

限界性能への挑戦と音質へのこだわり

デジタル・オーディオにおけるDACデバイス性能、音質に関する考察 最高性能DAC、PCM1792AのAdvanced Segments DAC方式の解説



Burr-Brown Audio

河合 一

日本テキサスインスツルメンツ株式会社
営業・技術本部 ハイパフォーマンスアナログビジネス
オーディオコンバーター製品部
オーディオ・エキスパート



はじめに

昨今のデジタル・オーディオ関連ハイエンド・オーディオ商品、SACDプレーヤ、DVDプレーヤ、AVアンプ等でのD/A変換システムに関する商品解説・技術紹介記事についてみると、一応に「192KHz、24ビット分解能高性能DACデバイス」で代表される高性能DACデバイスの採用を前面に出しているケースが多々見られます。周知の通り、192KHz、24ビット分解能はリニアPCMフォーマットでの最上位のフォーマットで、DACデバイスがこのフォーマットに対応することは最低条件でもあります。しかしながら、“フォーマットに対応する”と“フォーマット相応の性能を有する”とは全く異なるもので、同じ192KHz、24ビット対応DACデバイスでもその性能、仕様を見極めないと本当に優れたDACデバイスかどうかの判断はできません。もちろん、各社の最上位モデルでは性能、仕様面で優れたDACデバイスを採用していることは間違い有りませんが、DACデバイスの変換方式の違いにより性能はともかく音質面で大きな差異があることはあまり説明されていません。というよりも説明するのが困難と言った方が正確かも知れません。

BBブランドのデジタル・オーディオ用DACデバイスは、1982年のCDプレーヤ発売当初から現在に至るまで多くの製品が開発され、デジタル・オーディオ市場で採用されてきました。

このことは、何よりも実際の各オーディオ・メーカーの設計・開発エンジニアの方々の生の声を大切にし、製品に反映させ、ユーザーから支持されてきた実績として貴重な財産となっています。現在においても、各オーディオ・メーカーのハイエンド商品に多くのBBブランドのオーディオDACが採用されています。このことは、音質評価はあくまでも主観要素であり、DACデバイスの“仕様”として表現するのは不可能ですが、音質評価の結果(相対比較)としてBBブランドDACが優れているという市場での

評価事実と実績も存在しています。

こうした背景から、本稿では、DACデバイスの変換方式と各オーディオ特性、音質との関係についての考察と、歴代開発されてきた主要DACモデル毎の変換方式、特に多くのラインナップの中から最高性能モデルであるPCM1792ファミリーを中心に、DACの変換動作とオーディオ性能、音質との関係、また、タイトルにあるように“限界性能への挑戦と音質へのこだわり”について説明しています。

1. DACの変換方式

もう10数年以上経過しましたが、1980年代中頃から1990年代中頃にかけてよくデジタル・オーディオ業界を賑わしていた話題のひとつにDACの変換方式による性能、音質差がありました。

当時の対決図式は、「マルチビット対ワンビット」であり、今現在でも現存するDACデバイスの変換方式は大別すると「マルチビット型DAC」と「ワンビット型DAC」の二つの方式になります。このふたつの変換方式について簡単に定義すると、

- マルチビット型：バイナリーの重み付けをもつアナログ・セグメント方式
- ワンビット型： $\Sigma\Delta$ 変調あるいは $\Delta\Sigma$ 変調(別称ノイズ・ショウピング)方式

と定義することができます。

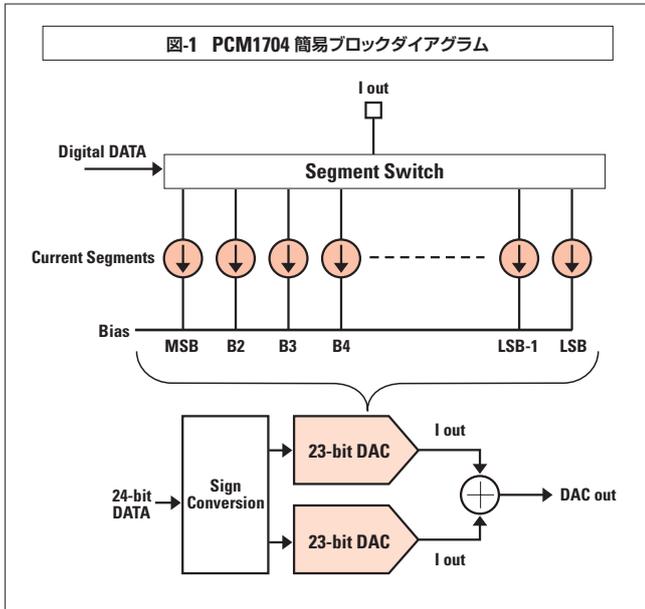
いずれの方式もそれぞれ優位点があり最終的にどちらがいいのかの選択は使用されるアプリケーションによっても異なります。特にマルチビット型DACはBBブランドの製品のみが現存しており、貴重なDACデバイスと言えます。

ここでは、マルチビット方式、ワンビット方式のそれぞれの特長と変換方式の推移について簡単に解説します。

1-1. マルチビット型DAC

1-1-1. マルチビット型DACの変換方式

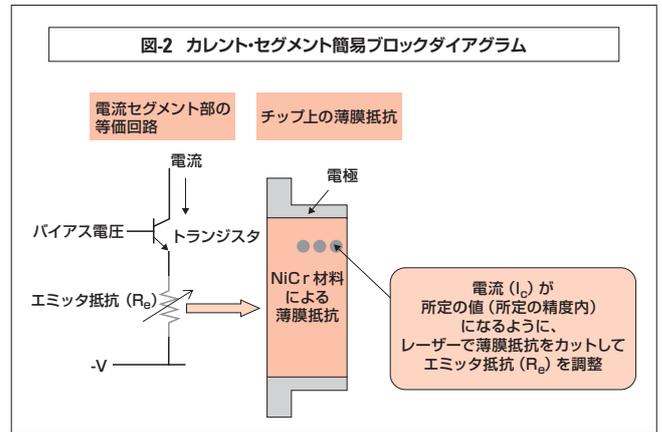
BBブランドでのマルチビット型DACの代表的デバイスのひとつにPCM1704があります。図-1にPCM1704の簡単なブロック図を示します。PCM1704では、二つの同じDACをバイポーラ方式の±専用に動作させるサイン・マグニチュード方式によりゼロクロス歪みの発生を根本解決しています。



内部の各DACにおいては分解能に応じてバイナリーに重み付けされたアナログの電流セグメントで構成されており(図中のCurrent Segments)、入力デジタル・データに対応した各電流セグメントのON/OFF組み合わせにより所要のアナログ信号出力を得ています。すなわち、マルチビット型DACにおいては、入力デジタル・データのもつ量子化情報をそのままアナログ信号に変換しています。この、デジタル・データの量子化情報(バイナリー重み付けされた16ビット~24ビットのデータ)を直接アナログに変換するという動作は最も基本的な「入力量子化データ=アナログ量子化出力」をストレートに再現する何らの加工要素をもたない方式であり、これがD/A変換の原点とも言えるものです。

1-1-2. マルチビット型DACの構造

図-2に実際のカレントセグメント部の簡略等価回路を示します。各カレントセグメントに流れる電流 I_e はトランジスタのエミッタ電位と $-V_{cc}$ 電位の差とエミッタ抵抗 R_e で決定されます。従って、PCM1704では上位ビットはカレントセグメント数でバイナリー重み付けを行い、下位ビットはR-2Rネットワークをカレントセグメントと組み合わせることによりバイナリー重み付けをおこなっています。MSBからLSBまでマッチング誤各電流セグメントはバイナリー重み付けされていますが、例えば16ビットでは、 $2^{16} = 65536$ 通りの組み合わせが存在し、これらの組み合わせ全てにおいて許容される誤差は $\pm 0.5\text{LSB}$ でなければなりません。これはフルスケール信号(FSR)比で0.0015%になります。



いずれにしても、カレントセグメント(エミッタ抵抗 R_e)に要求される誤差精度は0.0015%未満となり、一般的な半導体構造での抵抗ではこの精度は実現できません。実際のPCM1704で用いられている抵抗はNiCr(ニッケルクロム)あるいはSiCr(シリコンクロム)の薄膜抵抗です。この薄膜抵抗は温度ドリフトマッチングが $\pm 5\text{ppm}$ という優れた安定性を有しています。しかしながら、この薄膜抵抗でもそのままでは所定の精度を得ることはできません。そこで、高分解能マルチビット型DACを実用化するための主要技術のひとつであるレーザー・トリミング手法を用いて所定の精度が得られるようにしています。

実際には各電流セグメント間のマッチング誤差(DLE: 微分直線性誤差)をウェハー段階で測定しDLEが所定の誤差内になるように抵抗 R_e をレーザーにてトリミングします。

これは大変手間のかかる工程であり、その分製造原価にも影響してきますが、この薄膜抵抗+レーザー・トリミングがこのデバイスを支えている主要技術のひとつとなっています。

しかしながら、各電流セグメントのアナログ精度はそのままデバイスの精度となり、デバイス個々でのある程度のバラツキは原理上避けることができません。

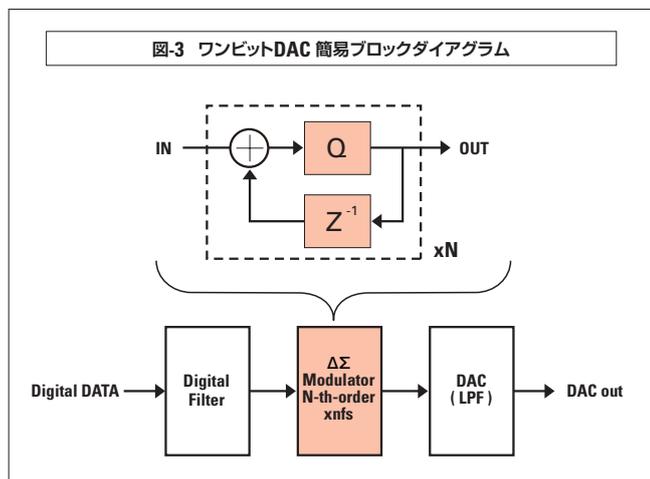
THD+N特性を0dBFSから小信号レベルまでスイープすると、THD+N特性は直線の変化の理想動作に対してDLEの大きなポイントで非直線の変化を示します。これをもってワンビット支持側からの強力な不支援要素となったこともありました。

