

PCM1717シリーズの THD+N 対周波数特性とスペクトラム

概要

このアプリケーションノートはPCM1717シリーズのTHD+N対周波数特性に関して、内蔵デジタル・フィルタ特性との関係を示しながら、理論と実際について解説したものです。

このアプリケーションノートの内容は、PCM1717および基本アーキテクチャ（デジタル・フィルタ特性とDSDACの構成）が同じモデル、すなわちPCM1718、PCM1719（DAC出力）、PCM1720の各モデルにも適用されます。

デジタル・フィルタの基本特性

デジタル・フィルタの基本特性には主に4つの項目があります。これ

- (1) 通過帯域周波数
- (2) 通過帯域内リップル
- (3) 阻止帯域周波数
- (4) 阻止帯域減衰量は

の各特性であり、基本的にDACの帯域内特性に影響するものは上記の(1)および(2)で、(3)と(4)は帯域外特性なので直接THD+N特性等に関係するものではありません。しかし、測定条件によっては帯域外スペクトラムが測定帯域内に残留するため、THD+N特性テストにおいて見かけの測定値を悪くすることがあります。

図1にデジタル・フィルタの基本周波数特性を示します。ここでは8倍オーバー・サンプリングを例にしていますが、 $f_s/2$ の通過帯域に対して阻止帯域の減衰量は信号周波数によって異なります。

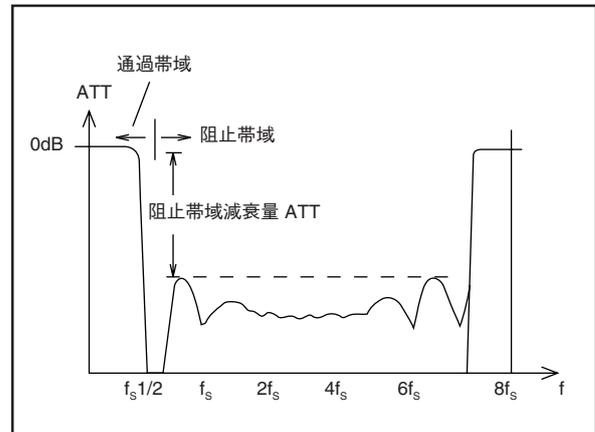


図1. デジタル・フィルタの減衰特性

信号周波数とサンプリング・スペクトラム

信号周波数を f_a とすれば、D/A変換におけるサンプリング・スペクトラムは $f_s \pm f_a$ となります。これはDACのアーキテクチャに関係なく、広くサンプリング理論として知られています。この様子を図2に示します。

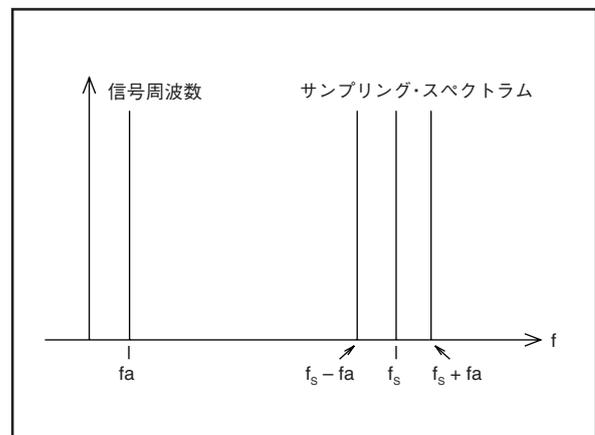


図2. サンプリング・スペクトラムの分布

デジタル・フィルタ特性によるサンプリング・スペクトラムの抑圧

実際のDACにおいては、オーバー・サンプリング・デジタル・フィルタとの組み合わせにより、サンプリング・スペクトラムのレベルはデジタル・フィルタの阻止帯域減衰量周波数特性によって決まります。

図3にこれらの関係を示します。今、図3に示すような阻止帯域減衰量周波数特性を持つデジタル・フィルタに信号 f_{a1} 、 f_{a2} を与えた場合、サンプリング・スペクトラムは $f_s \pm f_{a1}$ 、 $f_s = 2f_{a2}$ にそれぞれ分布します(信号帯域に近い方のみ表示)、 $f_s - f_{a1}$ および $f_s - f_{a2}$ の各周波数における減衰量が P_1 、 P_2 であれば各スペクトラムのレベルは P_1 、 P_2 となります。ここで注意しなければならないのは、信号周波数 f_a によって、この減衰量が全く異なることです。

