

PCM から PDM/PWM 変換時に生じるノイズを聞こえなくする！

フルデジタル・アンプに必要な信号処理の概要

河西 宏之
Hiroyuki Kawanishi

■ はじめに

デジタル・アンプの登場によって、オーディオ機器もパワー増幅段までフルデジタル処理が可能になりました。本稿では、CD などからの PCM フォーマットのデジタル信号がデジタル・アンプの FET ブリッジにたどり着くまでに、どのような信号処理が行われるのかを解説します。特に $\Delta\Sigma$ 変調型ノイズ・シェーパに焦点を絞り、わかりやすく解説していきたいと思います。

デジタル・オーディオ・データの
入力形式と出力形式

■ デジタル・オーディオ・データの
入力形式

● PCM フォーマット

CD や DVD などの記録メディアや、デジタル放送などから入力されるデジタル・オーディオ・データは、一般に PCM (Pulse Code Modulation) フォーマットと呼ばれています。これはオーディオの信号を、特定の周波数と量子化されたレベルで標本化したものです。図1に PCM 信号の概念図を示します。

時間軸の刻みの細かさは標本化周波数で、信号レベルの刻みの細かさは2の補数形式のデジタル値の量子化ビット数で決まります。現在広く使われている PCM の標本化周波数と量子化ビット数は、表1のようになっています。

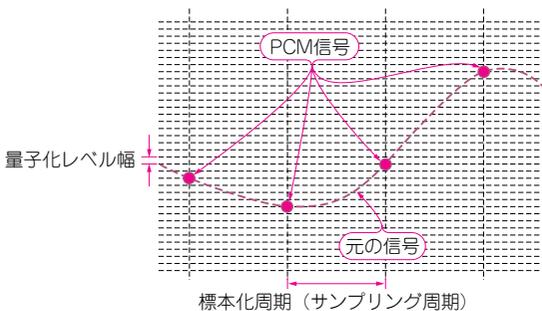
● DSD フォーマット

SACD (Super - Audio CD) には、DSD (Direct Stream Digital) というフォーマットが使われています。これは、デジタル・アンプへの出力形式にも利用されている PDM (Pulse Density Modulation) 形式と同様です。PDM の詳細は後述します。

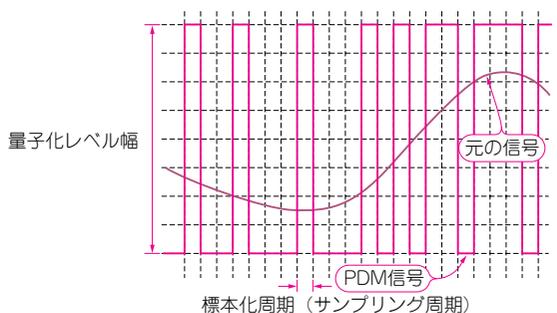
■ デジタル・アンプ・ドライバへの
出力形式

デジタル・アンプの出力段は、まさに FET の ON/OFF だけで、レベルが2値の1ビット信号が必要です。現在一般に使われている形式としては、パルス

〈図1〉 PCM 信号



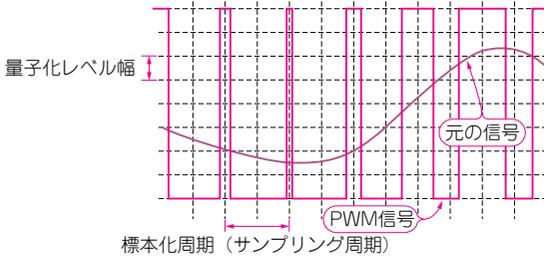
〈図2〉 PDM 信号の例



〈表1〉各メディアの標本化周波数と量子化ビット数

メディア	方式	標本化周波数 [Hz]	量子化ビット数 [ビット]
CD/MD	PCM	44.1 k	16
DVD	PCM	44.1 k, 48 k, 88.2 k, 96 k, 176.4 k, 192 k	16/20/24
SACD	DSD (PDM)	2.8224 M	1

〈図3〉 PWM 信号の例



注▶ ここでは最小パルス幅を量子化レベル幅として換算し縦軸に表現した。

の密度で制御するPDM (Pulse Density Modulation) と、パルスのON時間の幅で制御するPWM (Pulse Width Modulation)の二つの方式が挙げられます。

● PDM方式

PDM 信号の例を図2に示します。PDM方式では、各信号のビット列の密度で波形を表すため、各ビットのパルス幅を標本化周期と考えることができます。この周期を短く、つまり標本化周波数を高くすれば、信号の精度が良くなります。

先ほど説明したように、SACDのDSDフォーマットはPDM方式の信号であり、標本化周波数はCDの44.1 kHzに対して64倍の2.8224 MHzです。

この方式では各ビットの量子化レベルが2レベルしかありませんが、高速にサンプリングすることで応答周波数を高くできます。そのため、標本化時刻からのずれに起因する非線形ノイズの影響を受けにくくなります。

● PWM方式

PWM 信号の例を図3に示します。PWM方式では、標本化周期内でパルスの幅を変化させて、多値レベルを表現します。PWM方式では、レベル数を多くすれば各標本化時刻での量子化誤差を少なくできます。しかし、各ビットの幅を制御するクロック周波数がレベル数と標本化周波数の積になるため、標本化周波数が上げられません。そのため、標本化時刻からのずれに起因するノイズの影響を受けやすくなります。

PWM方式のフルデジタル・アンプでは、レベル数は32～64値で、16～32倍のオーバーサンプリングを行うものが多いようです。

■ PCM から PDM/PWM へ変換

PCM 信号の入力からデジタル・アンプの出力までの信号の流れを図4に示します。音質の劣化を最小限に留めながらPCM形式からPDM/PWM形式へデジタル変換するには、以下の処理が必要です。

- PCMフォーマットのサンプル・レート変換
- オーバーサンプリング処理
- ノイズ・シェーパによる再量子化処理とPDM/PWM変換

以降では、それぞれの処理について詳細を説明します。

サンプル・レート変換とオーバーサンプリング処理

■ サンプル・レート変換

表1でも示したとおり、PCMフォーマットの標本化周波数は多種存在します。PDM/PCM出力の標本化周波数をその都度変えないためには、まず44.1 kHz系や48 kHz系などのPCM信号をサンプル・レート変換して、基準とする周波数ベースに乗せます。それからPDM/PWM出力で利用する16～64倍の周波数にオーバーサンプリングします。

44.1 kHz系と48 kHz系のサンプル・レート変換は、市販の非同期型サンプル・レート・コンバータICのSM5849 [日本プレジジョン・サーキット(株)]などで行うことができます。

● 非同期サンプル・レート変換

44.1 kHzのPCM信号を48 kHzのPCM信号に変換する非同期型サンプル・レート・コンバータの概念を簡単に述べます。図5は、時間軸上で見た変換処理を示しています。また図6は、周波数軸上で見た変換処理を示しています。

▶ 44.1 kHzのPCM信号の状態

図5(a)や図6(a)のようになっています。図5(a)からわかるように、時間軸上では44.1 kHzの周期単位に、離散的なレベルをもつ信号が存在しています。また図6(a)を見ると、周波数軸上ではDCから22.05 kHzまでの領域の信号成分と、44.1 kHzの整数倍の周波数を中心とした折り返しノイズが存在しているのが

〈図4〉 デジタル信号入力からデジタル・アンプ出力までの処理