1-2. ワンビット型DAC

1-2-1. ワンビット型DACの変換方式

図-3に一般的なワンビットDACの基本ブロック図を示します。ワンビットDACでは、 $\Delta\Sigma$ 変調または $\Sigma\Delta$ 変調技術(以下、 $\Delta\Sigma$ 変調と記述)をベースにしており、信号を表現する量子化ステップが1ビット、すなわち0と1の2レベルとなっていることから通称としてワンビットDACとも表現されています。この0、1表現のPDM変調あるいはPWM変調されたパルス信号をLPF機能でアナログ信号に変換します。LPF機能のみでアナログ変換が実行できるのでプロセスにアナログの精度は要求されず、基本

図-3 ワンビットDAC 簡易ブロックダイアグラム



性能(量子化ノイズ・レベル)はほとんど $\Delta\Sigma$ 変調(ノイズシェーピング)の次数と動作サンプリング周波数で決定されます。

$\Delta\Sigma$ 変調ではマルチビットと異なり、デジタル・データを時間軸の要素で変調するので入力デジタル・データの量子化を直接アナログに変換するもので無く、連続したデータに対して $\Delta\Sigma$ 変調を行い入力データの量子化に相当するパルス信号に変換しています。従って、時間軸の動作基準となる動作クロックを必要とし、且つ、ジッター等の時間軸誤差要素が性能に影響してきます。

ワンビット型DACでは、8倍オーバー・サンプリング・デジタルフィルタと次数=2次~5次、オーバーサンプリング・レート64fs、x128fs等の $\Delta\Sigma$ 変調器、そしてLPFでの構成が一般的です。LPFの構成としてはSCF(スイッチド・キャップ・フィルタ)とアナログLPFがあります。

1-2-2. ワンビット型DACのマルチ化

ワンビット型DACの $\Delta\Sigma$ 変調器の量子化レベルは従来では1ビット(0, 1表現のみ)が主流でしたが、より高性能化も目的として量子化レベルをマルチビット化する手法が最近ではよく用いられています。1ビット増やせば単純には6dBの性能向上が期待されますが、マルチ化を実行する手法として、時間軸で量子化に相当するマルチ化を行うものとアナログ量子化でマルチ化を行うものがあり、後者の場合は相応のアナログ精度も要求されます。

1-2-3. ワンビット型DACのノイズ

ワンビット型DACの簡単な動作イメージとしては帯域内(一般的に20KHz以下)の量子化ノイズを分解能相当のレベルに下げ、その分帯域外に量子化ノイズを移動させている(ノイズ・シェーピング)とも説明できます。従って、ワンビット型DACではマルチビット型DACに比べ大きな帯域外ノイズを含んでおり、このノイズの処理も実用上重要な要素となってきます。

量子化ステップ数は現在のようにマルチビット/マルチレベル化されておらず1ビットがほとんどでした。しかしその動作原理(ノイズ・ショーピング)から信号帯域外に大きな量子化ノイズ成分

を含んでいます。また当時のこの方式によるDACはクロック・ジッターの影響を受けやすく“性能出し”が難しいという要素ももっていたのと、帯域内、帯域外両方でのノイズも大きかったので、これらはマルチビット支持側からは不支持要素となりました。

2. DACの変換方式による音質傾向

2-1. 音質評価の意義

ここ数年、業界での論議はDACの変換方式よりも、“24ビット、192KHz”を前面に出してのマーケティング的要素が主流となり本質的論議が少なくなっています。多くのポータブル・オーディオが流行しているように時代の風潮と言ってしまうまでもありますが、DACの方式の違いによる性能、音質について考察してみるのもいいかも知れません。

実際にDACの方式差のみ(デバイス単位として)での音質比較をする機会はオーディオ製品のセット・メーカーのエンジニアぐらいしか無いかも知れません。

音質を評価する時の大前提はあくまでも「主観要素」であるということです。また、音楽ソース別、例えば、クラシック系、Jazz系再生での向き不向きや、地域別、アメリカ向き、ヨーロッパ向きとかの傾向も現実には存在しているようです。DACデバイスとしては、音質を“仕様”として規定できないことは明らかですが、その個々のDACデバイスにおいて特有の音質傾向というものも明らかに存在しています。

では、いろいろなオーディオ特性、変換方式と音質との関係がどうあるのかということこれも今まで明確に解説されてきたことは有りません。しかしながら、DACデバイスの音質は極めて重要なファクターであり、THD+N、ダイナミック・レンジ(以下、D.Rangeと表記)、SN比等の主要オーディオ性能の高性能化と同時に開発に際して十分に検証されるべきものでもあります。

2-2. マルチビットとワンビットの音質傾向

ひとつのオーディオセットでワンビットDACとマルチビットDACを切り替えて評価できるものはありませんので、この、ワンビットDACとマルチビットDACの音質比較となると主にCDプレーヤ・セットでのマルチビットDAC採用CDプレーヤとワンビットDAC採用CDプレーヤでの比較となります。当然、製品のグレード、販売価格帯も考慮する必要があります。

マルチビット対ワンビットの議論が各オーディオ雑誌や専門誌でよく行われていた時代から現在に至るまで、セット設計エンジニア、評論家、エンド・ユーザーでのDAC変換方式による音質傾向差は総合的には次のように表現されています。

- マルチビットDAC：力強い。重厚。芯がしっかりしている。鮮やか。
- ワンビットDAC：癖が無く自然。繊細。さわやか。

この音質傾向はもちろん主観要素であることと、個人の音質の表現方法(文学的表現?)の差異もありますが、どちらが良いかと言うとマルチビットDACの方が良いという意見が多かったのも事実です。現実には製品化する際にはコストという障害がマルチビットDACを採用したいけどできないという事実もありました。

これは手前味噌と言われてしまえばそれまでなのですが、著者自身もDACデバイスでの音質評価を行った結果として、マルチビット型DACの方が「圧倒的に良い音」と感じました。

これはBBブランドDACに携わる多くの関係者も同意見でした。THD+N特性等、性能的にはDACデバイスによってはワンビットDACの方がやや高性能のものと比較してもマルチビット型DACの方が良いのです。

3. 主要オーディオ特性と音質

デジタル・オーディオでの実設計においては、DACデバイスのTHD+N、D.Range、S/N比等に代表される主要スペックでの判断に加え、クロック・ジッター、電源構成、LPF処理、信号経路等の応用編的各要素を十分検証しなければなりません。これらの総合としての音質評価・判断は設計者における重要な業務となっています。ここでは、実アプリケーションの核となるDACデバイス単体としての主要スペックの定義と評価方法、音質との関係を考察してみます。

3-1. THD+N(全高調波歪+雑音)特性

3-1-1. THD+N特性の定義

THD+N特性はデバイスの非線形(非直線性)要素で発生する高調波歪THD(大体、基本波信号周波数に対して7次程度までの高調波の総合)+雑音Nとして定義しています。一般的な仕様としては、0dBFS(フルスケール)時、信号周波数=1KHz条件で、TYP値、MAX値を規定しています。また、近年ではCDDAのfs=44.1KHzに加え、DVD系アプリケーションにおけるfs=48KHz、96KHz、192KHzの各動作条件に対応したのも併記するのが一般的です。

THD+N特性は性能の目安として最も重要な要素であることは間違いありません。しかし、THD+N特性はその値、例えば、0.0015%という値だけで判断するのはやや危険と言えます。すなわち、THD+N特性を分解すると、THDは非直線性歪み、+Nは雑音です。同じ0.0015%でも、THDが主要成分なのか、+Nが主要成分なのかで当然聴感も異なってきます。完成したアプリケーション・セットの仕様としてはTHD+Nでの規定になるので、仕様として記述するか否かは別として、このことは実設計においては検証、把握しておく必要があります。

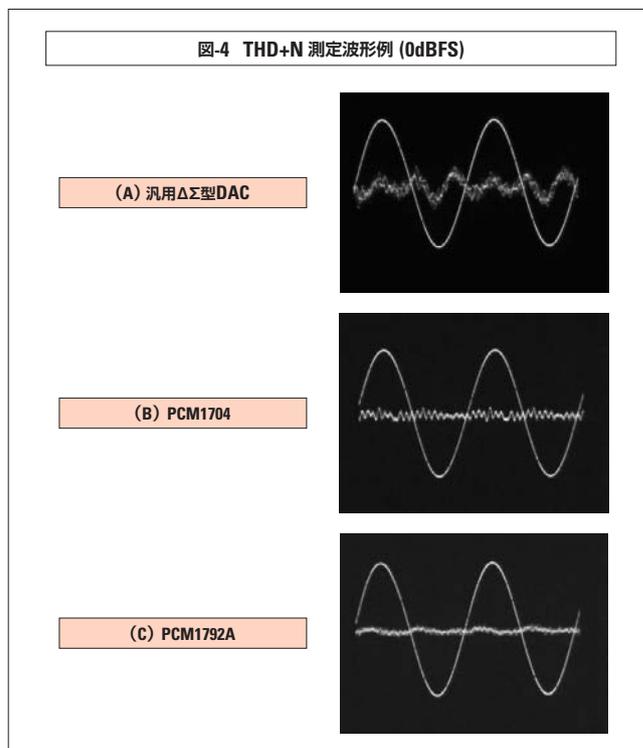


図-4に0dBFSの再生波形/歪み測定例を汎用 $\Delta\Sigma$ 型DAC、PCM1704、PCM1792Aでのものをそれぞれ示します(24ビット・データ)。それぞれの歪み成分、ノイズ成分に着目するとPCM1704ではノイズよりも歪みが主成分、PCM1792Aでは歪み、ノイズ供同じ程度で小さく、汎用DACでは両方供やや大きく、DACモデル別の傾向を確認できます。