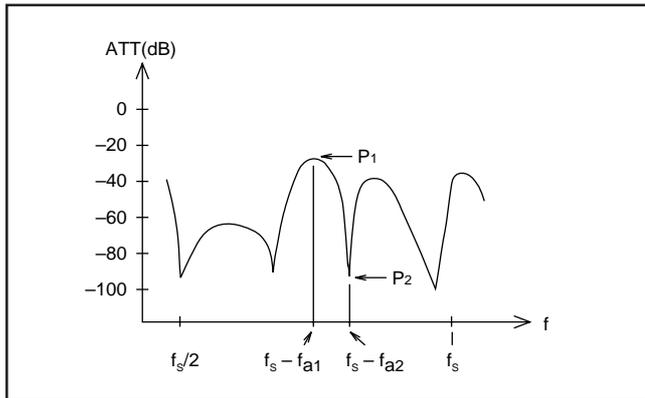


図3. デジタル・フィルタの減衰特性とスペクトラム

PCM1717シリーズのデジタル・フィルタ特性

PCM1717、PCM1718、PCM1719、PCM1720の各モデルに内蔵されているデジタル・フィルタの特性を図4に示します。スペック上の阻止帯域減衰量は $-35\text{dB}(\text{min})$ ですが、図4から分かるとおり、信号周波数によっては -80dB 以上の減衰量をもつ領域もあり、実際に信号周波数によってサンプリング・スペクトラムのレベルは大きく変化します。また、スペック上の阻止帯域は $0.555f_s$ となっています。

