

## PCM1717シリーズの THD+N 対 周波数特性とスペクトラム

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 $\Delta\Sigma$ DAC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。これは

- (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

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。

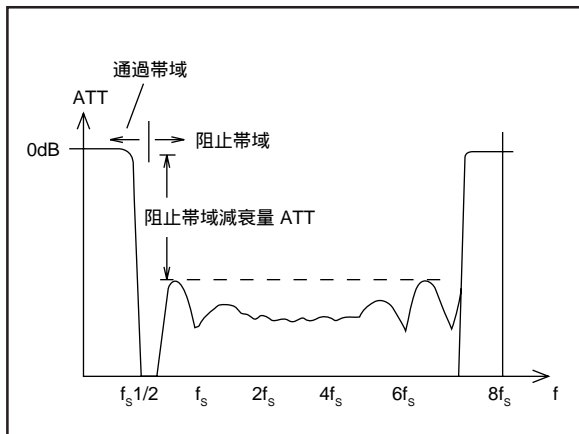


図1. デジタル・フィルタの減衰特性

### 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。

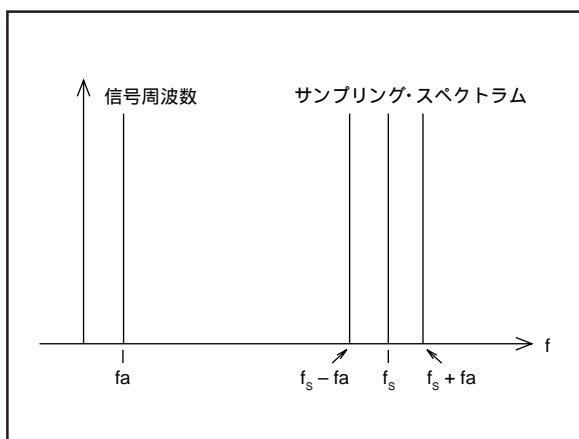


図2. サンプリング・スペクトラムの分布

## 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P1、P2であれば各スペクトラムのレベルはP1、P2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。

