2 D

アナログ入力と12Vトリガー機能がないことを除いて、DAC2 DはDAC2 HGCと同じ仕様です。

DAC2 DX

DAC2 DXはDAC2 Dの後継機で、XLRデジタル入力と12Vトリガー機能が追加されました。また、2つめの出力バスが追加され、片方の出力はボリュームノブでコントロールしたまま、もう一方の出力を固定レベルのキャリブレーションモードに設定できるようにしました。

DAC3 シリーズ

表面的には、DAC3シリーズコンバーターはDAC2コンバーターとまったく同じように見えます。実際、それらは同じ操作体系、同じ端子、さらにはよく似た回路基板を使用しています。

違いは、重要な部品の多くとシステムがアップグレードされていることで、新世代のDAC3は、より低いTHD、進化したデジタルフィルター機能、より高速なPLLロックを実現しています。

新モデルのDAC3では、ファームウェア、デジタル信号処理、UltraLock™クロックシステムのすべてがアップグ

レードされています。特に、DAC3シリーズには新世代DACチップのES9028PROが搭載されています。この画期的なDACチップは、DAC2シリーズで使用されていたES9018と比べ、いくつかの大きな進化を遂げています。ESS PROシリーズが登場するまで、ES9018は入手可能な最高性能のDACチップでしたが、ESS PROシリーズDACチップが現在のベンチマークとなっています。Benchmark DAC3は、この新しい32ビットDACチップを搭載した最初の製品の1つになります。

Benchmarkの超低ノイズのアナログ段、低ジッターのUltraLock3™クロックシステム、高ヘッドルームDSPにより、新しいESS PROシリーズDACチップの全能力を引き出しています。

DAC3 対 DAC2

DAC3シリーズは、DAC2シリーズに以下の改良を加えています。

- ESS SABRE-PRO DACチップ
- UltraLock3™クロックシステム
 - ✓ 瞬時のPLLロック
 - ✓ 瞬時の入力切替え
- THD低減システム
 - ✓ 2次高調波補償機能
 - ✓ 3次高調波補償機能
- 改良されたデジタルフィルター
 - ✓ 通過帯域でのリップルを低減
 - ✓ よりフラットな周波数特性
- より高い最大出力
- ダイナミックレンジの拡大

2. Benchmarkテクノロジー

ネイティブDSD変換

DAC3の同軸デジタル入力とUSB Audio2.0入力は、ネイティブDSD変換をサポートしています。DoP1.1形式でカプセル化したDSDデータは、すべてのデジタル入力で自動的に検出されます。DoPの入力が検出されると、システムはシームレスにネイティブDSD変換に切り替えます。DoP1.1形式でカプセル化したDSDデータ転送は、多くのメディアプレーヤーでサポートされています。また、DSDファイルのダウンロードは複数のサイトから行えるようになりました。

DSDおよびPCMのハイレゾ音源ダウンロードサイトの最新リストについては、当社のWebサイトをご覧ください。

高ヘッドルームDSP

DAC3内のすべてのデジタル処理部は、0dBFSを超える+3.5dBのヘッドルームで設計されています。正および負の最大値に達したときの正弦波のデジタルレベルは0dBFSですが、この高いヘッドルームによって、正弦波のピークがサンプル間で発生する場合でも、クリッピングを起こさず、より高い信号レベルをキャプチャすることができます。純音の場合、PCMシステムが再現できるサンプル間ピークの最大値は+3.01dBFSです。（図8参照）

Benchmarkの高ヘッドルームDSPは、オーバーロードやクリッピングなしにサンプル間ピークを処理することができます。サンプル間ピークはきれいにレンダリングされ、クリッピングや歪みなしでアナログ出力に送られます。

（図10参照） これができるD/Aコンバーターは市場にはほとんどありません！

ほとんどのD/A変換システムでは、サンプル間ピークのレベルオーバーにより、すべてのシグマデルタ型DACチップ内にあるアップサンプリング補間器とデジタルフィルターは過負荷状態になります。（図9参照） 負荷が発生すると、非高調波歪みのバーストが発生します。この高周波歪みのバーストは、毎秒何回も発生する可能性があり、本来の音には存在しない明るさと荒さを足してしまう可能性があります。この問題はPCMフォーマットに影響しますが、1ビットDSD形式には影響しません。このようにDSD変換時にサンプル間ピークによるクリッピングがないことが、一部の人がDSDを非常に好むことの説明になっているかもしれません。しかし、DAC3では、DSD再生時の低ノイズ以上のクリーンなPCM変換を可能にしています。

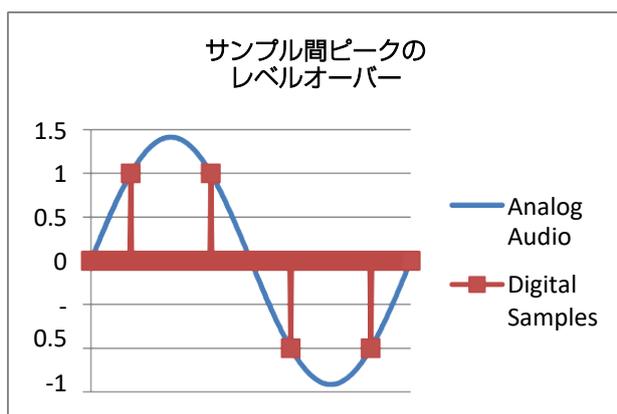


図8: +3.01 dBのサンプル間ピークのレベルオーバー

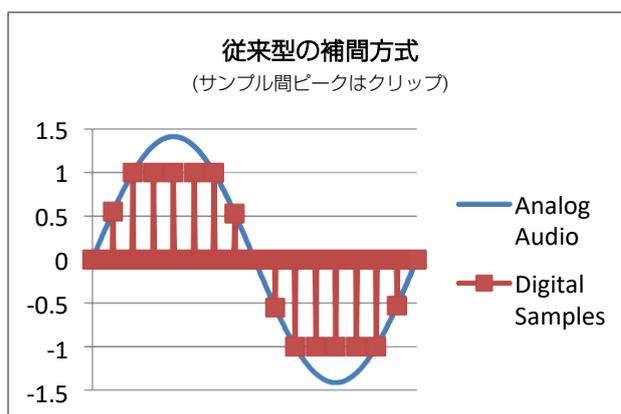


図9: サンプル間ピークのレベルオーバーによるクリップ

サンプル間ピークは、低サンプリング周波数（44.1kHzおよび48kHz）の商用作品ではよく見られるものです。数学的な仕組みと入力信号の帯域幅により、サンプル間ピークは、高サンプリング周波数の録音では問題が少なくなります。この理由は、ワーストケース（+3.01dB）のサンプル間ピークが、サンプリング周波数のちょうど1/4の純音で発生するためです。（図8参照） CDのサンプリング周波数44.1kHzでは、ワーストケースが11.025kHz

で発生します。多くの録音では、この周波数の周辺にはかなりのピークがあることがわかります。対照的に、88.2kHzのサンプリング周波数では、ワーストケースのサンプル間ピークが22.1kHzの周波数で発生しますが、ほとんどの音楽ソースでは、レベルオーバーを生成するだけの十分なエネルギーがありません。88.2kHzのサンプリング周波数は、依然としてサンプル間ピークの影響を受けますが、ワーストケースのピークの大きさははるかに低くなる傾向があります。たとえば、サンプリング周波数の1/8 (11.025kHz) では、サンプル間ピークの最大値は、サンプル周波数44.1 kHzでのワーストケースの+3.01dBではなく、約+0.66dBに過ぎません。

より高いサンプリング周波数を使う最大の利点は、サンプル間ピークのレベルオーバーに対する耐性があることです。サンプリング周波数が高いほど良い音が聞こえるという場合、その違いは完全に、「サンプル間ピークのレベルオーバーによるDSPの過負荷がないため」と考えられます。Benchmarkの高ヘッドルームDSPは、通常は高いサンプリング周波数に達成できる低ノイズとディテール再現で低いサンプリング周波数のオーディオデータのレンダリングを行います。(図10参照)

PCMシステムは、0dBFSを超えるピークを正確にキャプチャすることはできませんが、これらのピークは、ほとんどのデルタシグマ型DACチップ内のオーバーサンプリング補間器に過負荷をかけます。解決策は、補間プロセスを排除することではなく、より余裕のある補間器を構築することです。

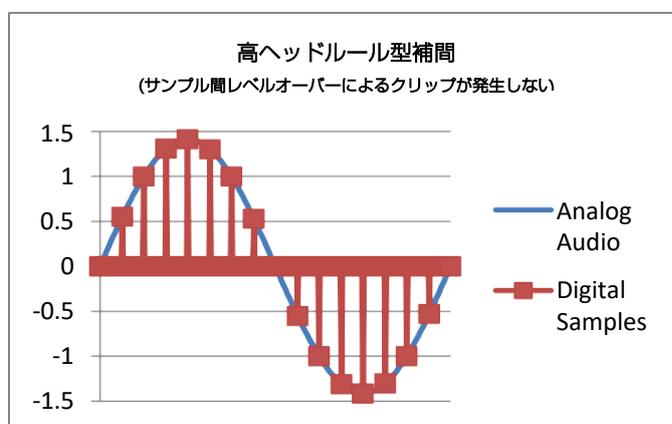


図10：高ヘッドルームによる補間

24ビットの最先端の変換性能を実現するには、補間プロセスが絶対に必要です。しかし、残念ながらサンプル間ピークのレベルオーバーは、ほとんどの補間でクリッピングを引き起こします。このクリッピングにより、非調和的で非音楽的な歪みが発生します。このような広い帯域に渡る歪み成分によって、粗さや本来ないはずの高域の明るさをデジタル再生に加えてしまうことが多いと考えています。BenchmarkのDAC2とDAC3コンバーターには、高ヘッドルームのノンクリッピング補間システムがあります。この補間システムは、デジタルからアナログへの変換に画期的な改善をもたらすと弊社では確信しています。