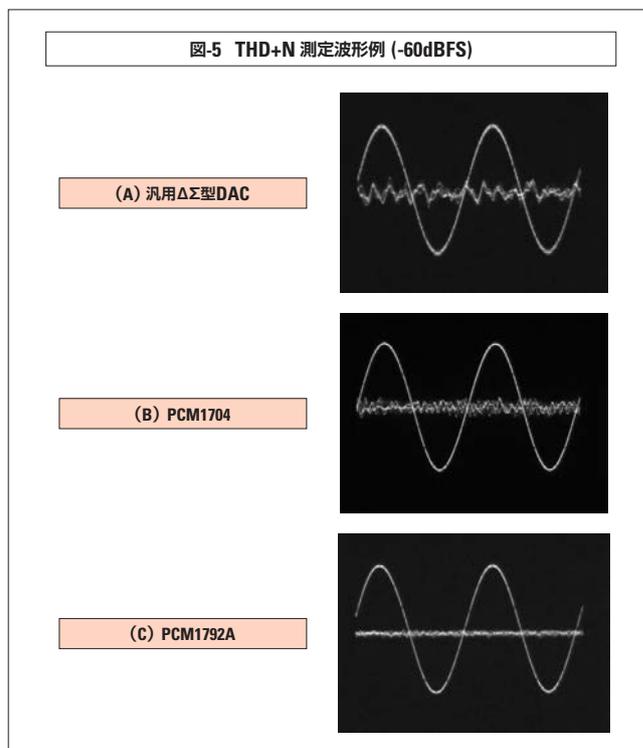


図-5は同様に、-60dBFS時のものを示しています。汎用DAC、PCM1792A供にほとんどノイズが支配的(ノイズ量は違いますが)なのに対して、PCM1704では歪みの成分も確認できます。

3-1-2. THD+N特性対データ・ビット長

THD+N特性規定の仕様条件としては24ビットDACの場合、24ビット信号(理想24ビット)であることが実設計上重要なファクターとなります。DVD-Audioでは録音されているフォーマットは24ビット(テストディスクを除いて、24ビット精度であるかは別)なので規定仕様をそのまま適用できます。

CDDA再生では量子化ビット数は16ビットなので、THD+N特性との関係を検証しておく必要があります。すなわち、16ビットの理論量子化レベル-98dB未滿の信号は全て量子化ノイズです。-98dBを%換算すると約0.0012%、すなわちCDDAの16ビット変換での理論理想値は0.0012%となります。DACデバイスの仕様は現在ほとんど24ビット・データで規定されているので、24ビット条件で0.001%未滿の仕様を有している性能のDACデバイスでも16ビットではその量子化ノイズでTHD+N特性が決まってしまう。このことは0.001%未滿のTHD+N特性が16ビット・アプリケーションでは無駄になるということの意味しているのでは有りません。確かに量子化ノイズに歪み(THD)成分がマスクされたようになりますが、量子化ノイズを含む再生信号の変換精度(非直線性)においてはデバイス自身のTHD(非直線性)は有効であり、より誤差(THD)の小さいデバイスの方が有利であることに違いありませんが、THD+N特性の僅かな差異をもって音質の優劣を決めることはできません。

3-1-3. THD+N特性と音質

結論から述べれば、CDDAソース(16ビット量子化)再生での音質評価においては、あるレベル以下であれば、THD(歪み成分)による聴感での“歪み感”、全体としての総合音質への直接的影響は無いように思われます。事実、マルチビット型においては雑音NよりもTHD成分の測定値に占める比率が高いのですが、これは実際の試聴テスト結果としての傾向ですが、少なくとも16ビット量子化レベル、0.0015%以下のTHD量=“聴感での歪み感”とはならないようです。0.001%未滿の領域では帯域内ノイズとも関連して分解能の高さや、粒立ちの良さとかで表現される音質傾向において差異を感じられます。

これらの事項が適用されるのは、THD+N<0.0015%の比較的高性能グレードのDACになります。汎用グレード製品で、例えば、THD+N=0.003%~0.01%性能グレードのDACデバイスでは全く別次元のものであり、その性能に応じた総合評価となります。

3-2. THD+N特性の評価

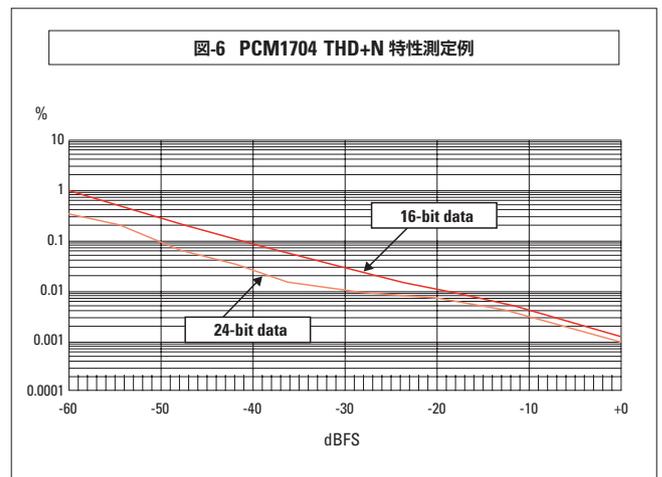
THD+N特性についてDACデバイスの仕様書上では一般的条件での規定をしていますが、実際には多くのパラメータでの評価方法があります。性能を判断する上での目安としては仕様書記載のパラメータで十分かも知れませんが、より詳細な検証を行うには条件を変化させての評価も必要になります。

3-2-1. THD+N 対 信号レベル

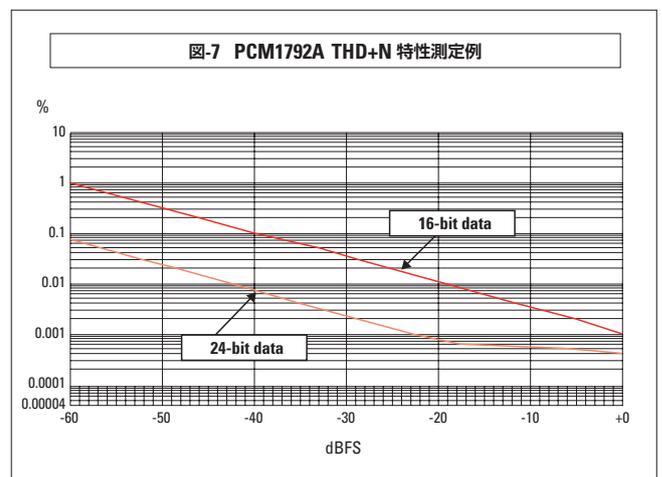
これは、信号レベルを0dBFSから-90dBFS、-120dBFS程度の微小信号までスイープさせTHD+N特性の対信号レベルに対するリニアリティを確認する方法です。ほとんどの場合、-60dBFS以下の信号に対してはTHD+Nの+Nが支配的になるので、0dB~-20dBFS間のTHD+NのTHDが支配する領域の特性が重要です(実際の音楽ディスクでは、録音されている最大レベルが-6dBFSを超えることはまれなので)。

図-6にマルチビットDAC、PCM1704でのTHD+N特性実測例を、図-7にAdvanced Segment DAC、PCM1792AでのTHD+N特性実測例をそれぞれ示します。入力データは16ビットと24ビットの2種類です。

PCM1704の24ビット・データでは上位ビットのDLEの影響により、リニアリティにかかるポイントが存在しますが、THDの絶対量自身は小さいのと、16ビット・CDソースでは16ビットでの測定データから明らかなように16ビット量子化ノイズの方が大きいので大きく音質には影響していないと思われます。



PCM1792Aの24ビット・データでは、-20dBFS以下の領域ではほぼリニアな特性を示しています。比較的大信号レベルでTHD特性がリニアリティを欠けるのはTHD(歪み)としてもほぼ限界領域(0.0003%未滿)にあることによります。



3-2-2. THD+N 対 信号周波数

いくつかの基準信号レベルに対して信号周波数を20Hz～20KHzの間でスイープしてTHD+N特性を確認する方法です。DAC自身はその動作原理上、THDが特定信号周波数で変化する要素をもっていないため一般的にはほとんどフラットな特性となります。通常、測定器側LPF(ローパス・フィルタ)で通過周波数20KHzの測定帯域制限をします。この条件では、信号周波数に対して2次、3次のTHD(高調波)成分が20KHzを超える信号周波数に対しては、その高調波成分をLPFがカットしてしまうので、データの判断の仕方については考察する必要があります。例えば信号周波数=6KHzにおいては、2次=12KHz、3次=18KHzと測定帯域内ですが、信号周波数=12KHzでは、2次=24KHzで測定帯域外になります。また、DAC外部回路および使用オペアンプICの利得帯域幅、スループレート、THD+N特性との総合として測定しているため、詳細には外部回路のみでの特性も検証しておく必要があります。結果として、対信号周波数は特定の周波数で何らかの異常が無いかを確認する目安として扱う方が賢明かも知れません。