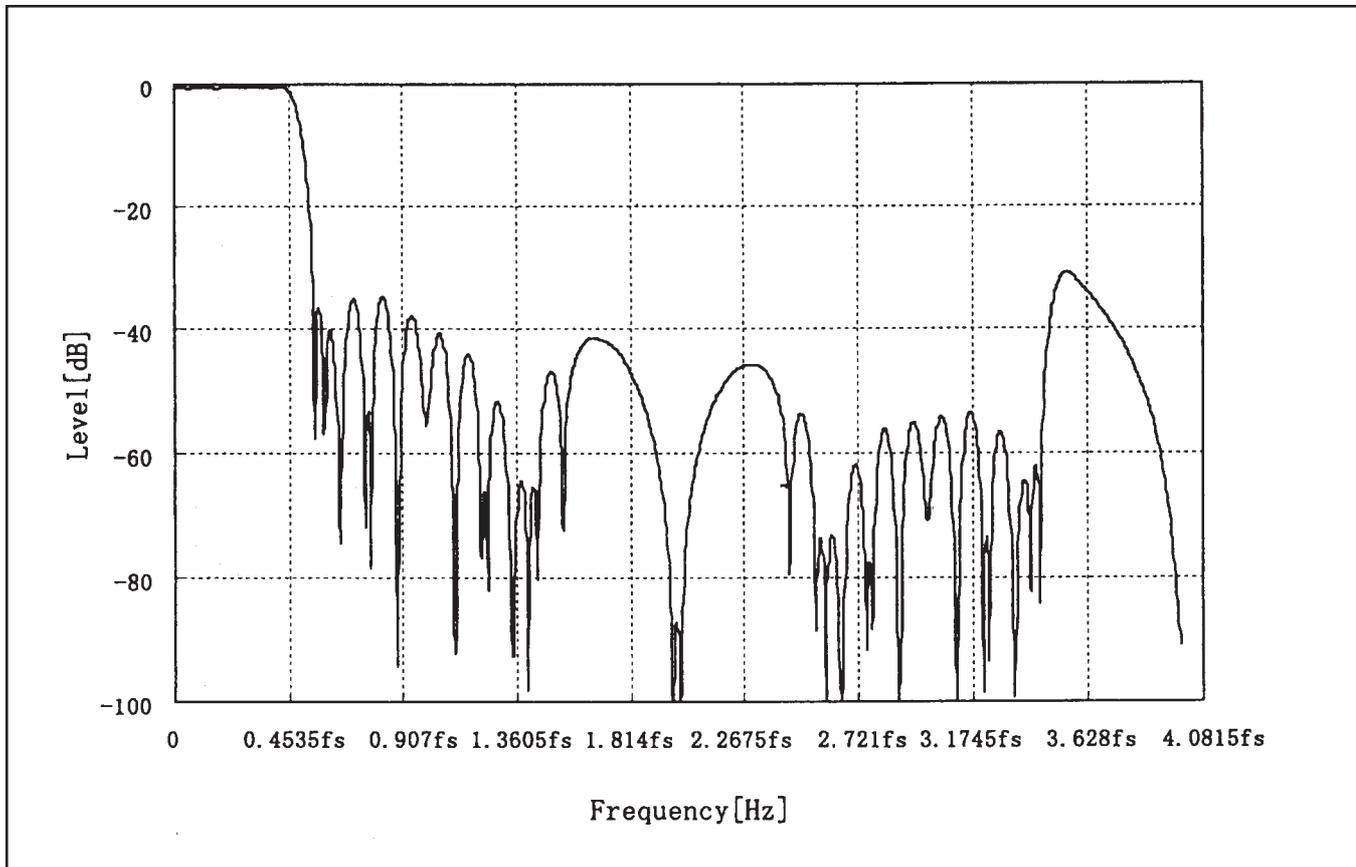


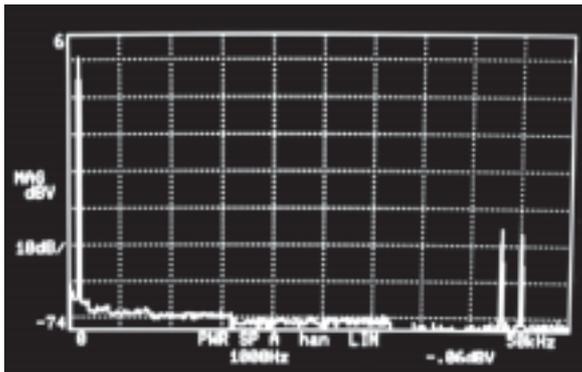
図4. PCM1717Eデジタル・フィルタ特性

信号周波数によるスペクトラム実測例

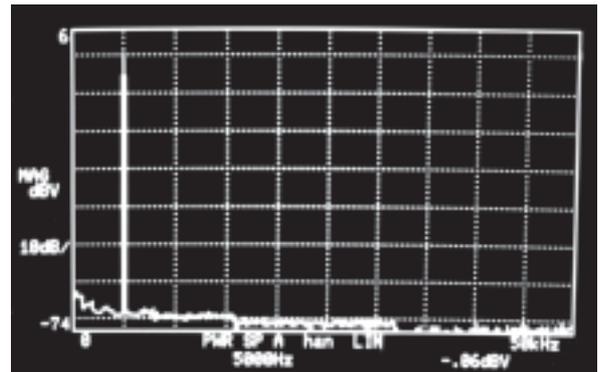
ここではPCM1717を例に、信号周波数によるサンプリング・スペクトラムの分布を実測した結果を示します(測定帯域50kHz、 $f_s = 44.1\text{kHz}$)。図5(a)は $f_a = 1\text{kHz}$ で、 $f_s \pm f_a = 44.1\text{k} \pm 1\text{k}$ のスペクトラムが-45dBレベルに分布しています。図5(b)は $f_a = 5\text{kHz}$ で、使用したスピーカのダイナミック・レンジ(約70~80dB)では測定不可能な低レベルとなり、スペクトラムは観測できません。図5(c)は $f_a = 10\text{kHz}$ で、 $44.1\text{k} - 10\text{k} = 34.1\text{k}$ のスペクトラムが-55dBレベルに分布しています。図5(d)は $f_a = 20\text{kHz}$ で、 $44.1\text{k} - 20\text{k} = 24.1\text{k}$ スペクトラムが-30dBレベルに分布しています。