32ビット SABRE-PRO DACチップ

オーディオ信号は、8基のバランス構成32ビットD/A変換部からBenchmarkの低インピーダンスIV変換部に送られます。そのうち2基はAUX出力バス用に使用され、残りの6基がメイン出力バス用に使用されます。この4：1の並列処理により、ノイズは6dB減少し、THDも減少しています。DAC3の中核部のこの変換システムは、DAC3そのものと同じくらい優れています。D/A変換部後段のアナログ回路は特に注意深く設計されています。Benchmarkは、リファレンスグレードの高性能アナログオーディオ機器を構築してきた長い歴史を活用し、卓越した出力ステージを産み出しました。

自己診断可能な表示

ダウンロードした192kHz/24ビットのファイルがコンピューターで本来の高音質で聞こえないのはなぜでしょうか。メディアプレーヤーまたはコンピューターが44.1kHzにダウンサンプリングしているか、24ビットを16ビット

トに切り捨てている可能性があります。メディアプレーヤーアプリやコンピューターのオペレーティングシステムの中には、低品質のサンプリング周波数変換や切捨て処理を行うものが少なくありません。幸いなことに、この問題はサンプリング周波数変換を使用せず、ネイティブのサンプリング周波数で処理を行う優れたメディアプレーヤーアプリを選択することで解消できます。

一方、ディスクプレーヤーの中には、すべての入力ソースを44.1kHz/16bitにダウンサンプリングするものも少なくありませんが、この処理は音質に大きな影響を与える可能性があります。

こうした問題に対し、DAC3では受信したデータから実測したサンプリング周波数とビット数を表示することにより、ディスクプレーヤー、メディアプレーヤー、およびコンピューターの適切な動作をしているか確認することができます。

双方向12Vトリガー機能

Benchmarkは、双方向機能を追加することで12Vトリガー機能を改善しました。DAC3のトリガー接続は、入力、出力、またはその両方として使用でき、一般的な12ボルトのトリガー入力または出力と互換性があります。12Vトリガーポートを使用して、パワーアンプの電源オン・オフを行うことができます。また、他のオーディオ機器の電源操作によって出力された12Vトリガー信号にตอบสนองして、DAC3の電源を連動させることができます。

Benchmark製オーディオ機器は、トリガー入出力ポートで双方向通信ができます。この双方向通信により、柔軟性がさらに向上しています。この機能を使用したシステムでは、Benchmark機器のどれか1つの電源スイッチで、オーディオシステム全体を順番に起動・シャットダウンすることができます。

分散型電源レギュレーター

可能な限り低ノイズを達成するために、DAC3は分散型電源レギュレーターを使用しており、その数は20個もあります。重要な回路ブロックには、それぞれ専用に少なくとも1基の低ノイズ電源レギュレーターを装備しています。

ES9028PRO DACチップ用のディスクリット超低ノイズ・レギュレーターを作成しました。Benchmark独自のこの機能により、傑出したES9028PROのノイズ性能をさらに向上させています。

差動アンプ

差動アンプは、D/Aコンバーター部の出力からコモンモード歪み成分を除去します。この機能は、下流側の機器で低い歪みを達成するために重要なものです。

Benchmarkは、パワーアンプやその他の接続機器に歪みを引き起こさないよう、コモンモード歪みの問題を解決します。このコモンモード歪みは、オーディオアナライザーによる精査の目をかいくぐり、可聴帯域の歪みを引き起こす可能性があります。DAC3のバランス出力とアンバランス出力は、酷似した性能を示しています。

多くのD/Aコンバーターでは、D/A変換部の後段に置く差動増幅器を省略します。仕様では通常、コモンモード歪みは無視されます。高性能なオーディオアナライザーに正確なバランス信号を供給すると、高いコモンモード歪みを伴ったバランス出力信号が問題なく計測されるのですが、下流側機器にアンバランスがあると、コモンモード歪みが実際の歪み成分として現れてきます。

高いジッター耐性のUltraLock3™

UltraLock3™は、DAC2で使用されるUltraLock2™クロックシステムの改良版です。新しいUltraLock3™システムは、以前のUltraLock2™、UltraLock™システムよりも短い時間でロックすることが可能になります。DSP処理は32ビット、DSPのヘッドルームは3.5dB、サンプリング周波数は211kHzで、ジッターによって誘発される歪みとノイズは、音楽のレベルより少なくとも160dB低く、聴覚のしきい値をはるかに下回っています。

BenchmarkのUltraLock3™システムは、瞬時のロックが可能だけでなく、すべての可聴ジッターノイズを除去します。

ジッター除去の重要性

正確な24ビットオーディオ変換には、非常に低ジッターの変換クロックが必要です。ジッターによって24ビットコンバーターの性能を16ビットコンバーターかそれより低いレベルしてしまいます。クロックジッターが適切に対処されていないなら、24ビットコンバーターを購入しても全く意味がありません。

ジッターはすべてのデジタルオーディオインターフェースに存在します。このタイプのジッターは「インターフェースジッター」と呼ばれ、細心の注意を払って設計されたオーディオ機器にすら存在します。

インターフェースジッターは、1つのデジタル機器から次のデジタル機器にケーブルを介してデジタル信号を伝送するときに蓄積されます。典型的なシステムでインターフェースジッターを測定すると、正確な24ビット変換の最大許容レベルよりも10~10,000倍高いことがわかります。幸いなことに、アナログ/デジタルコンバーター (A/D) の変換クロック、デジタル/アナログコンバーター (D/A) の変換クロック、または 非同期サンプルレートコンバーター (ASRC) のレート推定器に影響を及ぼさない限り、インターフェースジッターはオーディオ信号には全く無害なものです。

多くのD/Aコンバーターは、単段のフェーズロックループ (PLL) 回路を使用して、AES/EBU、ワードクロック、またはスーパークロック基準信号から変換クロックを取得します。単段PLL回路は、5kHzより上ではジッターの減衰ができますが、5kHz以下ではジッターの減衰ができません。しかし残念ながら、デジタルオーディオ信号には、多くの場合、2kHzに最も強いジッター成分が存在します。

その結果、このようなD/Aコンバーターは、非常に低いジッターソースから駆動され、非常に短いケーブルを介して駆動された場合にのみ、定格性能を達成することができます。単段PLLを備えたD/Aコンバーターが、一般的な設置環境で16ビットを超える性能を達成できる可能性はほとんどなく、ほとんどの設置状況で仕様上の性能より著しく低下する可能性があります。

優れたD/Aコンバーターは、多くの場合、2ステージPLL回路を使用して、より多くのインターフェースジッターをフィルターで除去します。理論的には、2ステージPLLを使用することで、ジッターを十分に除去して正確な24ビット変換を実現でき、実際にそのようなD/Aコンバーターは存在します。しかし、すべての2ステージPLL回路がそれと同等に設計されているわけではありません。

多くの2ステージPLLは、低周波ジッター成分を十分に除去することができません。さらに、2ステージのPLL回路では、受信した信号にロックするのに数秒かかることがよくあります。ジッターが高過ぎる場合や基準サンプリング周波数がドリフトした場合、2段PLL回路はロックに失敗することがあります。

UltraLock™を搭載したD/Aコンバーターは、2ステージPLL搭載D/Aコンバーターのジッター減衰性能を超え、ほぼ瞬時のロックを実現しています。2段PLL設計では解決が難しい「ロックが遅い」や「ロックできない」という問題はありません。UltraLock™搭載D/Aコンバーターは、すべての動作条件下でインターフェースジッターに対して非常に高い耐性を持っています。

UltraLock™システムは非常に効果的です。DAC3の入力信号が高レベルのインターフェースジッターにさらされている状態で、Audio Precision製高性能オーディオアナライザー System 2 Cascadeを使用してもジッターノイズを検出できませんでした。このシステムには測定限界として-144dBFSという低いノイズレベルをも検出できる能力がありますが、2Hzから200kHzに渡り12.75UIもの高いジッター振幅があるにもかかわらず、何も検出できませんでした。DAC3のAES/EBUレシーバーでデコードできるAES/EBU信号は、測定可能なジッターノイズが無い状態で再生されます。

BenchmarkのUltraLock™テクノロジーは、ジッターに起因するパフォーマンス低下の問題を解決します。UltraLock™テクノロジーは、変換クロックをデジタルオーディオインターフェースのクロックから分離します。D/Aでのデジタルオーディオ入力またはA/Dでのリファレンス入力のジッターは、UltraLock™搭載D/Aコンバーターの変換クロックに測定可能なレベルの悪影響を与えることはありません。UltraLock™搭載D/Aコンバーターでは、変換クロックが基準クロック信号にフェーズロックされることはありません。その代わりに、D/Aコンバーターのオーバーサンプリング比を非常に高い精度で変化させることで、基準クロックとの適切な位相関係を実現しています。UltraLock™システムではクロック分離によって、インターフェースジッターがオーディオ変換の品質を低下させることはありません。仕様上の性能を一貫して、様々な品質レベルのケーブルを使用するどのような設置環境でも、仕様上の性能を一貫して再現可能です！

変換クロックジッターがD/A変換性能をどのように劣化させるか？

問題#1：ジッターはオーディオ信号を位相変調します。この変調により、オーディオ信号に含まれるすべての音の成分の周波数の上下にサイドバンド（不要な音の成分）ができてしまいます。さらに悪いことに、これらのサイドバンドは、元信号の音の成分から遠く離れた帯域にしばしば現れます。

ジッター由来のサイドバンドは、元のオーディオ信号と高調波の関係にはないため、本来音楽的なものではありません。さらに、これらのサイドバンドは、元の音の成分の周波数の上下に遠く離れて出現するため、マスキング効果が不十分で、容易に聞き取ることができます。多くの点で、ジッター歪みは相互変調歪み（IMD）に似ています。IMDと同様に、ジッター歪みは、高調波歪みよりもはるかに聴き取ることが用意で、THD測定で示されるものより簡単に捉えることができます。