3-2-3. THD+N 対 特定条件

標準的な測定条件以外の特定条件での評価もいくつか存在します。例えば、-60dBFSの信号+DCオフセット、DCオフセットを±FSR(フルスケール)間でスイープ。±FSR間の特定ポイントでリニアリティの悪いところを検証する目的でのテスト方法です。以前からよくマルチビットの欠点を強調するのにも使用されましたが、実信号はBPZ(バイポーラ・ゼロ)を中心とした信号で、DCオフセットをもたないため実際の聴感との相関はほとんどありません。実際にこの評価方法を有効にしているケースも見かけられません。

3-3. ダイナミック・レンジとSN比

3-3-1. D.Rangeの定義

デジタル・オーディオでは、EIAJ、CP-2204にてダイナミック・レンジが定義されていますが、DACデバイスにおいてもほとんどのメーカー、製品が同じ定義での仕様を決めています。すなわち、

$D.\text{Range}(\text{dB}) = \text{THD+N at } -60\text{dBFS with A-weighted}$

ここで、A-weightedは聴感補正フィルタで人間の耳の対周波数感度に合わせた周波数特性を有しており、現存の試験方法はその分、実用(エンド・ユーザーの立場)に合わせた規格といえます。音質差異についてはD.Range特性100dB、110dB、120dBでは当然差異を確認できるでしょうが、同等グレード間の数dBの差異をもって優劣判断するのはやや疑問です。

3-3-2. ワンビットDACのD.Range

-60dBFSという信号は0dBFS(フルスケール)の1/1000のレベルであり、ワンビット型DACにおいてはその動作原理からアナログの要素での非直線性誤差要因がほとんど無く、THD+Nの“+N”、量子化ノイズとデバイス自身の熱雑音レベルでほとんど決定しています。故にほとんどの場合、無信号時のノイズ、S/N比特性とほぼ同じ値にもなります。

デバイスの観点からD.Rangeを良くするのは総合ノイズの低減しかありません。ΔΣ変調器自身では量子化ノイズレベル-140dBも可能ですが、これはデジタル領域でのものであり、DACデバイスとして完成させるにはアナログ領域のノイズをどうするか最も重要な要素となります。PCM1792Aでは124dB(2Vrms)のD.Rangeを規定していますが、120dBを超える性能領域ではDACデバイス自身のノイズよりも周辺アナログ回路のノイズの影響も重要な要素となります。繊細さや静粛性、透明感といった主観音質感との関係はD.Range特性、ダイナミック動作時のノイズの少なさに大きく関係していると思われます。CDDA再生では16ビット量子化での制限からD.Range測定値は100dBが限度になります。

3-3-3. マルチビットDACのD.Range

また、マルチビット型DACでは、D.Range特性はTHD成分の影響が大きく、+N成分の影響は非常に小さくなっています。これは、マルチビット型DACの場合、ノイズ・シェーピング動作は一切行っていないため、帯域内ノイズはほとんど半導体プロセス自身の熱雑音となることによります。従って、マルチビット型DACではD.Range特性とSN比特性は大きく異なります。別の視点から見ると、マルチビット型DACのSN比は-120dBレベルの低ノイズ領域にあることから、音質面での明確さ、くっきり感に寄与していると考えられます。

3-3-4. SN比

SN比の定義は、0dBFSの信号と無信号時のノイズとの比で、D.Rangeと同じく、A-weightedフィルタを使用します。

前述の通り、ワンビットDACではD.RangeとSN比はほぼ同じですが、マルチビットDACでのSN比はD.Rangeよりも良い値になります。いずれにしろ、SN比は無音時のノイズであるためSN比として見るより、実動作時のノイズフロア・レベルをFFT観測する方がより有効であり、音質との関係もより相関がとれると思います。

3-3-5. 微小信号再生能力

THD+N特性、D.Range特性等の一般的なオーディオ評価と同時に、実際DACデバイスがどの程度の微小信号まで再生できる能力があるかを見るのも重要なファクターです。評価手法としては、微小信号での再生波形の観測、これは再生波形を観測することにより直接波形の再現性とノイズを感覚的に見るものです。これを具体的な数値として表すにはFFT測定により、信

号スペクトラムとノイズフロア(雑音スペクトラム密度)として測定するのが最も効果的です。

図-8にPCM1792Aでの16ビット・データでの-90dBFS再生波形を示します。120dB以上のD.Range仕様をもつDACであっても16ビット量子化での-90dBFS信号は3レベルでしか表現できませんが、入力デジタル・データの量子化ノイズにマスクされないDACデバイス自身のノイズの影響が音質差となって現れるのでしよう。

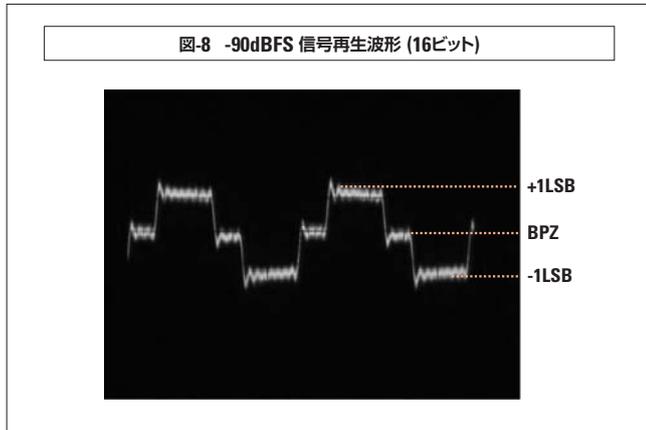
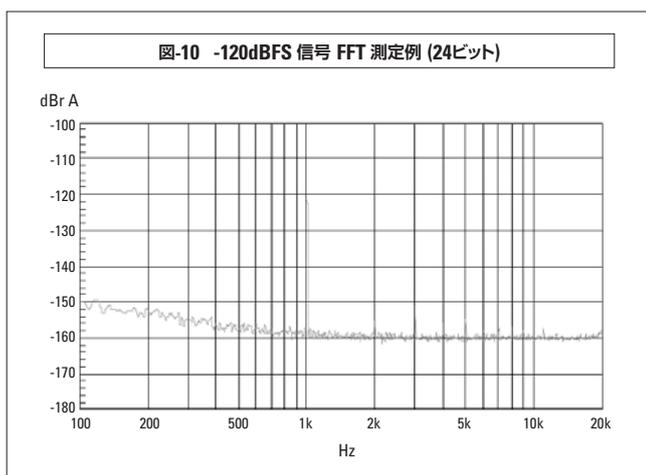
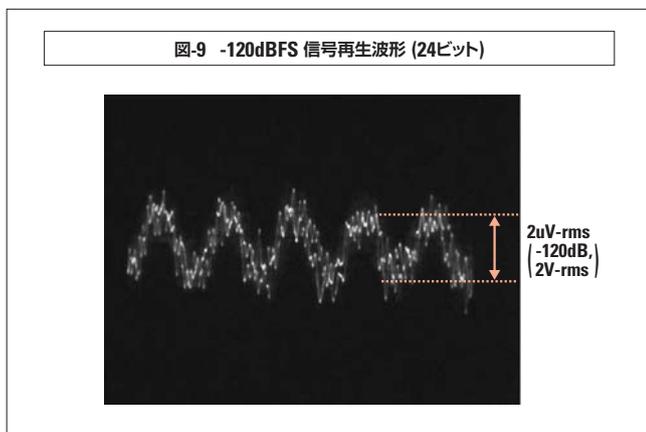


図-9に24ビット・データでの-120dB再生波形を、図-10に同条件FFT測定例をそれぞれ示します。FFT測定では、信号周波数1KHz、-120dBFSの微小信号スペクトラムに対して、ノイズフロア・レベルは-160dB付近にあり、信号とノイズが明確に区別できることが解ります。すなわち、PCM1792Aの微小信号再生能力の高さを示すことにもなります。



4. BBブランドDAC製品の開発推移

4-1. 開発の基本指針

今までDACの変換方式と主要オーディオ特性、音質との関係について簡単に解説してきましたが、ここでは、このような背景からBBブランドDAC製品がどのように開発されてきたのか、主要モデル毎の変換方式、開発指針等について簡単に説明します。

DACデバイスの開発においては当然、カスタマーの意向が最優先されます。コスト、性能、構成、機能、パッケージ等、製品毎、アプリケーションに応じた最適なDACデバイスを提供していかなければなりません。すなわち、

- カスタマー要求、アプリケーションにマッチした製品特長
- THD+N、D.Range、SNR等の主要オーディオスペック
- MUTE、Attenuation、De-Emphasis等の付帯機能
- 実アプリケーションでの使い易さ

といった基本事項と合わせて、重要な要素に“音質”が加わります。いい音のDAC開発においては、性能面からのアプローチと同時に変換方式でお固有の音質傾向も同時に検証し、最終的に市場で受け入れられるものに上げていく必要があります。

4-2. 変換方式の開発と音質

BBブランドDAC開発の根本にあるのはマルチビットDACでの音質面での優位性を継承しつつ、ワンビットDACのもつ優れた部分も取り込み、性能、音質共に優れた製品とすることです。

前述の通り、マルチビット型DACの音質面でのパワー感、明確さ、分解能の高さ等で表現される要素はマルチビットDAC固有の変換方式から表現されると思われます。

すなわちマルチビットDACの音質面の優位性として次の様な要素が掲げられます。

- カレントセグメントが量子化ステップのアナログ出力レベルを電流値として直接出力

これは最も重要な要素と思われます。ワンビットが量子化ステップを時間軸での一種の積分出力として表すのに対して、マルチビットではサンプリング期間内はアナログ電流の固定量子化ステップ出力として表現しているためパワー感、明確さに秀でていと推測されます。

- ノイズはデバイス熱雑音レベル

ワンビット型では $\Delta\Sigma$ 変調での量子化ノイズで帯域内ノイズフロアレベルが決定していますが、マルチビットではもともと帯域内外ともにデバイスの熱雑音レベルであり、これが出力信号をより信号としてくっきり表現させ、ノイズ感のない分解能の高さを表現すると推測されます。