これらのデータから分かるとおり、信号周波数 f_a によってスペクトラムレベルは異なり、このレベルは図4に示したデジタル・フィルタの減衰量によって決まります。

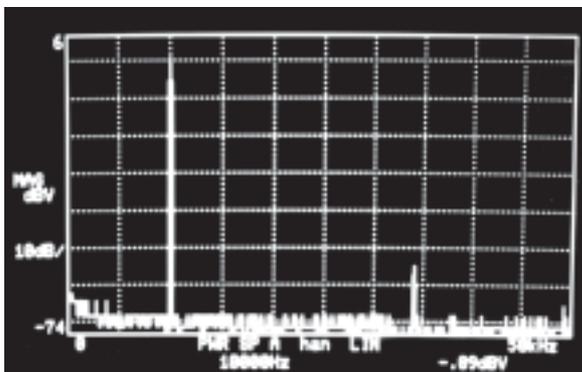
図4において、例えば $f_a = 5\text{kHz}$ では $f_s - f_a = 44.1\text{k} - 5\text{k} = 39.1\text{k}$ となり、 f_s に換算すると $39.1\text{k} / 44.1\text{k} = 0.887f_s$ となります。この $0.887f_s$ での減衰量は-80dB程度となりスペクトラムとして観測できないレベルとなります。



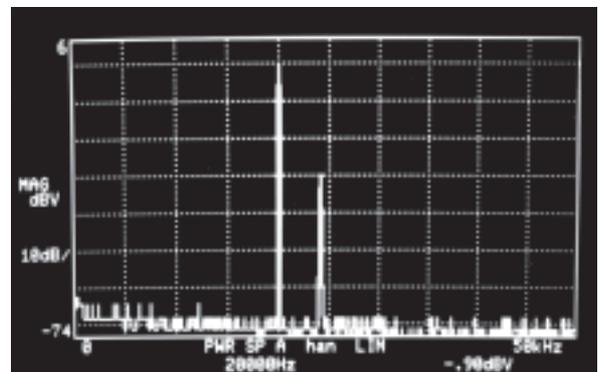
(a) $f = 1\text{kHz}$



(b) $f = 5\text{kHz}$



(c) $f = 10\text{kHz}$



(d) $f = 20\text{kHz}$

図5. PCM1717の出力スペクトラム実測例

THD+N 対 周波数特性

デジタル・オーディオDACにおけるTHD+N特性の正しい評価には、テスト用20k LPFによる帯域制限が必要です。すなわち、帯域外スペクトラムの抑圧が不十分なテスト条件においては、THD+N測定というより帯域外スペクトラム測定になってしまいます。特にTHD+N対周波数特性の測定では、帯域外スペクトラムの影響が直接測定値に影響します。これは帯域外スペクトラムレベルは信号周波数 f_a によってデジタル・フィルタの減衰量が異なるためです。すなわち、 $(f_s - f_a)$ の周波数による減衰量が-35dBの場合と-80dBの場合では、測定帯域内のスペクトラム・レベルが大幅に異なることになります。ここで、測定系に20k LPFを用いて帯域外スペクトラムを十分に抑圧した場合は、この帯域外スペクトラムの影響は無視できるので正確な測定が可能になります。図7および図8に測定条件の違いによるTHD+N対周波数特性の実測例を示します。測定ブロック図を図6に示します。

使用した機器はAudio Precision社の「SYSTEM-ONE」で内蔵の22kHz LPFまたは30kHz LPFをONとしています。PCM1717はパー・ブラウン評価用ボードDEM-DAI1717を用いて、SYSTEM-ONEからのSPDIF信号からD/A変換されたアナログ信号を

- (1) DAC直接出力
- (2) 2次LPF出力

の両方で評価できる構成となっています。このアナログ信号は、

- (1) 測定用20k LPF使用
- (2) 測定用20k LPF未使用

の両条件での測定が可能ないようにスイッチでの選択が行えます。

図7、図8から分かるとおり、測定用20k LPFによって帯域外スペクトラムの抑圧が十分でない場合は、THD+N特性が周波数によって大幅に異なることになります。この値はTHD+Nではなく、帯域外サンプリング・スペクトラムのレベルによって決まっており、THD+N+帯域外スペクトラム測定となっています。