ジッターは、元のオーディオ信号に対し高調波の関係にない「新しいオーディオ信号」を作ります。この「新しいオーディオ信号」は想定外のものであり、不要なものです。この偽信号によって本来あるべきステレオイメージが失われたり、元のオーディオ信号にはなかった中低域の「濁り」が加わってしまう可能性があります。

D/Aコンバーターが大振幅の純音を再生している間に、ジッターによって引き起こされるサイドバンドをFFTアナライザーで測定することができます。通常はフルスケールの10kHzテストトーンを使用して、ジッターによって誘発されるサイドバンドの存在の有無をテストしています（グラフ16を照）。このFFT解析結果では、DAC3にはジッターによって誘発されるサイドバンドがなく、テストトーンのレベルに対して測定限界が約-144dBであることを示しています。このグラフは、100Hz～100kHzの範囲の31の異なるジッター成分にさらされたときのDAC3の出力特性をプロットしています。31の出力スペクトルはすべて同一であり、ジッターによる歪みの兆候はありません。

問題#2：ジッターは、オーバーサンプリングコンバーターのアンチエイリアスフィルターを著しく劣化させる可能性があります。これはあまり知られていませんが、簡単に測定できるものです。ほとんどのD/Aコンバーターは、高いオーバーサンプリング比で動作します。こうすることで、比較的性能の低いアナログアンチエイリアスフィルターの代わりに、高性能デジタルアンチエイリアスフィルターを使用することができます。理論的には、デジタルアンチエイリアスフィルターは非常にシャープなカットオフ特性を持ち、可聴帯域内オーディオ信号にほとんど悪影響を与えません。デジタルアンチエイリアスフィルターは通常、少なくとも100dBの遮断帯域減衰ができるように設計されています。ただし、デジタルフィルターは、サンプル間の時間間隔が常に一定であるという数学的仮定の下に設計されています。残念ながら、A/D変換またはD/A変換のクロックジッターによって、サンプル間の時間的な間隔は変化してしまいます。この変化によって、これらの注意深く設計されたフィルターの性能は変化します。少量のジッターでも遮断帯域での性能を著しく低下させ、フィルターがエイリアシング防止に役に立たなくなる可能性があります。

デジタルアンチエイリアスフィルターの分り易い機能は、周波数が高すぎて選択したサンプリング周波数では表

現できない音の成分を除去することです。やや判り難い機能は、D/Aコンバーターの筐体内部、またはDACチップ内部で発生する高周波信号の除去です。この高周波信号は、デジタル信号とアナログ信号間のクロストークの結果発生したものであり、配慮が不十分なシステムでは大振幅になる可能性があります。理想的な（低ジッター）条件下では、低い（オーディオ）周波数に折り返しノイズとして出現する前に、デジタルアンチエイリアスフィルターはこの不要なノイズのほとんどを除去することができます。この高周波クロストークの問題は、ジッターの存在に気付かなければ、明らかにならない可能性があります。

24kHzから少なくとも200kHzまでのトーンスイープを入力してD/Aコンバーターの出力をモニタリングすることで、遮断帯域の減衰を非常に簡単に測定することができます。

UltraLock™ 搭載D/Aコンバーターをテストする

弊社では、お客様にUltraLock™搭載D/Aコンバーターで上記のテストを実行することをお勧めします。あるいは、ご自身の耳を裁判官として使用してください。UltraLock™搭載D/Aコンバーターのデジタル入力にジッターが加わっても、性能にまったく変化はありません。従来型の単段または2ステージPLL回路を搭載しているコンバーターでも同じテストを試してください。テストは、さまざまなレベルのジッターとさまざまなジッター周波数で実行する必要があります。結果は非常に啓発的なものになるはずですが、ジッター関連の問題は、A/DおよびD/Aデバイスに聞き取ることができ、測定可能な悪影響をもたらします。デジタルオーディオの実践者たるものは、この問題を理解する必要があります。

デジタルオーディオシステム全体でジッターの影響を完全に排除することは可能か？

最も慎重に設計されたデジタルオーディオシステムであっても、インターフェースのジッターは蓄積されます。幸いなことに、A/D変換またはD/A変換部のサンプリング回路に影響を与える場合だけ、インターフェースのジッターがデジタルオーディオ信号を劣化させる可能性があります。A/DまたはD/Aの外側でジッターを修正しようとしても、費用が掛かる上に、ジッターノイズを部分的減少させることしかできません。ジッターを低減するために、専用クロック信号（ワードクロック、スーパークロックなど）をA/DコンバーターやD/Aコンバーターに送ることがよくありますが、繰り返しになりますが、ジッターはこうしたクロック分配システムにも蓄積されるため、部分的なソリューションにすぎません。さらに、D/Aコンバーターのパフォーマンスが基準クロックの品質に依存している場合に低品質のマスタークロックジェネレーターを使用すると、システム全体のパフォーマンスを低下させる可能性もあります。「ジッターのない」A/DおよびD/Aコンバーターこそが、ジッターの悪影響に対する唯一無二の対策です。UltraLock™搭載D/Aコンバーターは、あらゆる動作条件下でジッター耐性があり、オーディオ信号にジッター由来のノイズが追加されることは決してありません。

UltraLock™ 搭載D/Aコンバーターでもできないことは？

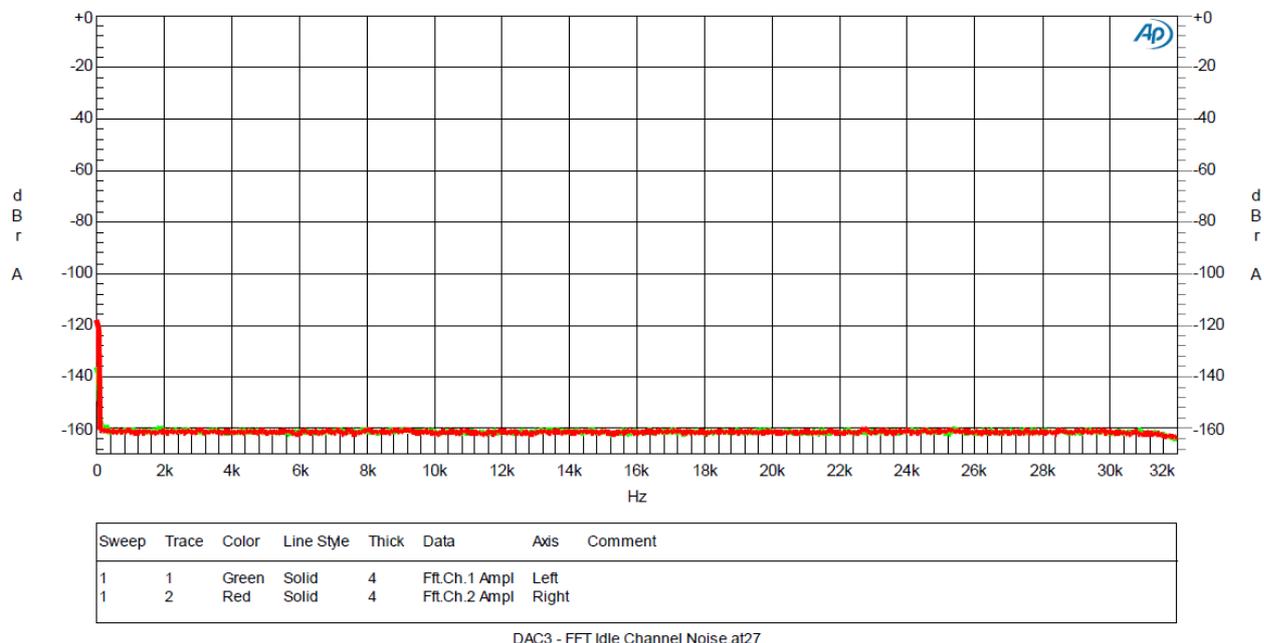
UltraLock™搭載D/Aコンバーターは、すでにできてしまった損傷を元に戻すことはできません。ジッターの問題のあるA/Dコンバーターを使用してデジタルオーディオ信号を作成した場合、A/Dコンバーターの内部で発生したジッターによって誘発された歪みを取り除く方法はありません。

ジッターによって引き起こされるサイドバンドは非常に複雑で、既存のオーディオ機器では削除することはできません。したがって、オーディオチェーンの両端でジッターに対処することが非常に重要です。さまざまなA/Dコンバーターの正確な評価を可能にする素晴らしい出発点がDAC3です。優れたD/Aコンバーターがなければ、A/Dコンバーターの性能を音で評価することは不可能です。DAC3の一貫した性能により、ジッターという1つの大きな変数がなくなるのです。