- ワンビットでのLPF処理

ワンビットでは一般的にPDMあるいはPWM変調された信号をSCF (Switched Cap Filter) でアナログ信号に変換するが、こ

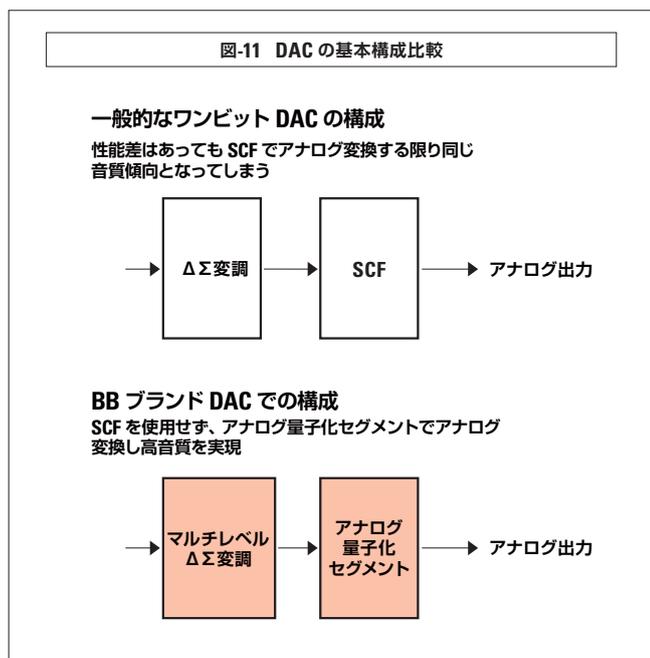
これはキャパシタに電荷をチャージし伝送するのでその信号に応じた電荷にパワーが無く、パワー感を失うと推測されます。

これらの音質面での要素と性能面での要素を考慮すると幾つかの解が考えられますが、結果的に最適な方法としてマルチビット方式とワンビット方式をベストマッチさせた新しい変換方式がいくつか新開発されそれを採用した製品が市場投入されています。

各新開発された変換方式はそれぞれの特長がありますが、基本的構造は次の通りです。

- $\Delta\Sigma$ 変調器のマルチ化 (高性能化重点)
- マルチ化された量子化ステップをアナログ・カレントセグメントでアナログ変換
- SCFを使用しないアナログLPF

これらの要素を含めたDAC構成の比較を図-11に示します。最終的にアナログ信号に変換する部分ではアナログ電流セグメントを用いています。これは、SCF機能(動作)固有の音質傾向が音質面ではマイナス要素となることを避ける意味もあります。



4-3. 主要製品変換方式

4-3-1. 市場動向

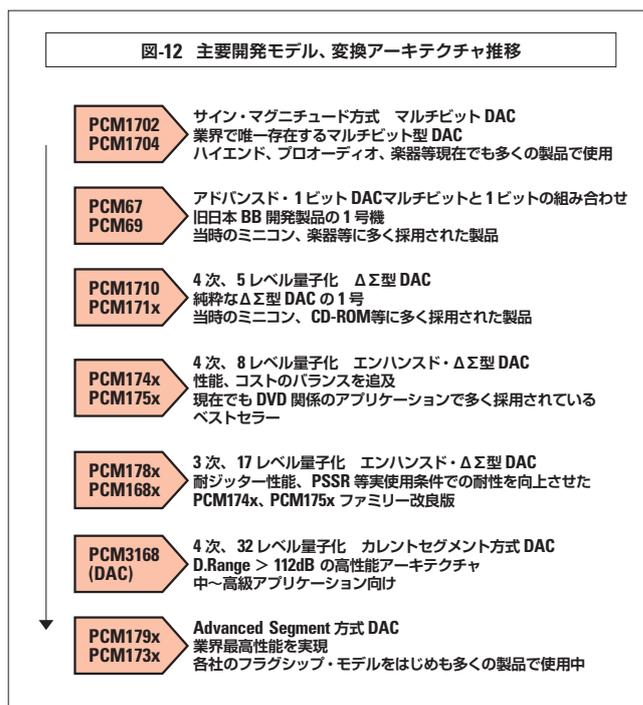
BBブランドDACの製品ラインナップとしては多くの種類が存在します。これは多様化する市場ニーズ、従来のCDDAからSACD,DVD等の新フォーマットの登場への対応等マーケット要求も広範囲になっていることによります。アプリケーションによっては基本性能の他に特定条件での動作・機能面での要求仕様が存在したり、特定の測定法が存在したりします。これらの対応とは別にDACデバイスの基本機能、すなわちデジタル-アナログ変換は基本機能として何ら変わることもありません。技術の進歩と共に主要オーディオ特性、特にTHD+N特

性とD.Range特性は飛躍的に向上してきています。また、別の観点では、遣い易さへの要求もマーケットからの基本性能として存在しています。DACデバイスは理想状態で動作させるべきですが、実設計上での種々の制約から理想状態と異なった使用状態も存在します。例えば、電源ノイズの影響、クロック・ジッターの影響、帯域外ノイズの影響、レイアウト上の影響等、これらの性能を悪化させる要因からの影響を少なくする=使い易いデバイスとする配慮も重要な要素となっています。

4-3-2. 開発製品概要

図-12にBBブランドDACの変換方式別、開発製品概要を示します。

PCM1702、PCM1704といったサイン・マグニチュード方式マルチビットDACから、 $\Delta\Sigma$ 変調技術を取り入れたDACとして最初に開発されたのが、PCM67、PCM69のAdvanced 1ビット方式です。この方式では、上位ビットをマルチビット方式、下位ビットを $\Delta\Sigma$ 変調として組み合わせることによりマルチビットの良さと小信号での $\Delta\Sigma$ 変調でのリニアリティの良さを持ち合わせています。



次に開発されたのが、いわゆる純粋な1ビットDACとしての最初の製品であるPCM1710ファミリーです。この方式は4次 $\Delta\Sigma$ 、5レベル量子化の $\Delta\Sigma$ 変調信号をインバーター電流ソースでアナログ変換しています。

更に発展形として開発されたのが、PCM174x、PCM175xファミリーで、この方式では4次 $\Delta\Sigma$ 、8レベル量子化としています。PCM178xファミリーは、3次 $\Delta\Sigma$ 、17レベル量子化で、このモデルからアナログ変換素子をカレントセグメント・ソースにしています。また、CMRR、耐ジッター性、帯域外ノイズに対して従来モデルよりも遣い易さを向上させたモデルです。

究極の最高性能を実現するベースとなったのがPCM1738ファミ

りて、このモデルでは従来の方式とは全く異なる、Advanced Current Segment方式は新規開発され採用されています。この方式についての詳細は後述します。

PCM1792、PCM1796ファミリーは前述のAdvanced Current Segment方式を用いての発展・改良型で127dBのD.Range、0.0004%のTHD+N特性と業界最高性能を実現すると共に、音質面でも最高の評価を得ているモデルです。

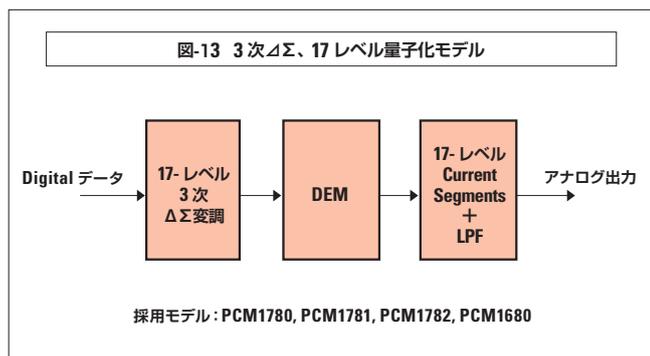
最新の変換方式では、PCM3168ファミリーで新規開発、採用された4次 $\Delta\Sigma$ 、33レベル量子化変換方式があります。このモデルでは110dB + @の中級グレードモデルに合わせて開発されています。

いずれの変換方式においてもアナログ変換はアナログ信号ソースで行っていることと、出力LPFにはアナログLPFを採用しています。アナログLPFは1次特性であるため、帯域外ノイズの減衰特性面では若干の不利がありますが、音質面では有効に機能していると言えます。以下、最新の3モデルを各変換方式の中でも代表的なものとして簡単に紹介します。

4-3-3. 3次 $\Delta\Sigma$ +17レベル量子化変換方式

PCM178x (2chモデル)、PCM168x (8chモデル) ファミリーに採用している変換方式で簡易ブロックダイアグラムを図-13に示します。

このモデルでは、 $\Delta\Sigma$ 変調の次数をあえて従来モデルの4次から3次に下げていると、その分、量子化マルチレベルを従来の8レベルから17レベルにほぼ倍増することにより所定の性能を実現しています。 $\Delta\Sigma$ 変調の次数を下げることは、帯域外での帯域外ノイズの上昇を少なくすることができ、且つ耐クロック・ジッター性も向上することができます。ブロック図中にあるDEMはDynamic Element Matchingの略称で、17レベルを表現する17個のアナログ・カレントセグメント間のマッチング誤差を最小化させる機能で、このDEMによりトリミング等の調整無しで所定のオーディオ性能を得ることができています。D.Rangeは106dBでどちらかと言えば汎用グレード製品ですが、採用されている変換方式により他社同等グレードDACとの音質評価相対比較では良い結果を得ています。