あくまでも正確なTHD+N測定には測定用20k LPFによる十分な帯域外スペクトラムの除去が必要です。

なお、関連資料としてアプリケーションノートANJ-1079「デジタル・オーディオ用DACのダイナミック特性テスト」も用意されていますので御参照下さい。

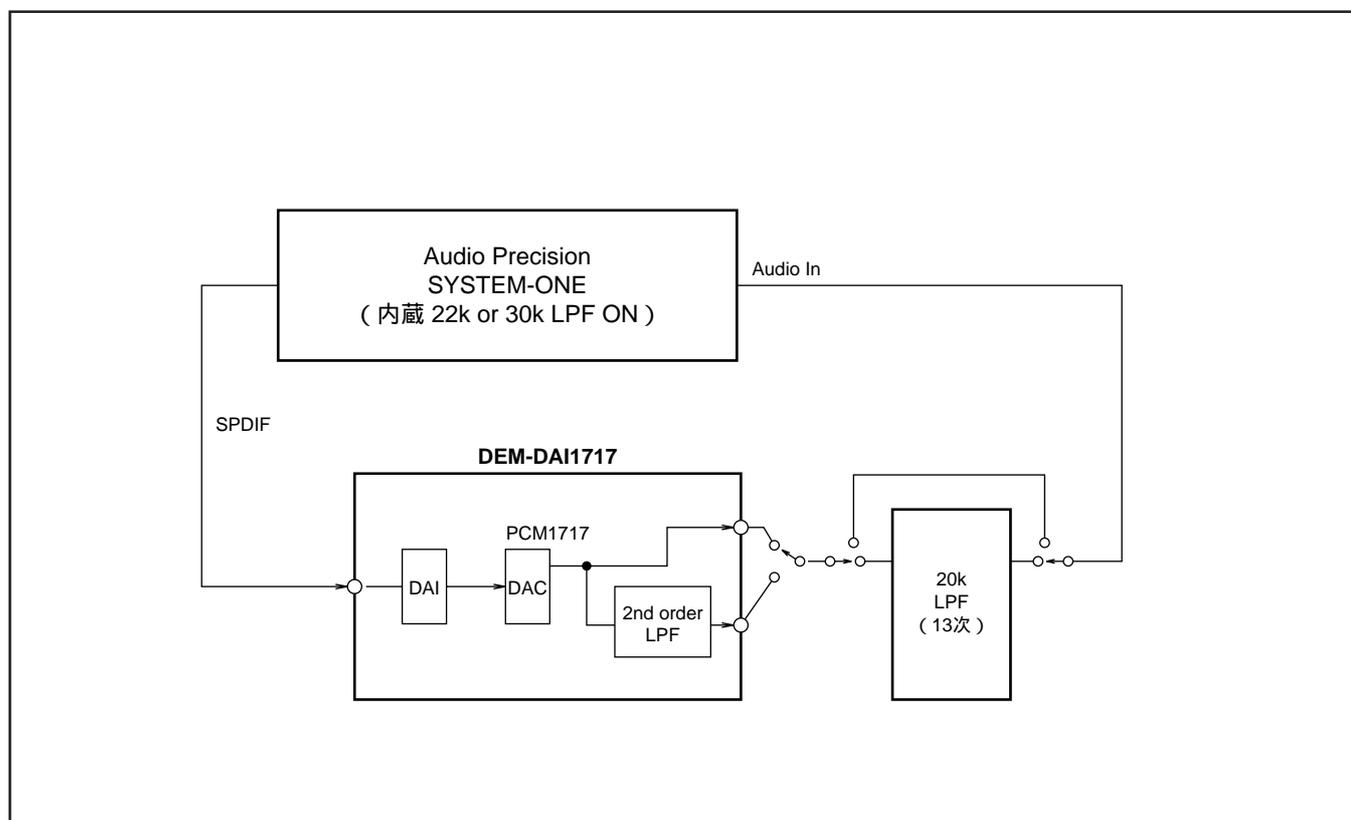


図6. THD+N対周波数特性ブロック図

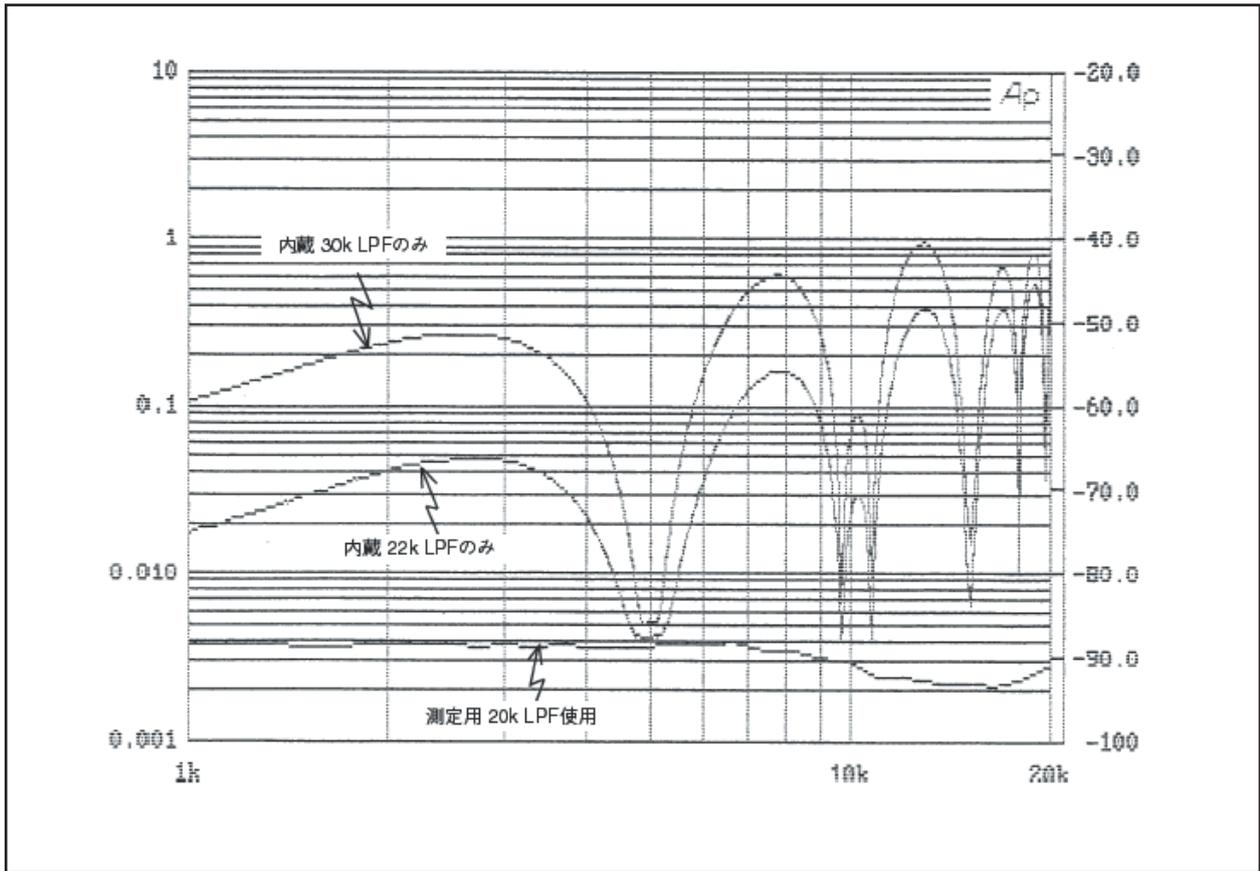


図 7. 2次LPF出力によるTHD+N対周波数特性

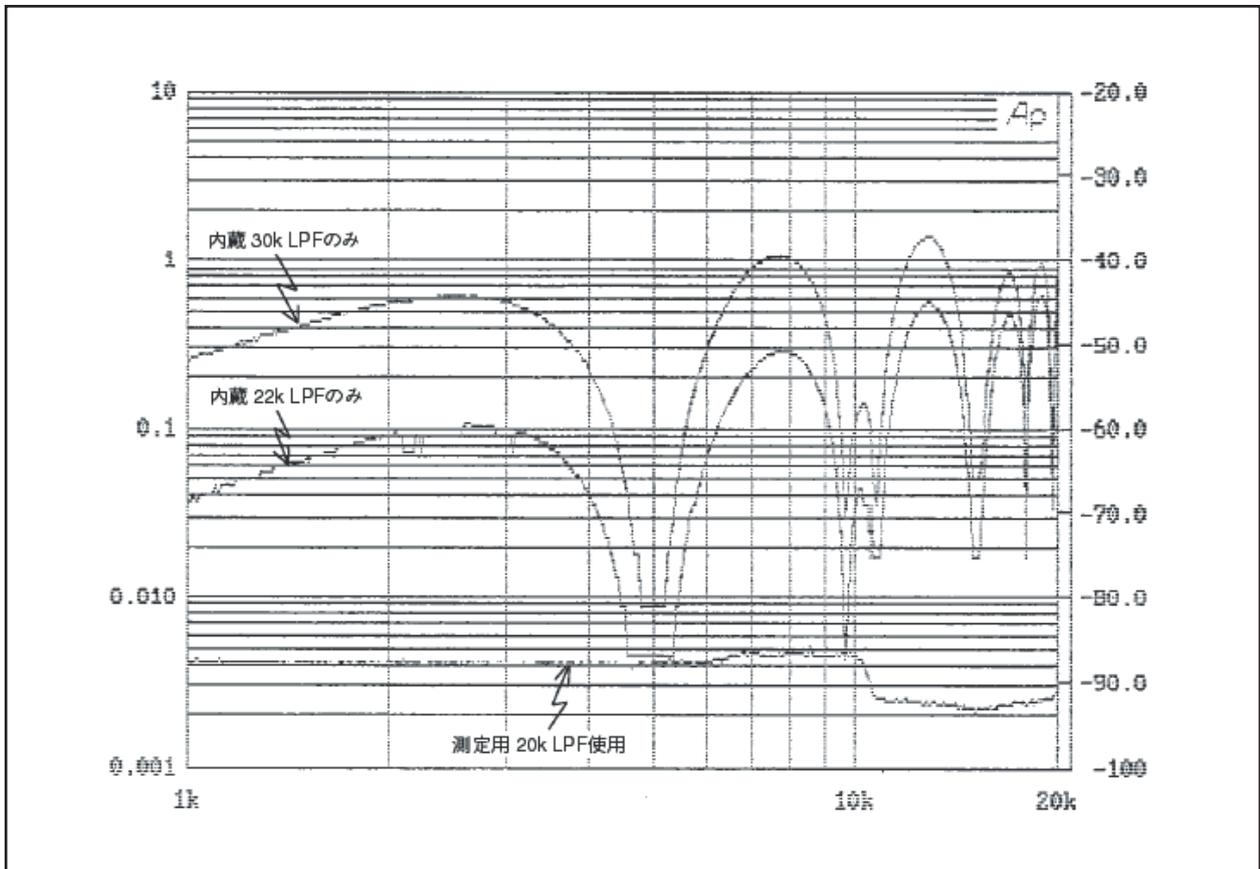