3. 性能測定データ

Audio Precision

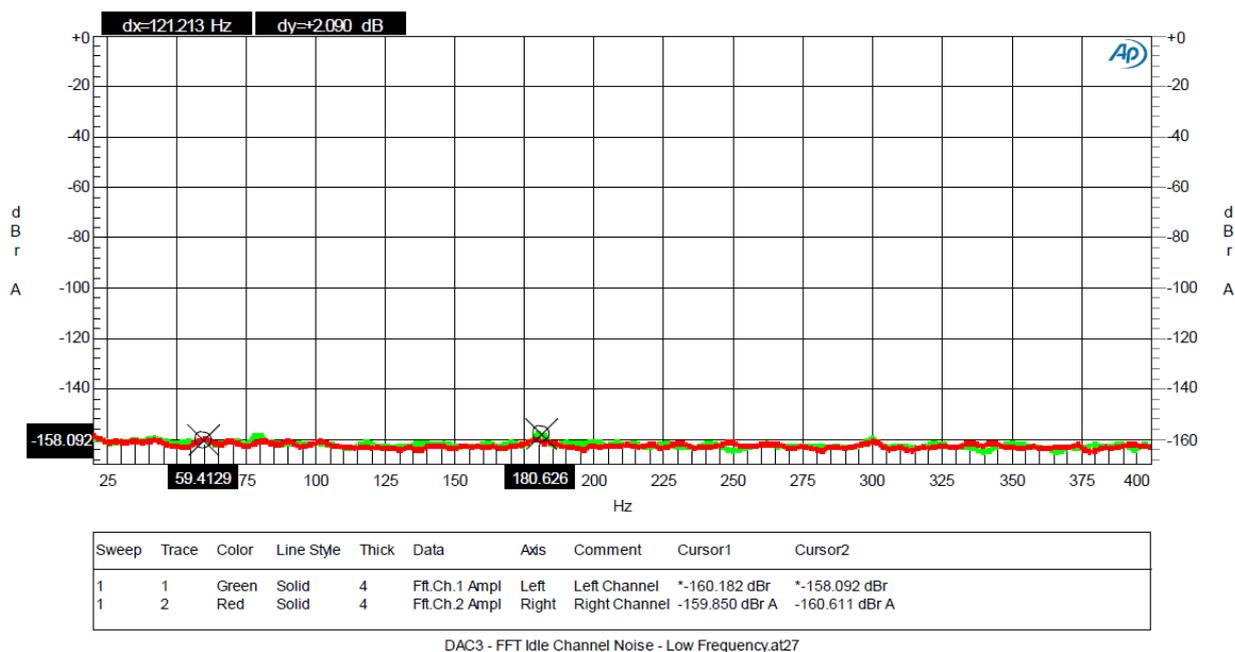
DAC3 - FFT Idle Channel Noise at Max Gain, 0 dBr = 0 dBFS = 27.5 dBu



グラフ 1：アイドルチャンネルノイズのFFT解析

DAC3の並外れた性能は、上記のFFTプロットで示されています。ACハムの兆候はなく、アイドルトーンは観測されず、測定限界の -160dBFSまででスプリアストーンも検出されていません。

0Hzでの上昇はFFT分析では正常な挙動で、ノイズを示すものではありません。この32kポイントのFFT分析では、16回のパワー・アベレージングによるBlackman-Harris窓を使用し、DCから32kHzの周波数レンジをカバーしています。

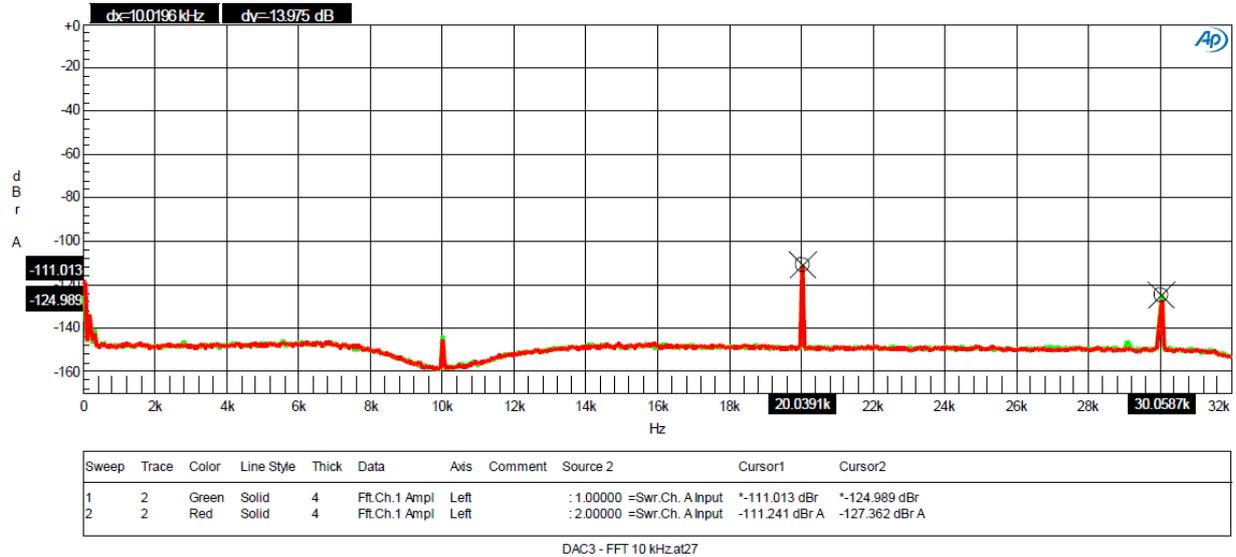


グラフ 2 : AC由来のハムに関する低周波数域のFFT解析

DAC3には、約 -160dBFSの測定限界までACライン由来のハムノイズの形跡がありません。グラフ上のカーソルは60Hzおよび180Hzにセットされています。(60HzはAC電源からの干渉が予想される周波数。)

アイドルチャンネルのノイズスペクトルでは、ACハムの兆候はまったくありません！フル出力でも、これらのACラインに関連する周波数は依然として-133dBよりも優れています(グラフ4を参照)。

このグラフは、スイッチング電源の優位性の1つを示しています。DAC3のスイッチング電源は、オーディオ帯域を超える周波数で動作するため、ライン周波数で駆動される電源トランスで生成される強力なライン周波数磁場が発生しません。

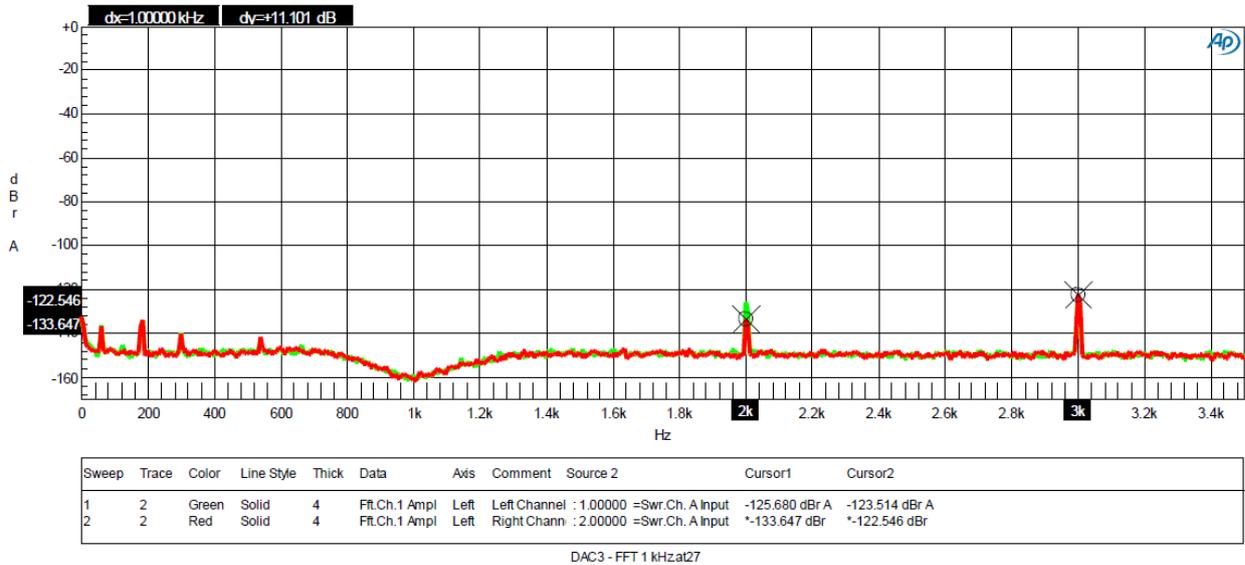


グラフ 3 : 10kHzテストトーンによるFFT解析

10kHzのFFT解析は、クロックジッターを検出するためのテストとして優れています。ジッターによって、10kHzテストトーンの上にサイドバンド（不要な音の成分）ができます。たとえば、1kHzのジッター周波数によって9kHzと11kHzの2つのサイドバンド成分ができます。同様に、2kHzのジッター周波数によって8kHzと12kHzのサイドバンド成分ができます。しかし、上の測定データは、10kHzテストトーンの振幅に対して測定限界の約 -149dBのまでジッターによって誘発されたサイドバンドの形跡が観測されていません。

非常に低い高調波歪みに注目してください。2次高調波（20kHz）は -111dB、3次高調波（30kHz）は -125 ~ -127dBという低い値です。

この32kポイントのFFT解析では、16回のパワー・アベレージングによるBlackman-Harris窓を使用しています。オーディオアナライザAP2722のA/Dコンバーターの分解能を上げるために、ノッチフィルターで10kHzの基本波を除去しています。