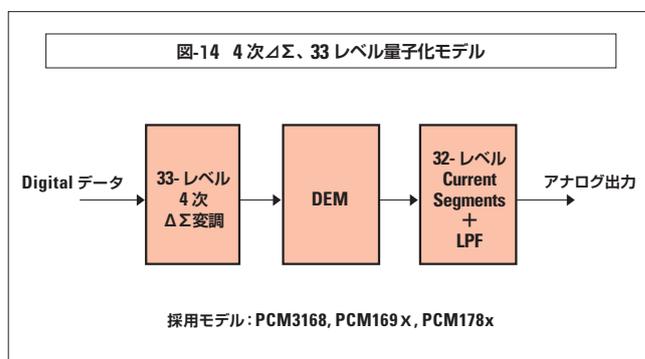


4-3-4. 4次 $\Delta\Sigma$ +32レベル量子化変換方式

PCM3168 (CODECのDAC部)、PCM168xファミリーに採用している変換方式で簡易ブロックダイアグラムを図-14に示します。

このモデルでは、D.Range > 112dBの比較的高性能アプリケーション対応デバイスとして開発したもので、 $\Delta\Sigma$ 変調の次数を4次、量子化マルチレベルを32レベルと大幅に増加させることにより所定の性能を実現しています。また、音質面の観点からも内部動作、構造についても大幅な改良が加えられています。電源供給回路構成、供給バス、GND配置、内部動作クロックの差動化によるデジタル・ノイズ低減と正確なタイミング動作等、オーディオ特性の数値だけでは表せない音質面への配慮がされています。

更に、このデバイスは実使用面での使い易さも考慮されており、クロック、電源、等の基本的な使用環境はもとより実アプリケーションでのさまざまな条件に対して有効な機能が盛り込まれています。



4-4. 最高性能を実現した Advanced Current Segment方式

4-4-1. 開発背景

業界最高性能DACデバイス、PCM179xファミリーで採用されている高性能変換方式がAdvanced Current Segment方式です。この方式によるDACモデルはファミリーとして何種類が存在していますが、この変換方式を開発した背景としてはマルチビット型DACの存在が有ります。すなわち、マルチビット方式で且つレーザー・トリミング等の工程を必要としない新方式を研究開発する中から生まれた方式と言えます。

周知の通り、マルチビット方式ではアナログ的精度が要求され、アナログ精度=リニアリティ=THD特性に直接影響していきます。 $\Delta\Sigma$ 変調でのマルチ量子化においても同様にアナログ精度は影響しますが、マルチビットに比べると所定の精度を得るのに必要なアナログ精度への負担は軽くなります。従って、マルチレベル化を実現するには要求仕様と後工程無しで実現可能なアナログ精度の検証を行い、よりマルチビット動作に近く、且つアナログ精度の影響を受けないマルチレベルを実現させています。同時に、開発当時からDSD (SACD) フォーマットへの対応も求められており、DSD再生とPCM再生の両方式に対応する変換方式である必要もありました。

4-4-2. Advanced Current Segment方式の動作

Advanced Segments DAC方式の動作を各部での信号フローの概念を用いて説明します。図-15にAdvanced Segment DAC方式のブロック図を示します。

入力24ビット・データ(A)は上位6ビット(BとMSBを含む)下位18ビット(C)に分割され、上位6ビットはICOB(Inverted Complementary Offset Binary)デコーダに入力され、下位18ビットは5レベル3次 $\Delta\Sigma$ 変調器にそれぞれ伝送されます。

上位6ビットは $N=26=64$ の量子化ステップ数があります。このステップ数はICOBコード論理により63ステップの信号に変換され(D)、3次、5レベルの $\Delta\Sigma$ 変調された下位ビット信号(E)と加算され67レベルの $\Delta\Sigma$ 変調信号(F)となります。

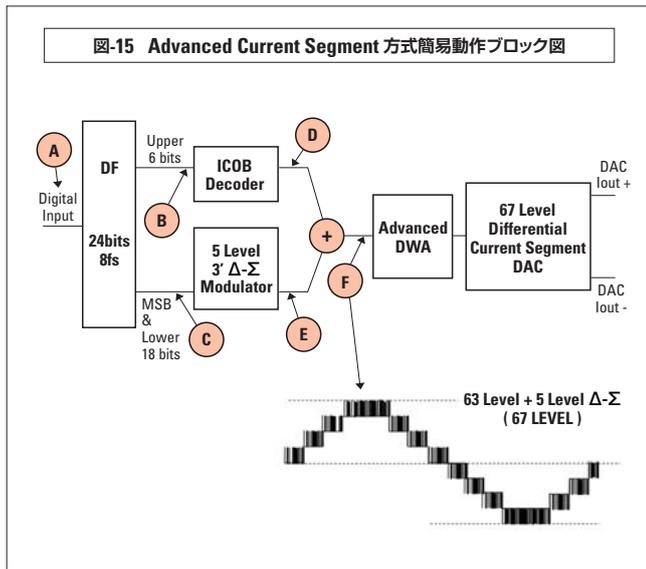


図-16に5レベル3次 $\Delta\Sigma$ 変調器のブロックを示します。 $\Delta\Sigma$ 変調器による1レベルの量子化の重み付けはフルスケールに対して $1/67$ なのでノイズ・シェーピングによるノイズ量そのものが他の方式に比べて低ノイズ化が実現でき、且つクロック・ジッターによる影響も量子化レベルが小さい分影響が少なくなります。

ここまではデジタル領域のためアナログ的誤差要素は有りません。この67レベル信号はDWA(Data Weighted Average)回路にて後段の差動カレントセグメントのゲインミスマッチングが最適化(最小化)され67個の差動カレントセグメントでアナログ信号に変換され出力されます。

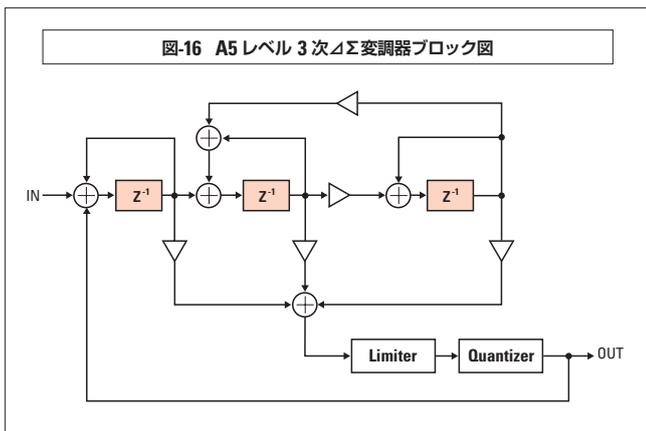
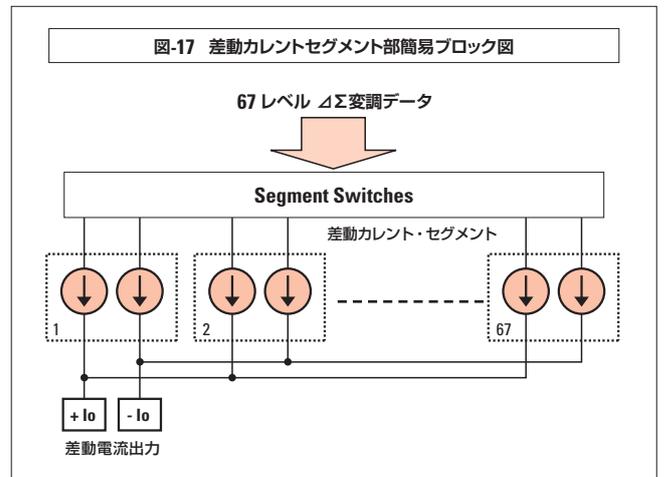


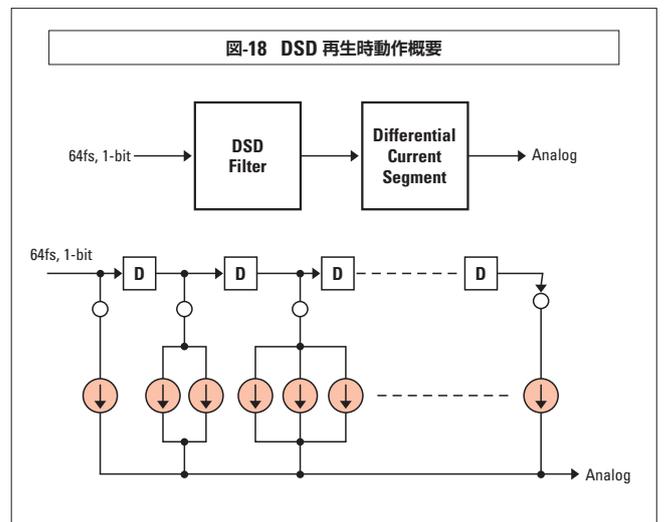
図-17に差動カレントセグメント部の簡易ブロック図を示します。この差動カレントセグメントの特長は67個の量子化レベルが同じアナログ電流ソース値(同じ重み付け)となっていることです。

この差動カレント・セグメントだけで16ビット量子化(分解能)を得ようとする、 $N=2^{16}=65536$ 個のセグメントが必要になってしまい実用的ではありません。また、差動カレントセグメントにバイナリーの重み付けをすればマルチビットDACと同様に、16ビットであれば16個のセグメント数で実現できますが、16個の各セグメント間のバイナリーの重み付けに対する誤差はマルチビット型DACの誤差(DLE)と同じアナログ精度が必要になります。67個のカレントセグメント間の誤差は前述のDWA回路で実用上問題無い範囲に最適化されており、事実、0dBFS出力でのTHD+N特性はTYP、0.0004%と極めて高いリニアリティを実現しています。



4-4-3. DSD(SACD)再生

67レベル・カレントセグメントのもうひとつの利点はDSD再生にあります。図-18にSACD再生での信号フローを示します。DSD信号のアナログへの変換はアナログFIRフィルタで実現しますが、67レベル・カレントセグメントはDSD再生においてはこのアナログFIRフィルタとして機能します。PCM1792Aでは、DSDフィルタ特性を4種類用意しており、ユーザーのアプリケーションのより最適な特性のものを選択することが可能です。