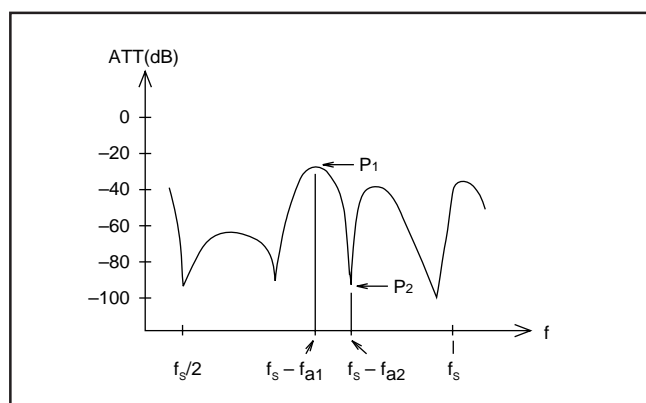


図3. デジタル・フィルタの減衰特性とスペクトラム

## 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-35dB(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。

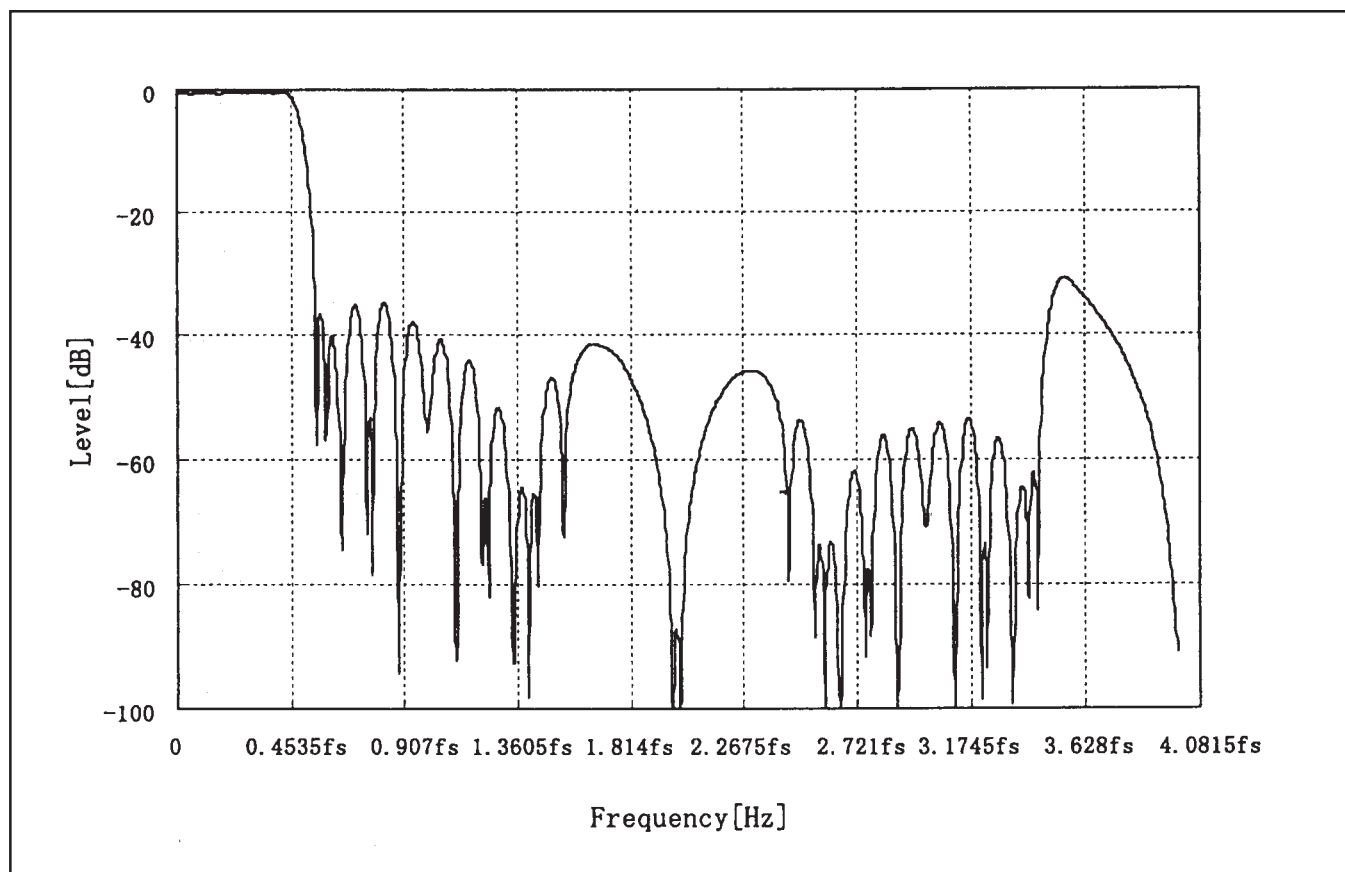


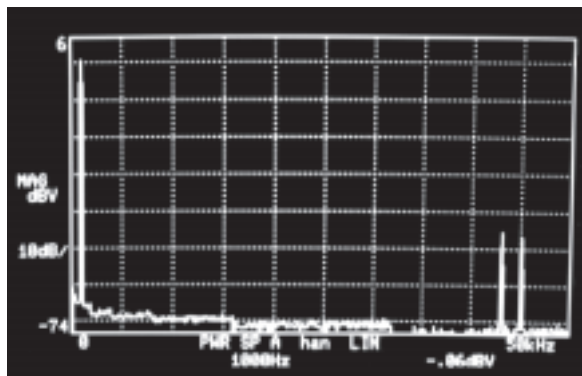
図4. PCM1717E デジタル・フィルタ特性

## 信号周波数によるスペクトラム実測例

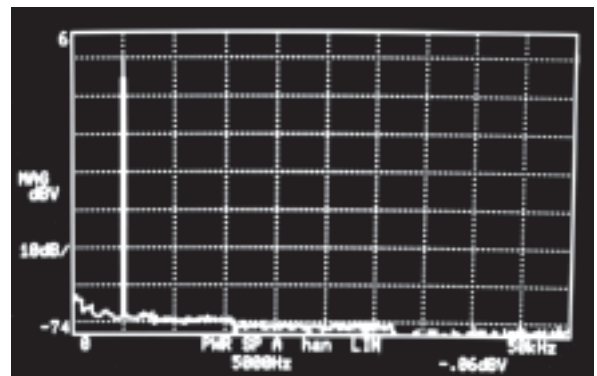
ここではPCM1717を例に、信号周波数によるサンプリング・スペクトラムの分布を実測した結果を示します(測定帯域50kHz、 $f_s = 44.1\text{kHz}$ )。