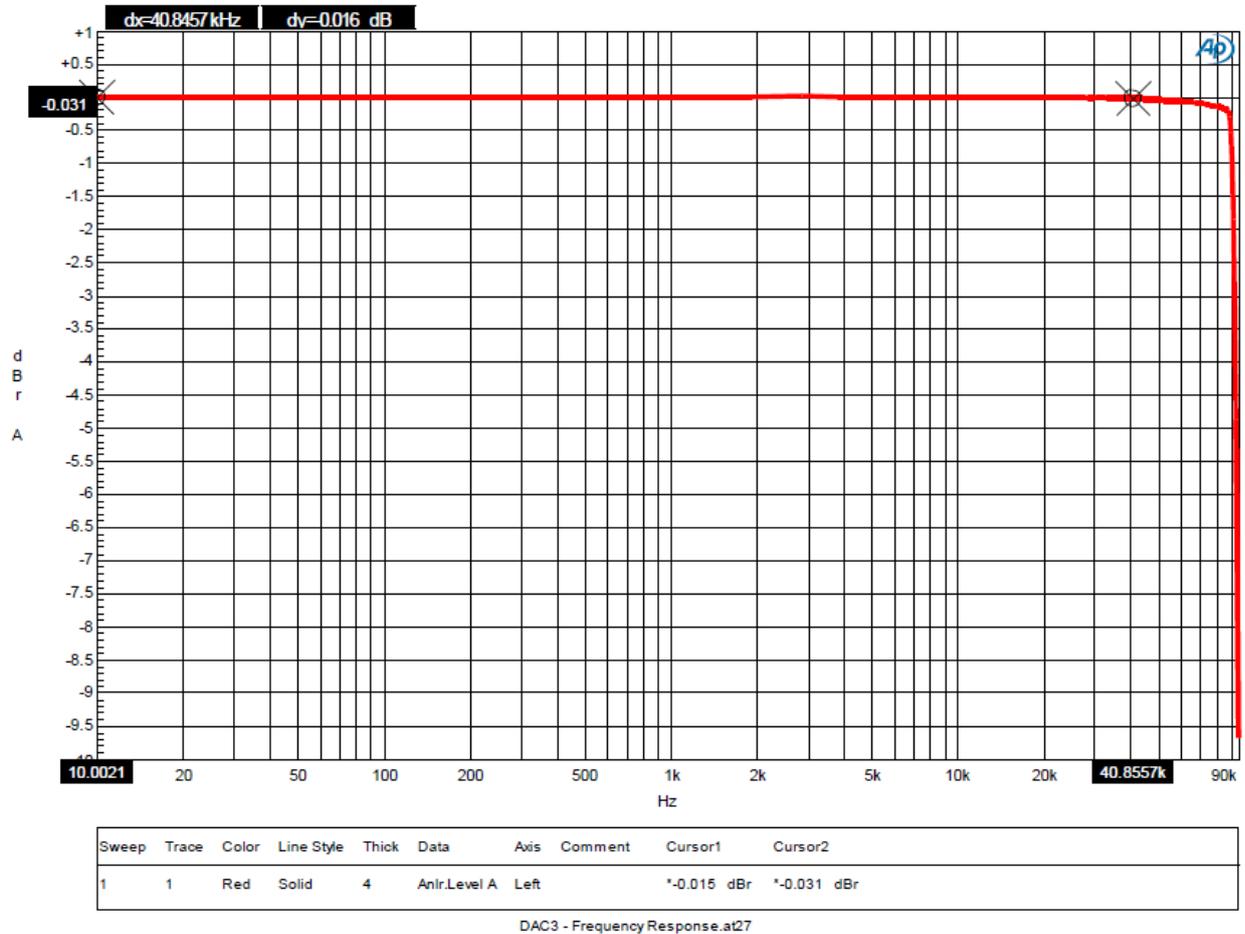


グラフ 4：1kHzテストトーンによるFFT解析

1kHzテストトーンによるFFT解析では、DAC3が非常に低い高調波歪みしかないことが観測されています。2次高調波歪み（2kHz）は -126dBよりも良く、3次高調波歪みは1kHzテストトーンの振幅に対して -122dBよりも良いことがわかります。

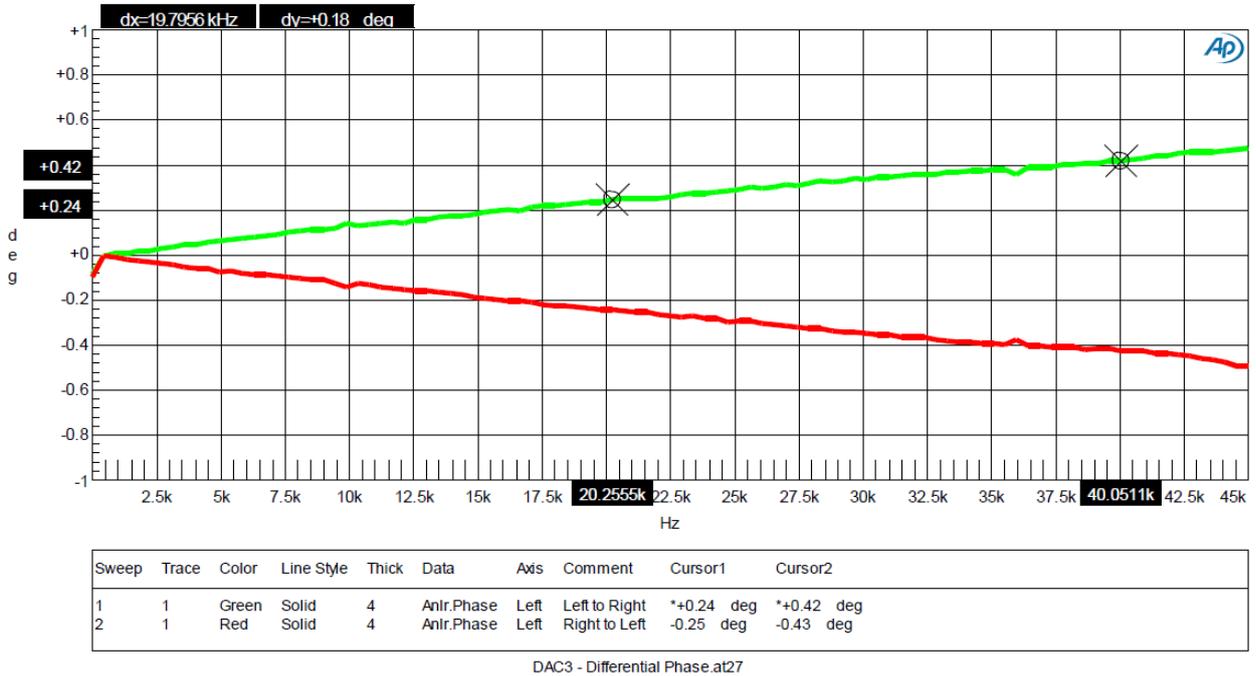
この32kポイントのFFT解析では、16回のパワー・アベレージングによるBlackman-Harris窓を使用しています。オーディオアナライザのA/Dコンバーターの分解能を上げるために、ノッチフィルタで1kHz基本波を除去しています。

フル出力状態で、ACライン由来のハム周波数（60Hz、180Hz、および240Hz）は -133dBよりも良いことに注目してください。



グラフ 5 : 周波数特性

この測定結果は、DAC3が定規のようにフラットな周波数特性を持つことを示しています。周波数特性の測定値は、10Hzで0.015dB、40kHzで -0.031dBです。DAC3は低域特性が極端に伸びているため、低周波数（20Hz付近）で発生しやすい位相シフトが実質的に発生しません。つまり、低域が高域成分に対して正しいタイミングでレンダリングされることを意味します。

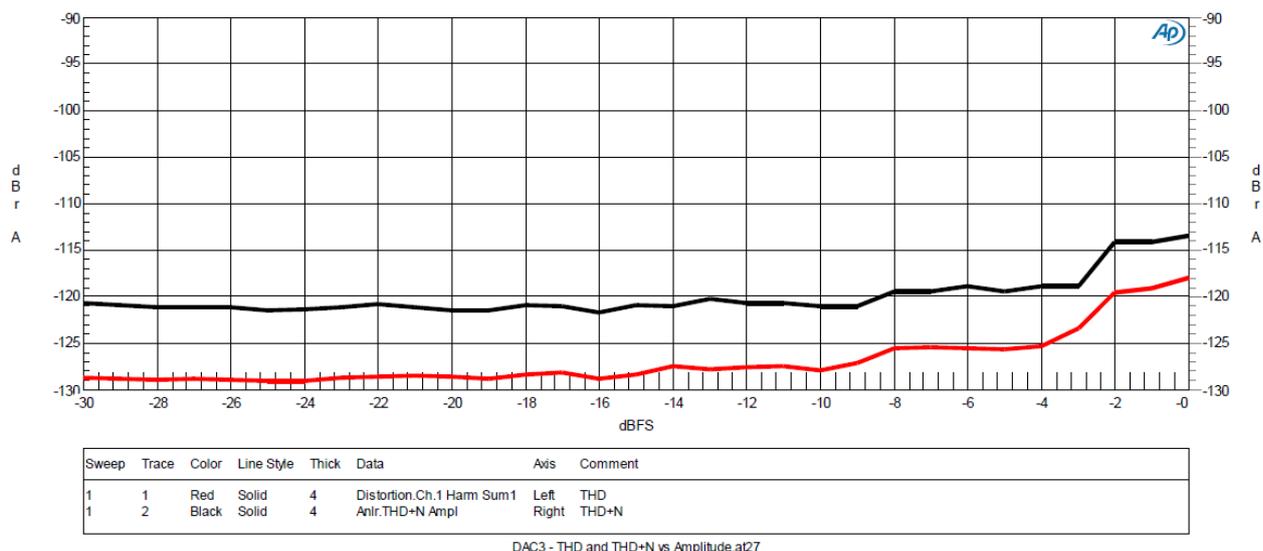


グラフ 6 : チャンネル間の位相差

この測定結果は、DAC3のチャンネル間の位相精度を示すものです。このグラフの縦軸は極端に広がっていますが、位相差は45kHzでわずか +/- 1° に過ぎません。この測定データから、チャンネル間位相精度は、20kHzで +/- 0.25° 、40kHzで +/- 0.43° と算出されます。

解説 : DAC3の位相精度は、オーディオアナライザ Audio Precision AP2722自身の位相精度に近い値です。このため、AP自身の位相差を測定値から差し引く必要があります。緑のトレースは、左チャンネルをAPのチャンネル1に、右チャンネルをAPのチャンネル2に入力したもので、赤のトレースは入力を逆にしたものです。APテストセットの位相差を取り除くには、この2つのトレースを平均化する必要があります。