DSD 信号は再生 (変換) 周波数特性を決定する DSD フィルタ部で係数が与えられ 67 レベルのカレントセグメントは係数に対応した FIR フィルタとして動作し、アナログ信号に変換します。この動作は DSD 再生における基本的な原理と本質を損なわない方式となっています。他の製品では SACD 再生時には DSD-PCM 変換を内部で行っているものも多く見られますが、DAC デバイスとしては、DSD (SACD) フォーマットには対応していてもアナログ変換はその DSD 基本理念と異なる変換をしていることとなります。PCM1792 においては基本理念通りの FIR フィルタによるアナログ信号への変換を行っており、ここでも 67 レベル・カレントセグメント方式は性能、音質両面で大きな優位性をもっています。

4-4-4. PCM1792A における最高性能

PCM1792A の主要オーディオ特性は業界最高性能を有しています。

THD+N : 0.0004% TYP

D.Range : 127dB TYP(2Vrms)

129dB TYP(4.5Vrms)

132dB TYP(Mono Mode)

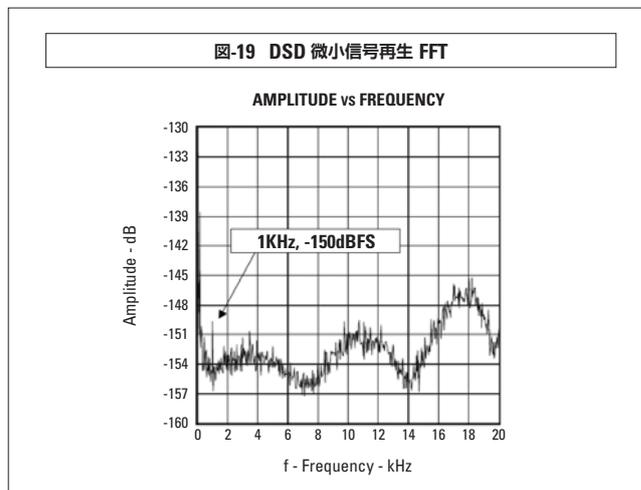
D.Range が出力レベルによって異なるのは、ノイズレベルが限界値であるため、対信号レベルとの比で信号レベルが高いほど有利になるためです。

ここで、単純計算で 2Vrms 信号に対しての -127dB は、約 0.45 μ Vrms となります。

すなわち、DAC デバイス+外部 I/V 変換回路+LPF 回路の総合特性として、1 μ V 未満のノイズレベルであることとなります。このノイズレベルはもう CMOS プロセスあるいはコンポーネント素子の熱雑音レベルに近いものであり、DAC デバイスとしてはほぼ限界性能レベルの低ノイズ性能となります。別の観点からは、外部能動素子 (オペアンプ IC)、CR コンポーネント素子のノイズも相応に低ノイズであることが求められます。DAC デバイスとして、ダイナミックに通常動作している中でのこのノイズレベルは驚異的な低ノイズであり、音質面においてもノイズ感の無い鮮明さ、クリア感に大きく影響していると思われます。また、67 個の差動カレント・セグメントはアナログ電流源として量子化 (振幅レベル) 軸に安定したパワー感を与えることにより音質面に大きく寄与していると言えます。

PCM 再生における THD+N 特性に関しては、図-7 に、微小信号再生能力については図-9、図-10 にそれぞれ示した通り優れた性能を有していますが、DSD 再生においても同等の性能が得られています。図-19 に Mono モードでの DSD 再生での微小信号 (DSD テスト・ディスクでの 1KHz、-150dBFS 信号) の FFT 測定例を示します。同図におけるノイズフロアなのでこぼこはテストディスクの信号によるものですが、注目すべきは、-150dBFS といった超微小信号に対しても信号スペクトラムが確認できるということです。

これは Advanced Current Segment 方式が極めて高い分解能を有していることを示しています。PCM 再生では最大 24 ビット・データに対応しているため、6dB x 24 = -144dB が再生信号最小理論値になります。一方、DSD 再生においては 1 ビット信号なので D.Range の限界は A/D 変換 (録音) 側の性能で決定されます。テストディスクの場合はデジタル処理で信号を作成できるので、この -150dBFS の信号が可能となっています。



4-4-5. Advanced Current Segment DAC ファミリー

表-1 に Advanced Current Segment 方式を用いている DAC モデル概要を示します。

モデル名最初の文字 PCM、DSD は PCM/DSD 信号インターフェースでのピン配置の違いを示しています。

PDM17xx : PCM と DSD のインターフェースが共用

DSD17xx : PCM と DSD のインターフェースが個別

また、オプション機能等の制御が Software (SPI)、Software (I²C)、Hardware の違いによりモデル化されています。

性能面では、PCM1792 ファミリー、PCM1796 ファミリー、PCM1791 ファミリーの 3 ファミリーで主要特性が異なり、PCM1792 ファミリーが最高性能となっています。また出力形式では、PCM1791 ファミリーでは差動電圧出力、他のファミリーは差動電流出力 (外部 I/V 変換必要) となっています。

5. 帯域外ノイズの考察

5-1. 帯域外のノイズの定義

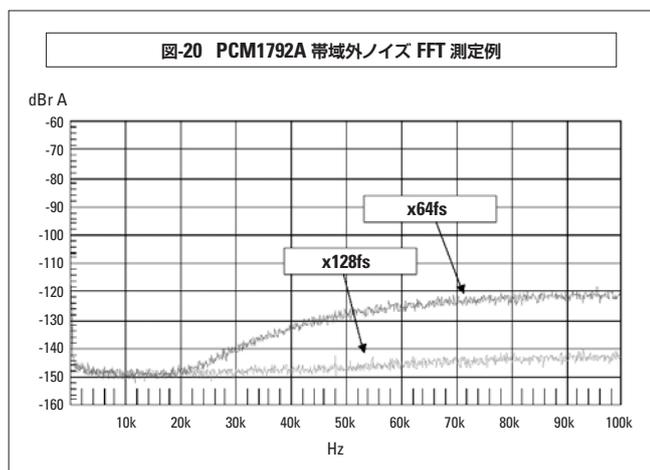
PCM 再生においては、 $\Delta\Sigma$ 変調の方式に関わらず全ての $\Delta\Sigma$ 変調を用いた DAC はノイズ・シェーピング動作により帯域外に大きなノイズが分布します。これは本来の分解能、量子化ステップ数で決定される量子化ノイズに対して、DAC デバイスで発生させているノイズとも言え、 $\Delta\Sigma$ 変調の宿命でもあり、 $\Delta\Sigma$ 変調を用いた DAC ではノイズレベルの大小はあるものの必ず存在しています

PCM1704の様なマルチビット型DACではその動作原理からノイズはナイキスト周波数までフラットの分布し、帯域外ノイズはありませんが。

一方、DSD再生においては、その動作理論($\Delta\Sigma$ 変調された1ビット信号)により $\Delta\Sigma$ 変調器(A/D側)自身の量子化特性での量子化ノイズ特性がそのまま信号となっています。PCMフォーマットでは、サンプリング周波数 f_s はCDDAで $f_s=44.1\text{KHz}$ 、DVDでは最大 $f_s=192\text{KHz}$ と規定されています。従って、

- 帯域内：ナイキスト周波数の $f_s/2$ 以内
- 帯域外：ナイキスト周波数の $f_s/2$ 以上

とここでは定義しています。もちろん帯域外ノイズに関して規格化されたものではありません。図-20にPCM1792A($f_s=48\text{KHz}$)における100KHzBWでの帯域外ノイズ・スペクトラム測定例を示します。x64fs、x128fsは $\Delta\Sigma$ 変調部のサンプリング・レート選択機能によるふたつのサンプリング・レートでの違いを表しています。



x64fs時の100KHzにおけるノイズレベルは-120dB/Hzですが、これは汎用DACのD.Rangeよりも小さいレベルです。

一方、DSDでは、 $\Delta\Sigma$ 変調器のオーバー・サンプリング周波数(2.8224MHz、44.1KHzのx64fs相当)をサンプリング周波数として扱っているので帯域に対する概念は異なります。DSDスカーレットBookにおける再生信号周波数レスポンス規定で判断することになります。

5-2. 帯域外ノイズと音質

結論からいうと音質への影響は多少あるものの“ノイズ”という観点からは帯域内のノイズの影響の方が圧倒的に大きいと言えます。

別の見方をすると、例えばDSD(SACD)再生では、PCM再生に比べて遙かに大きなレベルの帯域外ノイズが存在しているにもかかわらず音質面ではほとんど問題になっていないという事実もあります。

DACデバイスの性能グレードと帯域外ノイズは比例する傾向がありますが、同等グレードでのDAC音質比較においても帯域外ノ

イズの大小よりも変換方式による固有の音質傾向による差異の方が大きいという試聴結果もあります。

5-3. 帯域外ノイズの処理

ほとんどのデジタル・オーディオ製品のアプリケーションではDAC出力にポストLPFを接続してオーディオ出力を得ています。本来の目的は理論サンプリング・スペクトラム成分の除去ですが、帯域外ノイズの減衰も兼ねていることになります。

では、どのレベルまで減衰させればいいのかと言うと、明確な数値は無く各設計者の意図、経験、ノウハウのようなもので減推量を決定しているようです。

DVD-Audioでは $f_s=192\text{KHz}$ の場合、最大信号周波数は96KHzですのでこのフォーマットに対応するケースではポストLPFの通過帯域は100KHz程度になります。

聴感でのノイズ感、クリアー感は明らかに帯域内ノイズが圧倒的に影響しています。従って、ここでの結論は冒頭述べた通りで、帯域外ノイズ量の違いでの音質への影響は少ないと言えます。というより、ポストLPF回路での通過帯域設定(カットオフ周波数設定)や次数、LPF構成の違いによるポストLPF自身の位相特性、過渡応答性能の影響とあわせて検証する必要があります。