図 8. DAC直接出力によるTHD+N対周波数特性

ご注意

日本テキサス・インスツルメンツ株式会社(以下TIJといいます)及びTexas Instruments Incorporated(TIJの親会社、以下TIJおよびTexas Instruments Incorporatedを総称してTIといいます)は、その製品及びサービスを任意に修正し、改善、改良、その他の変更をし、もしくは製品の製造中止またはサービスの提供を中止する権利を留保します。従いまして、お客様は、発注される前に、関連する最新の情報を取得して頂き、その情報が現在有効かつ完全なものであるかどうかをご確認下さい。全ての製品は、お客様とTIとの間に取引契約が締結されている場合は、当該契約条件に基づき、また当該取引契約が締結されていない場合は、ご注文の受諾の際に提示されるTIの標準契約約款に従って販売されます。

TIは、そのハードウェア製品が、TIの標準保証条件に従い販売時の仕様に対応した性能を有していること、またはお客様とTIとの間で合意された保証条件に従い合意された仕様に対応した性能を有していることを保証します。検査およびその他の品質管理技法は、TIが当該保証を支援するのに必要とみなす範囲で行なわれております。各デバイスの全てのパラメーターに関する固有の検査は、政府がそれ等の実行を義務づけている場合を除き、必ずしも行なわれておりません。