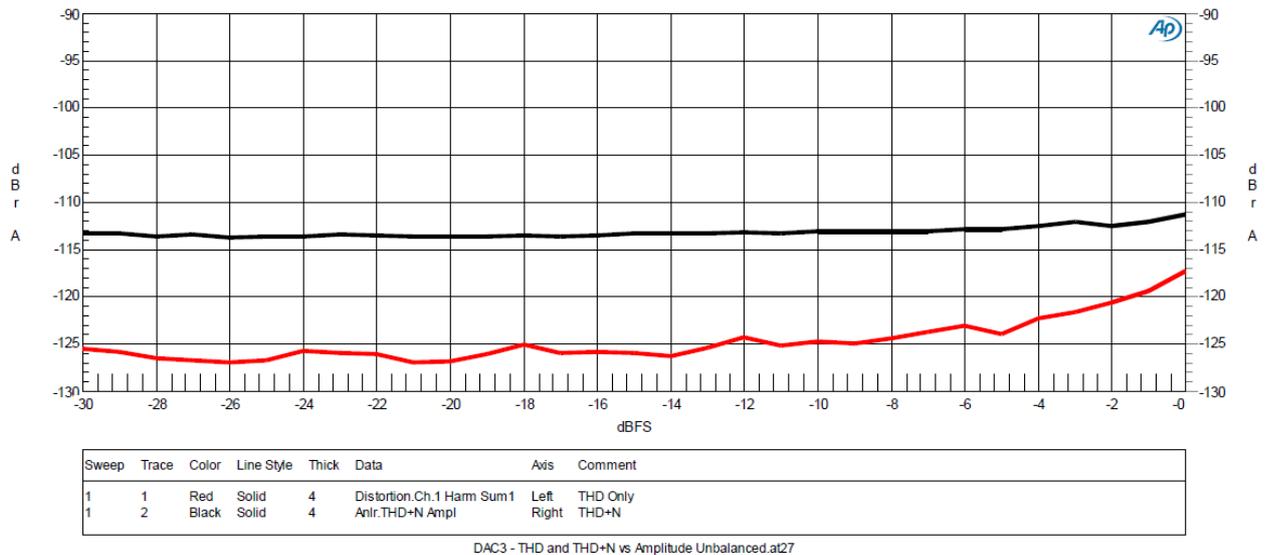
DAC3コンバーターは、ユニット間の位相整合も正確になっています。そのため、3台のDAC3をグループとして使用することで、正確な位相整合の5.1サラウンドシステムを、4台のDAC3を組み合わせて7.1システムを構築することができます。任意の2つのチャンネル間の位相精度は、上述した位相精度と一致します。



グラフ 7 : 振幅に対するTHDおよびTHD+N (バランス出力)

この測定結果は、デジタル入力信号レベルが-30dBFSから0dBFSの範囲で、DAC3は非常に低い高調波歪みが発生しないことを示しています。このデータは、ほとんどのリスニング環境でDAC3のTHDが聴覚のしきい値に達していない（つまり歪みを聞き取れない）ことを示しています。これは、DAC3には高調波歪みが実質的になく、ソースの持つ音色に対し無色透明であることを証明しています。

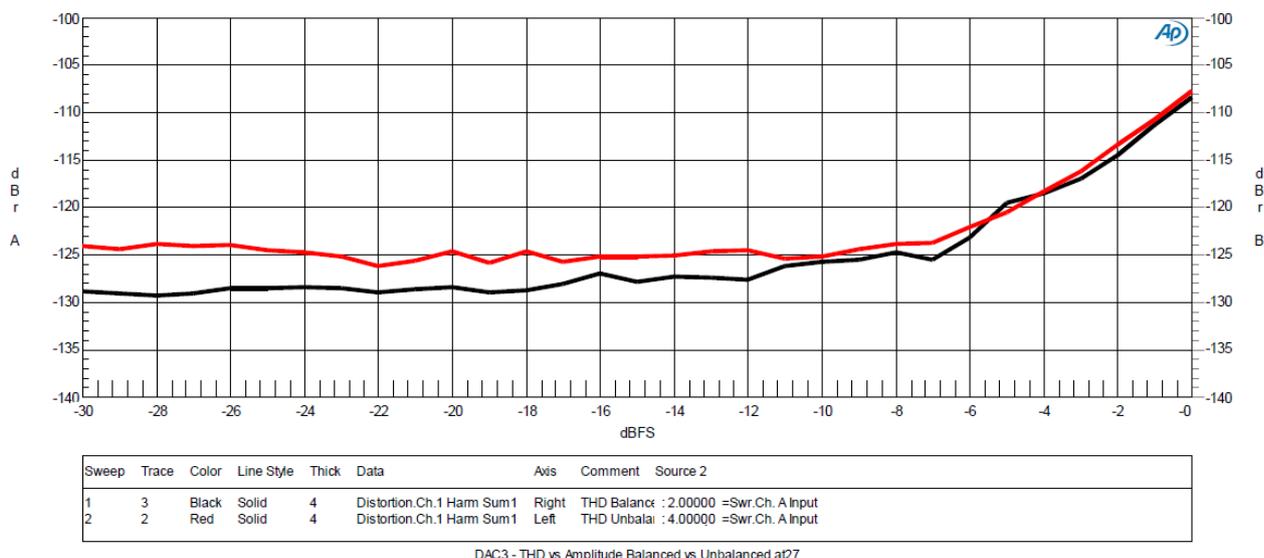
解説：黒のトレースはTHD + Nの測定結果で、帯域は22kHzに制限されており、オーディオアナライザー AP2722のアナログアナライザー機能を使って測定を行ったものです。赤のトレースはTHD（高調波歪みのみ）のプロットで、AP2722のアナログノッチフィルター、A/Dコンバーター、およびデジタル高調波歪みアナライザー機能を使って測定を行ったものです。このTHDトレースには、32kHzを下回るすべての高調波が含まれています。-3dBFSと-9dBFS付近に見られる段差は、AP2722のオートレンジ調整機能によるものであり、DAC3のTHD性能がAP2722の測定限界に非常に近いことを示しています。



グラフ 8：振幅に対するTHDおよびTHD+N（アンバランス出力）

このプロットは、アンバランス出力のTHDおよびTHD+N特性を示しています。

アンバランス出力のTHD特性がバランス出力に近いことに注目してください。アンバランス出力では、THD+Nレベルがわずかに高くなりますが、これはアンバランス接続で使用される信号レベルが比較的低い（2Vrms）ためです。両出力のノイズレベルの差は、プロ用出力レベルのバランス接続の優位性を際立たせているとも言えます。



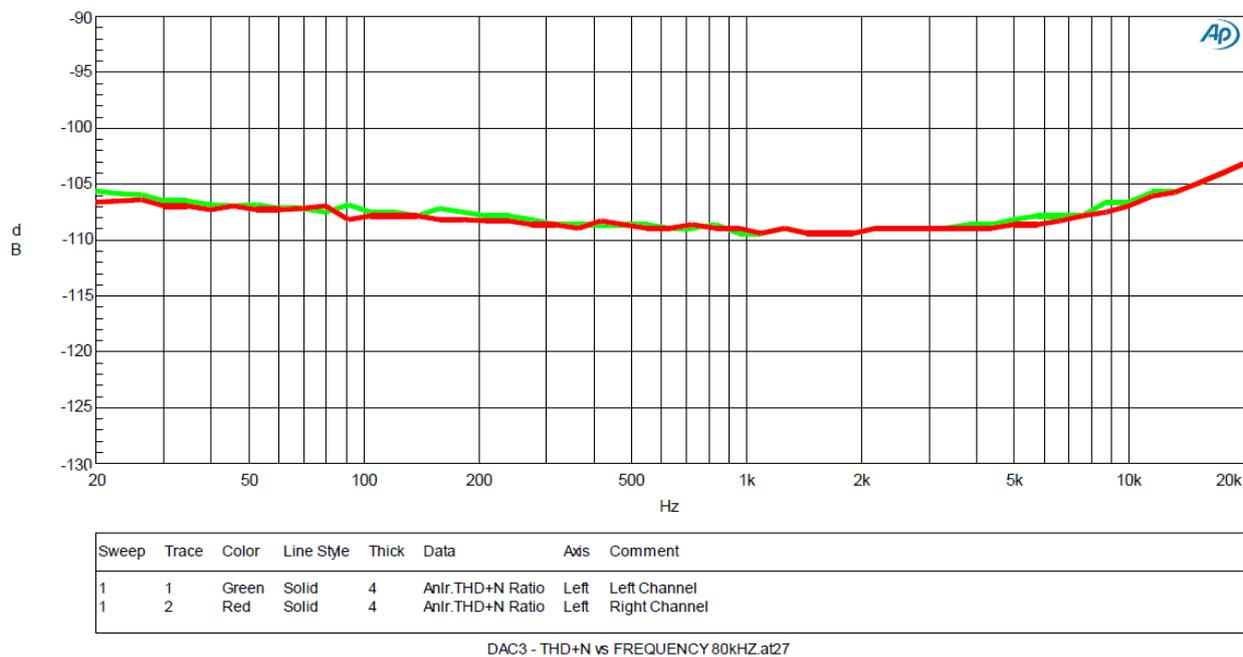
グラフ 9：振幅に対するTHD（バランス出力とアンバランス出力の比較）

この測定結果は、DAC3のバランスアナログ出力とアンバランスアナログ出力のTHD特性が非常に似ていることを示しています。アンバランス出力（赤のトレース）は、高信号レベルのバランス出力（黒のトレース）の特性とほぼ一致しています。-10dBFS未満の信号レベルで2つのトレースに差があるのは、バランス接続のSN比の方が高いことによるものです。0dBFSでは、バランス接続は+24dBu（12.28Vrms）にキャリブレーションされ、アンバランス接続では+8.24dBu（2Vrms）にキャリブレーションされています。バランス接続は、高い信号レベルにより、高いSN比を実現することが容易です。これは、Benchmarkがバランス接続を推奨する理由の一つです。

DAC3は、SABLE-PRO DACチップのバランス出力から共通モードを排除する差動アンプを内蔵しています。この差動アンプによってアンバランス出力をバランス出力のTHD性能に近づけることができます。この差動アンプはバランス出力の共通モード歪みを除去することにも注目してください。