図5(a)は $f_a = 1\text{kHz}$ で、 $f_s \pm f_a = 44.1\text{kHz} \pm 1\text{kHz}$ のスペクトラムが-45dBレベルに分布しています。図5(b)は $f_a = 5\text{kHz}$ で、使用したスピーカのダイナミック・レンジ(約70~80dB)では測定不可能な低レベルとなり、スペクトラムは観測できません。図5(c)は $f_a = 10\text{kHz}$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

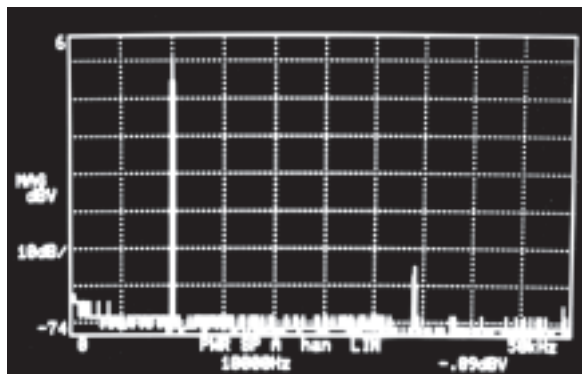
図4において、例えば $f_a = 5\text{kHz}$ では $f_s - f_a = 44.1\text{kHz} - 5\text{kHz} = 39.1\text{kHz}$ となり、 $f_s$ に換算すると $39.1\text{kHz} / 44.1\text{kHz} = 0.887f_s$ となります。この $0.887f_s$ での減衰量は-80dB程度となりスペクトラムとして観測できないレベルとなります。