TIは、製品のアプリケーションに関する支援もしくはお客様の製品の設計について責任を負うことはありません。TI製部品を使用しているお客様の製品及びそのアプリケーションについての責任はお客様にあります。TI製部品を使用したお客様の製品及びアプリケーションについて想定されうる危険を最小のものとするため、適切な設計上および操作上の安全対策は、必ずお客様にてお取り下さい。

TIは、TIの製品もしくはサービスが使用されている組み合わせ、機械装置、もしくは方法に関連しているTIの特許権、著作権、回路

配置利用権、その他のTIの知的財産権に基づいて何らかのライセンスを許諾することは明示的にも黙示的にも保証も表明もしておりません。TIが第三者の製品もしくはサービスについて情報を提供することは、TIが当該製品もしくはサービスを使用することについてライセンスを与えるとか、保証もしくは是認するということを意味しません。そのような情報を使用するには第三者の特許その他の知的財産権に基づき当該第三者からライセンスを得なければならない場合もあり、またTIの特許その他の知的財産権に基づきTIからライセンスを得て頂かなければならない場合もあります。

TIのデータ・ブックもしくはデータ・シートの中にある情報を複製することは、その情報に一切の変更を加えること無く、且つその情報と結び付けられた全ての保証、条件、制限及び通知と共に複製がなされる限りにおいて許されるものとします。当該情報に変更を加えて複製することは不公正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような変更された情報や複製については何の義務も責任も負いません。

TIの製品もしくはサービスについてTIにより示された数値、特性、条件その他のパラメーターと異なる、あるいは、それを超えてなされた説明で当該TI製品もしくはサービスを再販売することは、当該TI製品もしくはサービスに対する全ての明示的保証、及び何らかの黙示的保証を無効にし、且つ不公正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような説明については何の義務も責任もありません。

なお、日本テキサス・インスツルメンツ株式会社半導体集積回路製品販売用標準契約約款もご覧下さい。

<http://www.tij.co.jp/jsc/docs/stdterms.htm>

Copyright © 2006, Texas Instruments Incorporated
日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

弊社半導体製品の取り扱い・保管について

半導体製品は、取り扱い、保管・輸送環境、基板実装条件によっては、お客様での実装前後に破壊/劣化、または故障を起こすことがあります。

弊社半導体製品のお取り扱い、ご使用にあたっては下記の点を遵守して下さい。

1. 静電気

- 素手で半導体製品単体を触らないこと。どうしても触る必要がある場合は、リストストラップ等で人体からアースをとり、導電性手袋等をして取り扱うこと。
- 弊社出荷梱包単位(外装から取り出された内装及び個装)又は製品単品で取り扱いを行う場合は、接地された導電性のテーブル上で(導電性マットにアースをとったもの等)、アースをした作業者が行うこと。また、コンテナ等も、導電性のものを使うこと。
- マウンタやはんだ付け設備等、半導体の実装に関わる全ての装置類は、静電気の帯電を防止する措置を施すこと。
- 前記のリストストラップ・導電性手袋・テーブル表面及び実装装置類の接地等の静電気帯電防止措置は、常に管理されその機能が確認されていること。

2. 温・湿度環境

- 温度：0～40℃、相対湿度：40～85%で保管・輸送及び取り扱いを行うこと。(但し、結露しないこと。)

- 直射日光があたる状態で保管・輸送しないこと。
3. 防湿梱包
 - 防湿梱包品は、開封後は個別推奨保管環境及び期間に従い基板実装すること。
 4. 機械的衝撃
 - 梱包品(外装、内装、個装)及び製品単品を落下させたり、衝撃を与えないこと。
 5. 熱衝撃
 - はんだ付け時は、最低限260℃以上の高温状態に、10秒以上さらさないこと。(個別推奨条件がある時はそれに従うこと。)
 6. 汚染
 - はんだ付け性を損なう、又はアルミ配線腐食の原因となるような汚染物質(硫黄、塩素等ハロゲン)のある環境で保管・輸送しないこと。
 - はんだ付け後は十分にフラックスの洗浄を行うこと。(不純物含有率が一定以下に保証された無洗浄タイプのフラックスは除く。)

以上