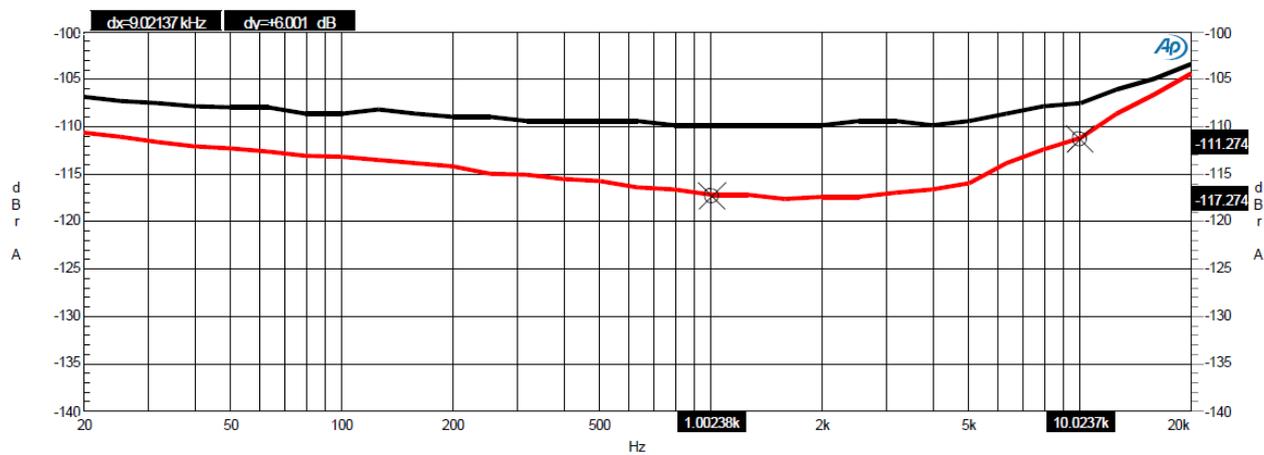
最高品質のDACチップ（ES9028PROなど）は、バランス出力を備えています。バランス出力は、後段に高精度の差動アンプを使用することでTHDを大幅に減少させることができます。DAC変換チップは共通モード歪み成分を発生する傾向がありますが、差動アンプによってそれを除去することができます。DAC3では、ES9028PROの出力の後段に高精度差動アンプを使用しています。多くの競合製品は、この差動アンプを省略していますが、差動アンプを省略するとアンバランス出力のTHDははるかに高くなります。この差動アンプは、正確にトリム調整されていないバランス入力信号をバランス出力が駆動している場合でも、システムパフォーマンスを向上させることができます。

上述したTHD測定結果により、DAC3の差動アンプの有効性を確認できます。バランス出力の+/-のいずれかのグラウンドに対するTHDを測定することで、さらに確認することができます。



グラフ 10：周波数に対するTHD+N（80kHzローパスフィルター）

DAC3のアナログ出力ステージは、スルーレートが高く、0dBFSで駆動された場合でも、高域で低いTHDレベルを維持することができます。最大出力レベルで動作しても、THD+Nは20kHzで非常に低い状態を維持していることに注目してください。

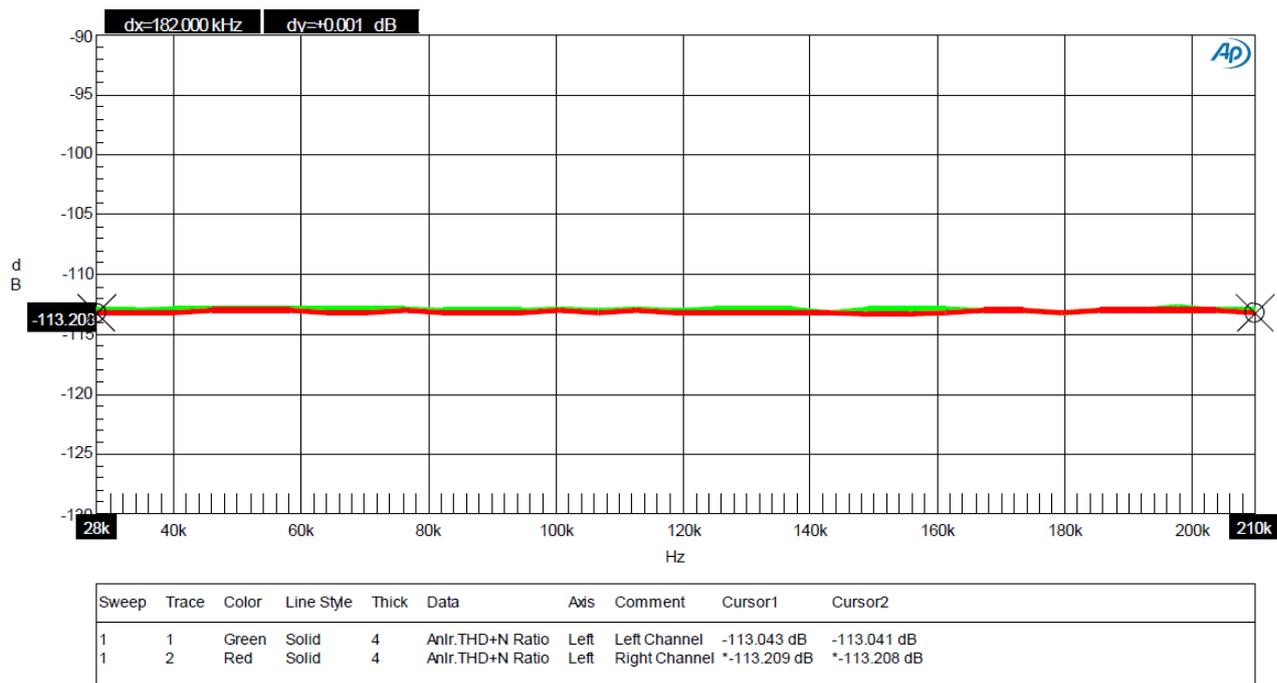


Sweep	Trace	Color	Line Style	Thick	Data	Axis	Comment	Cursor1	Cursor2
1	1	Black	Solid	4	Anlr.THd+N Ampl	Left	THD+N, 80 kHz-109.838 dB Br A	-107.584 dB A	
1	2	Red	Solid	4	Distortion.Ch.1 Harm Sum1	Right	THD, 48 kHz LP*-117.274 dB Br	-117.274 dB Br	

DAC3 - THD and THD+N vs Frequency Digital to Analog.at27

グラフ 11：周波数に対するTHDおよびTHD+N

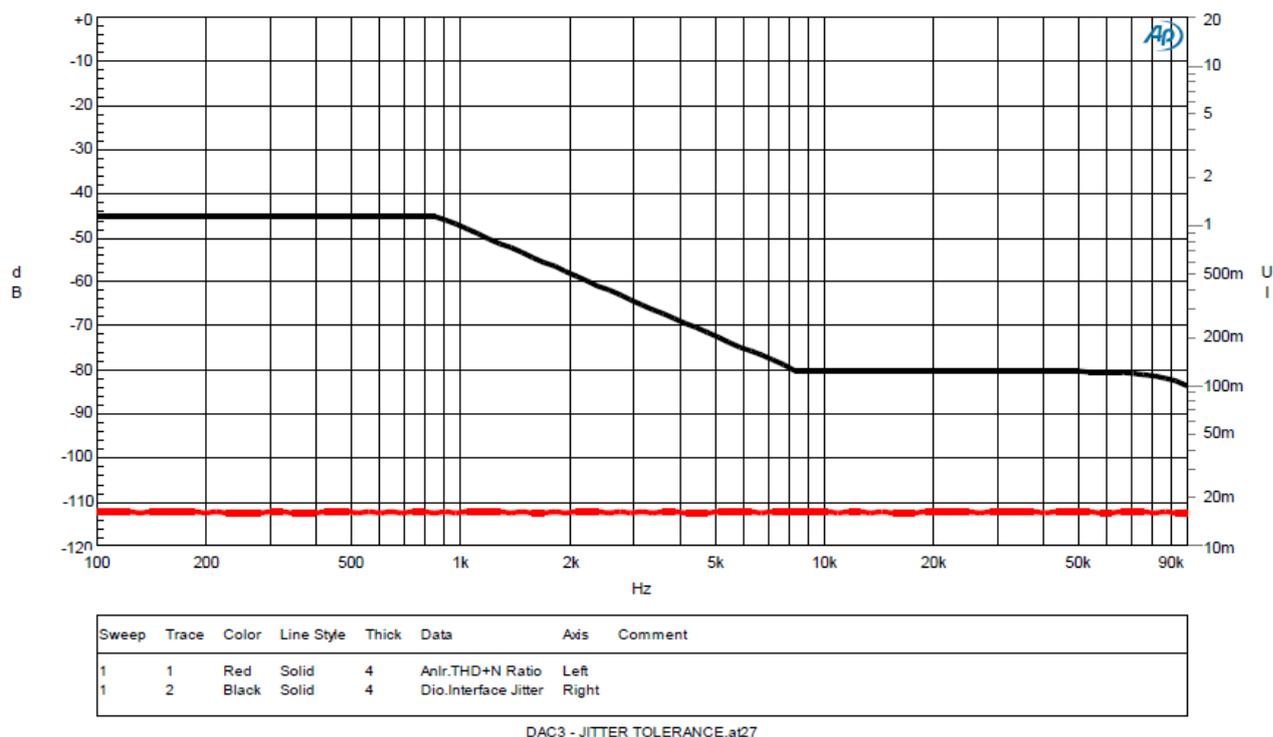
この測定結果は、DAC3の高調波歪みがTHD+Nの数値が示唆するよりも低いことを示しています。この黒のトレースはTHD+Nで、赤のトレースはTHDのみのプロットです。約10kHz未満では、THDが非常に低いため、THD+N測定結果はノイズが支配的になっています。