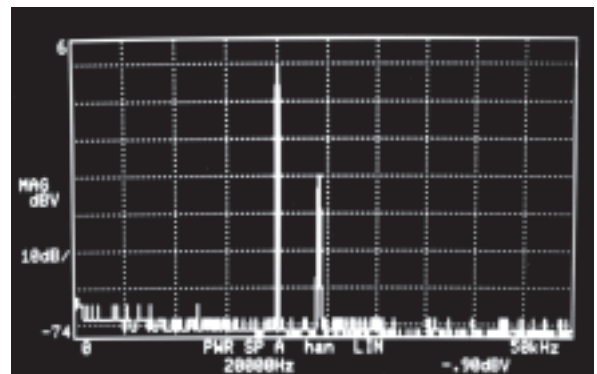
(a)  $f = 1\text{kHz}$



(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のようにスイッチでの選択が行えます。

図7、図8から分かれるとおり、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。

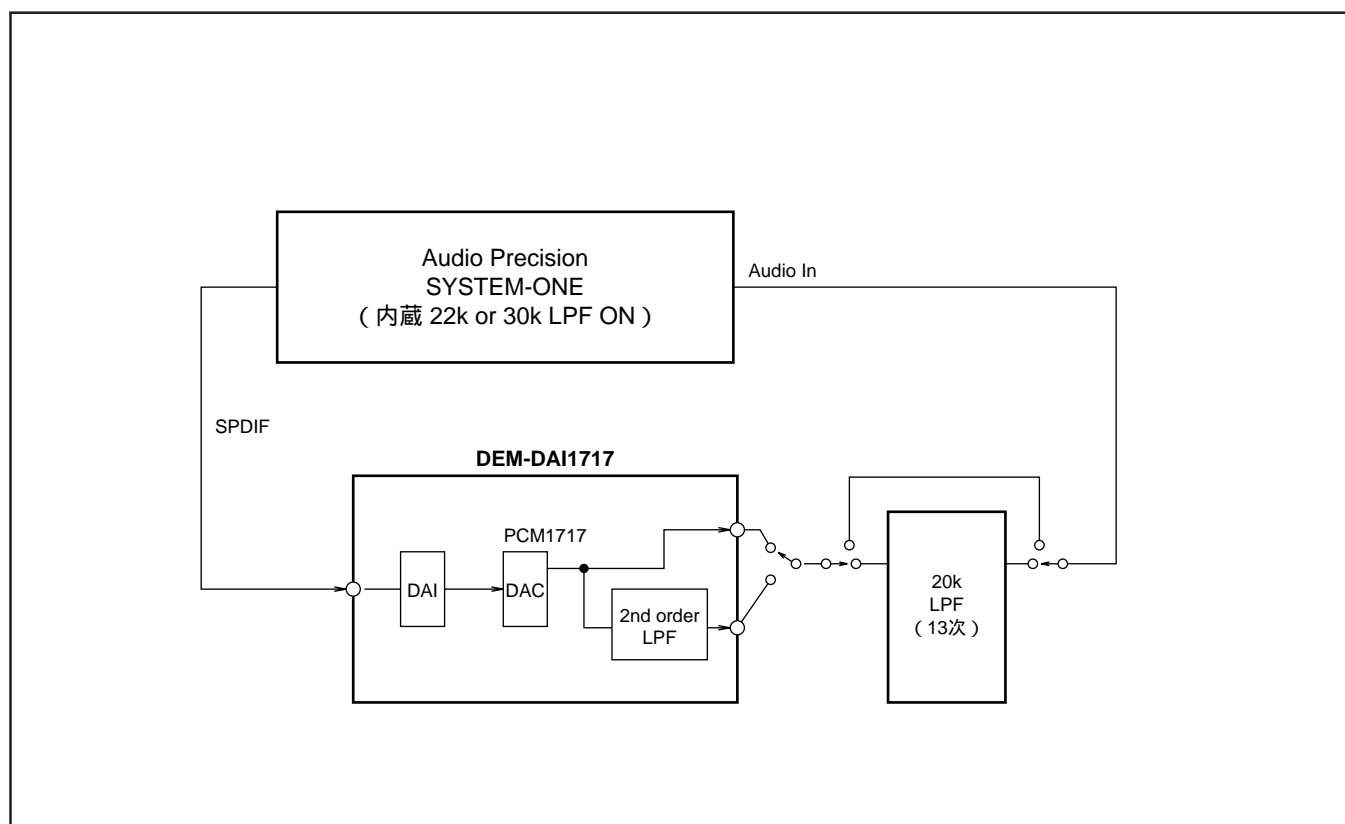


図6. THD+N対周波数特性ブロック図

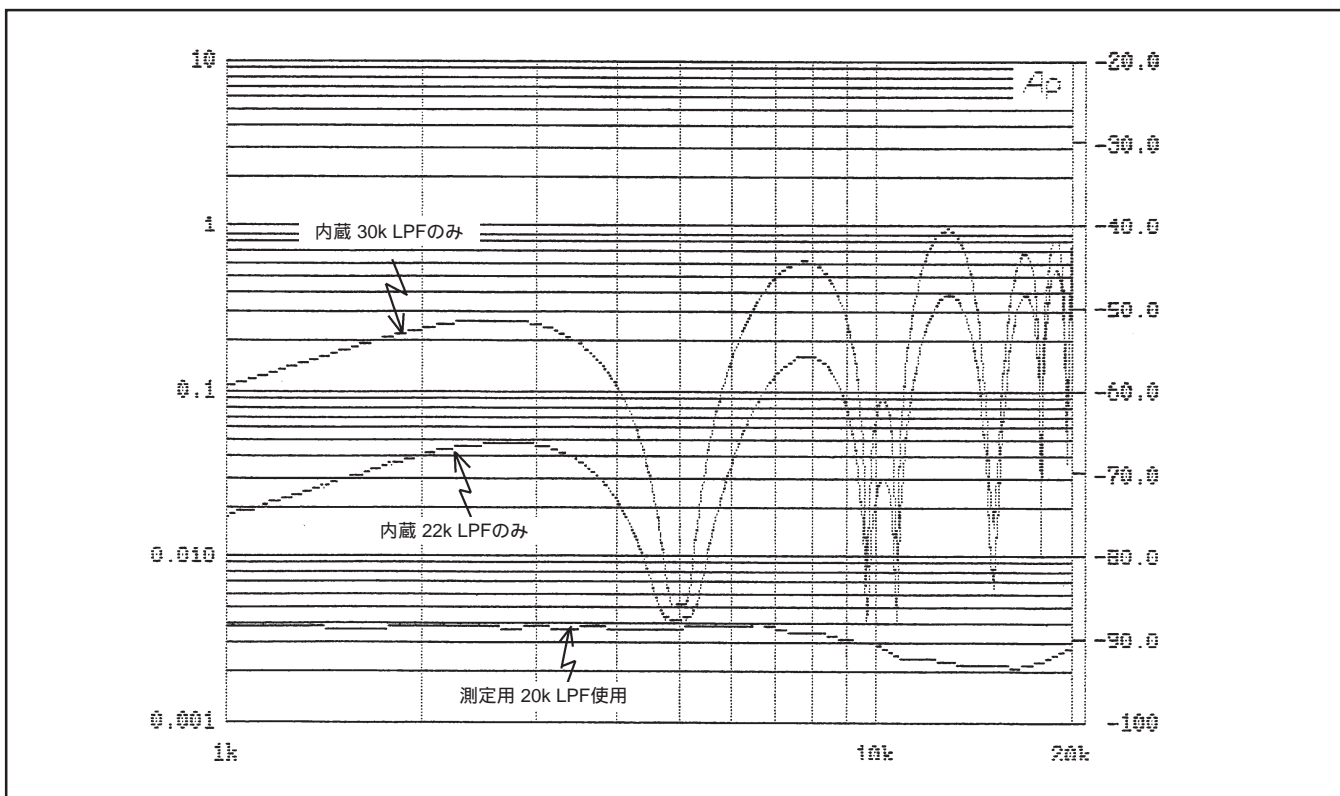