6. まとめ

本稿においては、主にデータ・シートやアプリケーション・ノート等で表現できないオーディオ用DACデバイスの仕様(性能)、内部動作、音質との関係について解説させていただきました。DACデバイス開発においては基本仕様以外にもチップ上のレイアウト、電源/GND接続、アナログ/デジタル分離等多くのノウハウが結集されBBブランドに相応しいオーディオDACデバイスとして製品化されています。

以下、簡単なSummaryを記述致しますが、本稿によって「最高性能への挑戦と音質へのこだわり」についてご理解いただければ幸いです。

- PCM1704等のマルチビット型DACと一般的な $\Delta\Sigma$ 型ワンビット型DACでは明らかな音質傾向の違いがあります。PCM1704の音の良さは主観要素ではありますが特筆すべきものです。
 - オーディオ特性の仕様(THD+N、D.Range)はDACデバイスの性能を表す重要なパラメータです。
 - THD+Nにおいては絶対値だけでなくその構成成分も考慮する必要があります。
- PCM1704等のマルチビット型DACと $\Delta\Sigma$ 型ワンビットDACでは成分構成が異なります。
- THD+N特性評価パラメータは実際の音楽信号の範囲から逸脱したものは有効とは言えません。

- CDDAに代表される16ビット量子化アプリケーションにおいても24ビット分解能高性能DACの高性能は有効です。
- THD+N,D.Range各特性において、並、中、上等の仕様(特性)の差異は音質の観点からも同様な差異となって現れます。同一グレード間での僅かな差異は優劣の重要要素ではありません。
- $\Delta\Sigma$ 変調器の量子化ステップ数をマルチ化する手法は一般的によく用いられていますが、マルチ化したあとの実際のアナログ信号への変換方式が重要です。
- マルチビットの思想とワンビット技術の組み合わせは性能、音質、コスト等で優れた製品開発への最適なソリューションのひとつです。
- アナログ・カレントセグメントによるアナログ変換は、SCFの音質へのマイナス要素を解決し音声面でマルチビットの優位面を継承するソリューションとなっています。
- PCM1792AファミリーでのAdvanced Segment DAC方式は性能、音質面両方での最高グレードを実現しています。特に67レベル・カレントセグメントを用いた変換方式はマルチビット型DACの力強さと $\Delta\Sigma$ 型DACの繊細を兼ね備えたもので、最高性能への挑戦と音質へのこだわりが結集された製品となっています。
- PCM1792AはSACD再生においてもその動作理念通りのアナログ信号への変換を行っているDACで、SACDの利点を最大限活用できます。
- 帯域外ノイズはマルチビット型DACでは理論的に存在せず、 $\Delta\Sigma$ 型DACでは $\Delta\Sigma$ 変調器とLPF機能との総合でその量が決まります。SACDは動作理論から、帯域外ノイズといった見方をすればPCM再生に比べてはるかに大きなレベルとなります。音質との関係は帯域外よりも帯域内の方がはるかに重要であり、同等レベル間での優劣はつけられません。

参考資料

「歴代DACの方式とその特性 音質評価」

河合 一著 ラジオ技術 2006年11月号、12月号

「オーディオ用D-A変換回路の性能と音質」

河合 一著 日経エレクトロニクス 2006年11月20号、12月4日号

図-20 PCM179x ファミリー製品概要

Model	THD+N (%)	D.Range (dB)	Output Type	Control
PCM1791Families				
PCM1791A	0.001	113	Differential Voltage	Soft
DSD1791A	0.001	113	Differential Voltage	Soft
PCM1793A	0.001	113	Differential Voltage	Hard
DSD1793A	0.001	113	Differential Voltage	Soft (I ² C)
PCM1792Families				
PCM1792A	0.0004	127	Differential Current	Soft
DSD1792A	0.0004	127	Differential Current	Soft
PCM1794A	0.0004	127	Differential Current	Hard
DSD1794A	0.0004	127	Differential Current	Soft (I ² C)
PCM1796Families				
PCM1796A	0.0005	123	Differential Current	Soft
DSD1796A	0.0005	123	Differential Current	Soft
PCM1798A	0.0005	123	Differential Current	Hard

販売特約店 及び 取扱店

<http://www.tij.co.jp/dist/>

株式会社 アムスク

〒180-8534 東京都武蔵野市中町1-15-5 三鷹高木ビル
☎ 0422 (54) 7100 FAX 0422 (37) 2549

株式会社 日立ハイテクトレーディング

電子デバイス営業本部
〒105-8418 東京都港区西新橋1-24-14 日製産業ビルディング3階
☎ 03 (3504) 7921 FAX 03 (3504) 7903

株式会社 ケィティーエル

第2デバイス事業部
〒105-0004 東京都港区新橋1-16-4 りそな新橋ビル6階
☎ 03 (5521) 2062 FAX 03 (3502) 6301

新光商事株式会社

本社 TI販売推進部
〒141-8540 東京都品川区大崎1-2-2
アートヴィレッジ大崎セントラルタワー13階
☎ 03 (6361) 8082 FAX 03 (5437) 8486

東京エレクトロンデバイス株式会社

インダストリープロダクト1部
〒222-0033 神奈川県横浜市港北区新横浜3-17-5 ベネックスS-2ビル4階
☎ 045 (474) 5256 FAX 045 (474) 5781

富士エレクトロニクス株式会社

本社
〒113-8444 東京都文京区本郷3-2-12 御茶の水センタービル
☎ 03 (3814) 1411 FAX 03 (3814) 1414

丸文株式会社

デバイスカンパニー 東日本第1本部 (東京本社)
〒103-8577 東京都中央区日本橋大伝馬町8-1
☎ 03 (3639) 9920 FAX 03 (3639) 8156

日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

お問い合わせ先

日本TIプロダクト・インフォメーション・センター (PIC)
URL:<http://www.tij.co.jp/pic/>

本社

〒160-8366 東京都新宿区西新宿6-24-1 西新宿三井ビル
☎ 03 (4331) 2000 (番号案内)

西日本ビジネスセンター

〒530-6026 大阪府大阪市北区天満橋1-8-30 OAPオフィスタワー26階
☎ 06 (6356) 4500 (代)

※赤のバナーデザインは、テキサス・インスツルメンツの商標です。
※その他の製品、名称および登録商標は各社の商標です。

工場

大分県・日出町 / 茨城県・美浦村
神奈川県・厚木市 (厚木テクノロジー・センター)
茨城県・つくば市 (筑波テクノロジー・センター)

S-0107

ご注意:

本資料に記載された製品・サービスにつきましては予告なしにご提供の中止または仕様の変更をする場合がありますので、本資料に記載された情報が最新のものであることをご確認の上ご注文下さいませようお願い致します。

TIは製品の使用用途に関する援助、お客様の製品もしくはその設計、ソフトウェアの性能、または特許侵害に対して責任を負うものではありません。また、他社の製品・サービスに関する情報を記載していても、TIがその他社製品を承認あるいは保証することにはなりません。



ご注意

日本テキサス・インスツルメンツ株式会社(以下TIJといひます)及びTexas Instruments Incorporated(TIJの親会社、以下TIJないしTexas Instruments Incorporatedを総称してTIといひます)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。従ひまして、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ご確認下さい。全ての製品は、お客様とTIJ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TIJの標準販売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ひ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TIJとの間で合意された保証条件に従ひ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という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、保証もしくは承認をする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、か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ひません。

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、かつ不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。

TIは、TIの製品が、安全でないことが致命的となる用途ないしアプリケーション(例えば、生命維持装置のように、TI製品に不良があった場合に、その不良により相当な確率で死傷等の重篤な事故が発生するようなもの)に使用されることを認めておりません。但し、お客様とTIの双方の権限有る役員が書面でそのような使用について明確に合意した場合は除きます。たとえTIがアプリケーションに関連した情報やサポートを提供したとしても、お客様は、そのようなアプリケーションの安全面及び規制面から見た諸問題を解決するために必要とされる専門的知識及び技術を持ち、かつ、お客様の製品について、またTI製品をそのような安全でないことが致命的となる用途に使用することについて、お客様が全ての法的責任、規制を遵守する責任、及び安全に関する要求事項を満足させる責任を負っていることを認め、かつそのことに同意します。さらに、もし万一、TIの製品がそのような安全でないことが致命的となる用途に使用されたことによって損害が発生し、TIないしその代表者がその損害を賠償した場合は、お客様がTIないしその代表者にその全額の補償をするものとします。

TI製品は、軍事的用途もしくは宇宙航空アプリケーションないし軍事的環境、航空宇宙環境にて使用されるようには設計もされていませんし、使用されることを意図されておられません。但し、当該TI製品が、軍需対応グレード品、若しくは「強化プラスチック」製品としてTIが特別に指定した製品である場合は除きます。TIが軍需対応グレード品として指定した製品のみが軍需品の仕様書に合致いたします。お客様は、TIが軍需対応グレード品として指定していない製品を、軍事的用途もしくは軍事的環境下で使用することは、もっぱらお客様の危険負担においてなされるということ、及び、お客様がもっぱら責任をもって、そのような使用に関して必要とされる全ての法的要求事項及び規制上の要求事項を満足させなければならないことを認め、かつ同意します。

TI製品は、自動車用アプリケーションないし自動車の環境において使用されるようには設計されていませんし、また使用されることを意図されておられません。但し、TIがISO/TS 16949の要求事項を満たしていると特別に指定したTI製品は除きます。お客様は、お客様が当該TI指定品以外のTI製品を自動車用アプリケーションに使用しても、TIは当該要求事項を満たしていなかったことについて、いかなる責任も負わないことを認め、かつ同意します。

Copyright © 2009, 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 °C、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ひ基板実装すること。

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 °C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