DAC3 - THD+N vs Sample Rate.at27

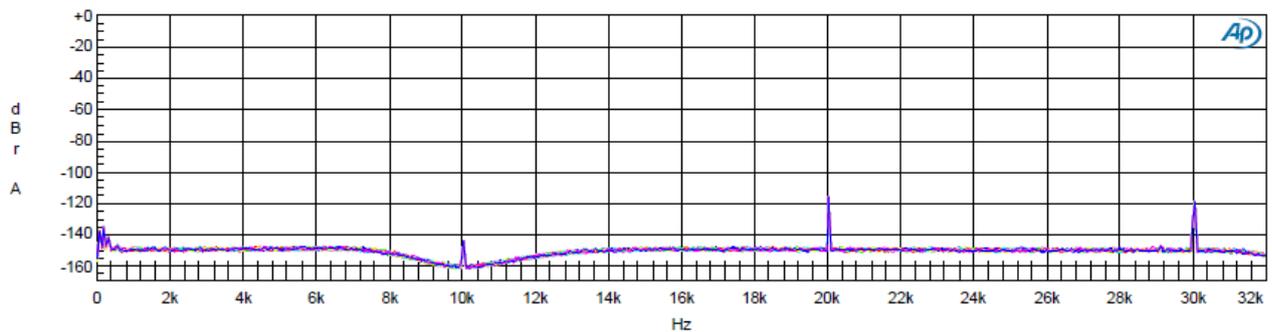
グラフ 12 : サンプリング周波数に対する THD+N

DAC3のTHD+N性能は、すべてのサンプリング周波数で一致しています。



グラフ 13：ジッター耐性

Audio Engineering Society (AES) は、デジタルオーディオ機器をテストするためのジッター許容テンプレートを作成しました。黒のトレースは、AESのジッター許容テンプレート（右側の縦軸）を示しています。誘導ジッターは200Hzで5UIに近づき、8kHzを超えると0.125UIに減少します。赤のトレースは、黒のトレースで示されているジッターで駆動されているときのDAC3のTHD+N（左側の縦軸）を示しています。AESのジッター耐性テストの全範囲にわたって、DAC3のTHD+N性能は変化していません。DAC3は、何の性能低下もなく、AESジッター耐性テストに簡単に合格しています。



Sweep	Trace	Color	Line Style	Thick	Data	Axis	Comment	Source 2
1	2	Blue	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 100.000 Hz=Dio.Jitter Freq
2	2	Cyan	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 125.893 Hz=Dio.Jitter Freq
3	2	Green	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 158.489 Hz=Dio.Jitter Freq
4	2	Yellow	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 199.526 Hz=Dio.Jitter Freq
5	2	Red	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 251.189 Hz=Dio.Jitter Freq
6	2	Magenta	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 316.228 Hz=Dio.Jitter Freq
7	2	Blue	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 398.107 Hz=Dio.Jitter Freq
8	2	Cyan	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 501.187 Hz=Dio.Jitter Freq
9	2	Green	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 630.957 Hz=Dio.Jitter Freq
10	2	Yellow	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 794.328 Hz=Dio.Jitter Freq
11	2	Red	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 1.00000 kHz=Dio.Jitter Freq
12	2	Magenta	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 1.25893 kHz=Dio.Jitter Freq
13	2	Blue	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 1.58489 kHz=Dio.Jitter Freq
14	2	Cyan	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 1.99526 kHz=Dio.Jitter Freq
15	2	Green	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 2.51189 kHz=Dio.Jitter Freq
16	2	Yellow	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 3.16228 kHz=Dio.Jitter Freq
17	2	Red	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 3.98107 kHz=Dio.Jitter Freq
18	2	Magenta	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 5.01187 kHz=Dio.Jitter Freq
19	2	Blue	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 6.30957 kHz=Dio.Jitter Freq
20	2	Cyan	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 7.94328 kHz=Dio.Jitter Freq
21	2	Green	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 10.00000 kHz=Dio.Jitter Freq
22	2	Yellow	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 12.5893 kHz=Dio.Jitter Freq
23	2	Red	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 15.8489 kHz=Dio.Jitter Freq
24	2	Magenta	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 19.9526 kHz=Dio.Jitter Freq
25	2	Blue	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 25.1189 kHz=Dio.Jitter Freq
26	2	Cyan	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 31.6228 kHz=Dio.Jitter Freq
27	2	Green	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 39.8107 kHz=Dio.Jitter Freq
28	2	Yellow	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 50.1187 kHz=Dio.Jitter Freq
29	2	Red	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 63.0957 kHz=Dio.Jitter Freq
30	2	Magenta	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 79.4328 kHz=Dio.Jitter Freq
31	2	Blue	Solid	1	Fft.Ch.1 Ampl	Left		: 100.000 kHz=Dio.Jitter Freq

DAC3 - JITTER TOLERANCE FFT.at27

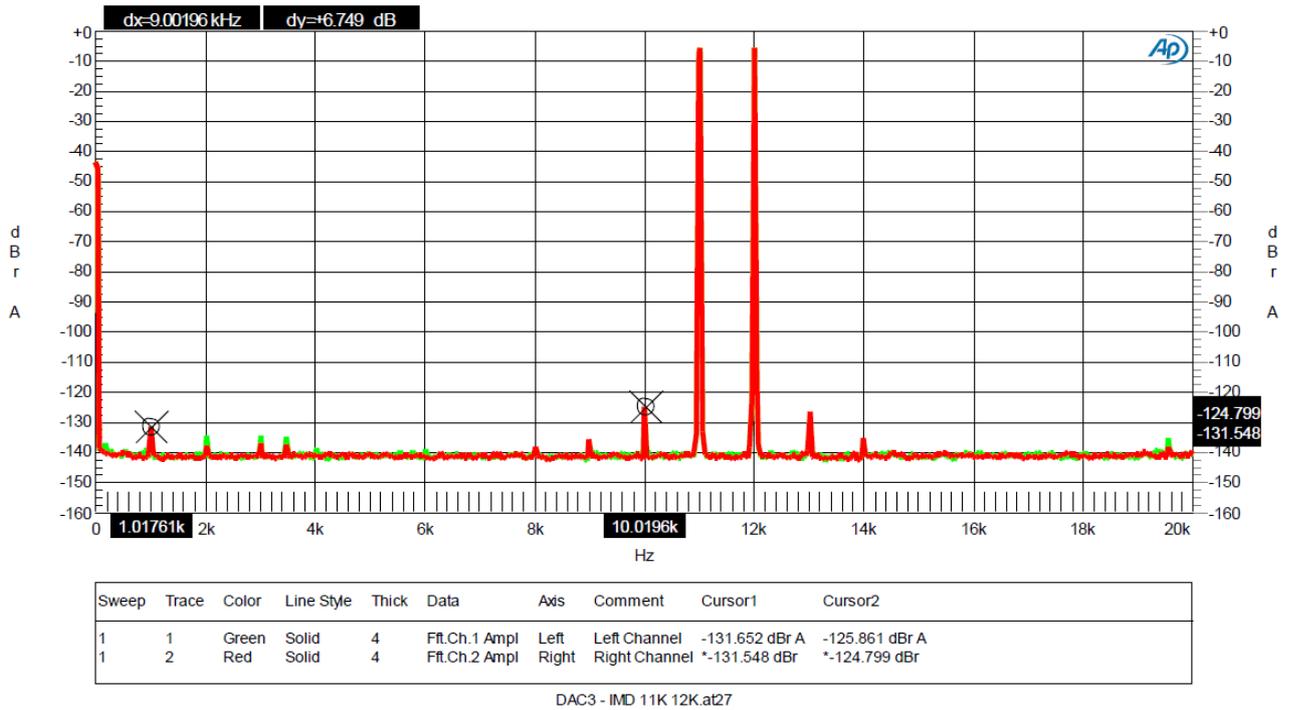
グラフ 14：ジッター耐性のFFT解析

このグラフは、AESジッター耐性テストの実行中に取得された一連のFFT解析結果を示しています。これはジッター耐性テスト結果として究極のものになっています。

31個のFFT解析点のいずれも、ジッターによって誘発されたサイドバンドの兆候を示していないことに注目してください。また、この解析結果は、グラフ3に示すプロットと全く同じであることに注目してください。

AESジッター耐性テストをデジタル入力に適用しても、DAC3の性能には何ら変化はありません。この測定では、ジッターに起因するサイドバンドはどこにも見られません。

この測定を非常に高分解能で行うには、10kHzの基本波をノッチフィルターで除去する必要があることに注意してください。基本波を除去しないと、オーディオアナライザーAP2722のA/Dコンバーターで発生したスプリアストーンによって、DAC3の「ほぼ完璧なテスト結果」を得ることができなくなります。



グラフ 15 : 11kHz, 12kHzによる相互変調歪み

この測定結果は、DAC3のIMD（相互変調歪み）が非常に低いことを示しています。1kHzに現れる周波数差分による歪みは -131dBとなり、10kHzおよび13kHzに現れた歪み成分は約 -125dBとなっています。しかし、実際のIMDの方はもっと良いかもしれません。なぜなら、上の測定結果は、オーディオアナライザAP2722の性能によって部分的に制限されているからです。

すべてのIMD歪み成分は、可聴レベルを十分に下回る必要があります。

MEMO

Revision A - 10/22/2018
Copyright © 2007, 2008, 2009, 2012, 2013,
2014, 2015, 2016, 2017, 2018

Benchmark Media Systems, Inc.
All rights reserved.

Benchmark Media Systems, Inc.

203 East Hampton Place, STE 2
Syracuse, NY 13206
USA

PHONE: +1-315-437-6300
FAX: +1-315-437-8119
benchmarkmedia.com


...the measure of excellence!™