図7. 2次LPF出力によるTHD+N対周波数特性

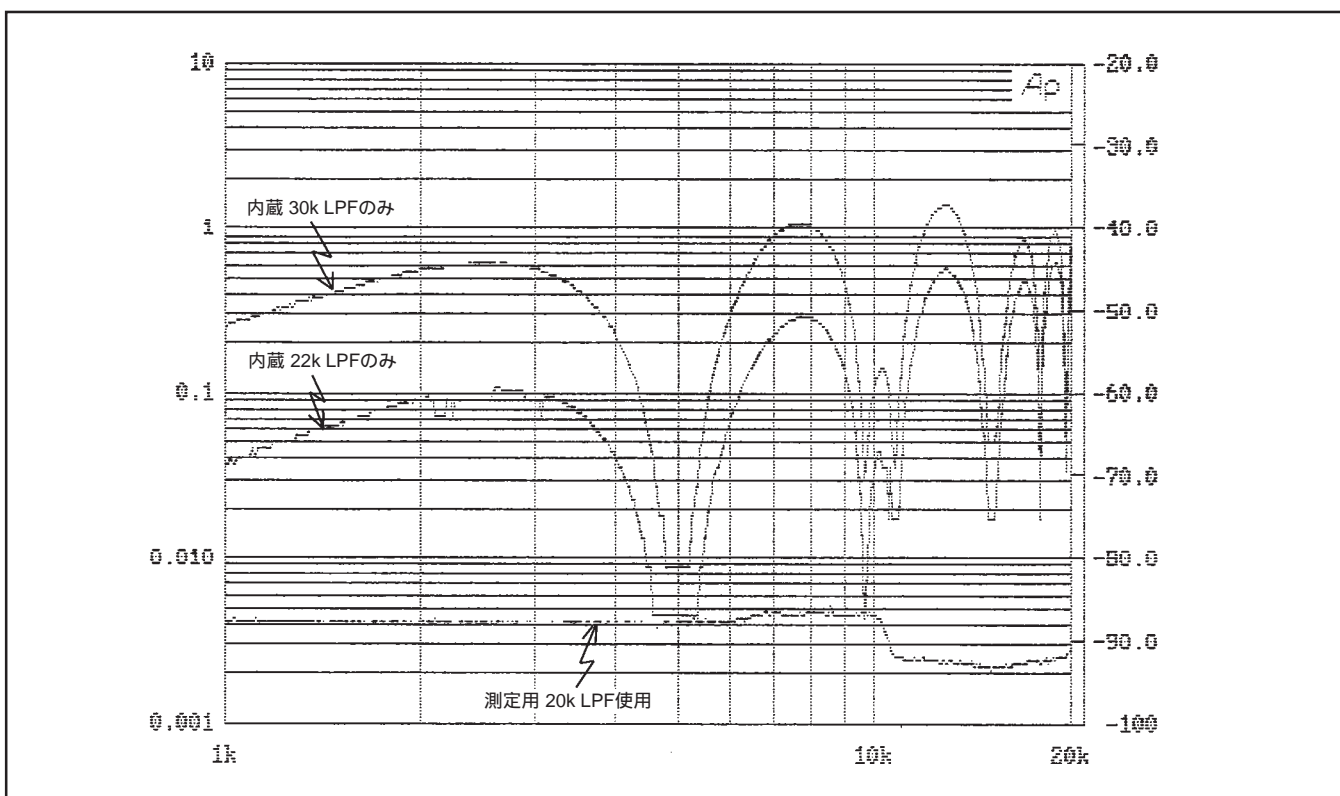


図8. DAC直接出力によるTHD+N対周波数特性

このアプリケーションノートに記載されている情報は、信頼しうるものと考えておりますが、不正確な情報や記載漏れ等に関して弊社は責任を負うものではありません。情報の使用について弊社は責任を負えませんが、各ユーザーの責任において御使用下さい。価格や仕様は予告なしに変更される場合がありますのでご了承下さい。ここに記載されているいかなる回路についても工業所有権その他の権利またはその実施権を付与したり承諾したりするものではありません。弊社は弊社製品を生命維持に関する機器またはシステムに使用することを承認しまたは保証するものではありません。

日本バー・ブラウン株式会社

<http://www.bbj.co.jp/>

本社 〒222-0033 横浜市港北区新横浜2-3-12 新横浜スクエアビル ☎ 045-476-7870

大阪営業所 〒532-0011 大阪市淀川区西中島6-1-1 新大阪ブライムタワー ☎ 06-6305-3287

フリーラインFAX  
本社 ☎ FAX.0120-068801  
大阪 ☎ FAX.0120-068805

万一つながらない場合は、お手数ですが弊社営業部FAX045-476-7889（有料）までご送信くださるか、あるいはTELにてお問い合わせください。