

# デジタルオーディオ技術の基礎 その1

これから六回に分け、デジタルオーディオ技術の基礎について解説します。デジタル技術が皆さんにとって当たり前になっている現在、機器やシステムがどのような原理で動作しているか、そのポイントを知っておくことで目的に見合った機器選定や万が一のトラブル回避ができると思います。なお、この連載ではいわゆる教科書風ではなく、筆者の経験に基づいた口語体で解説を進めていきたいと思います。

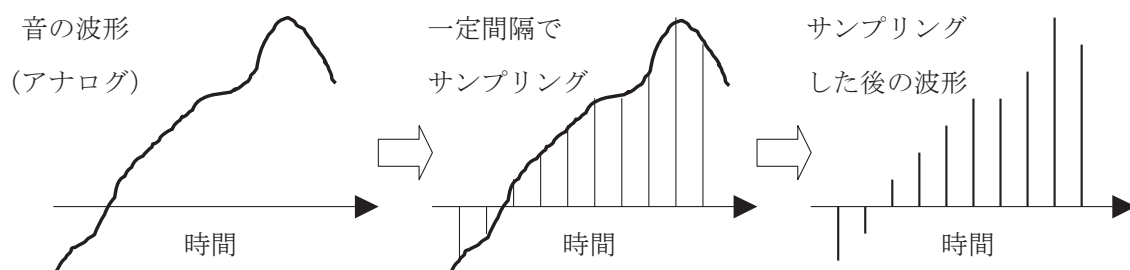
さて、皆さんはデジタルオーディオと聞かれて何を想像されますか？ CDやMD、もちろんDVDだって絵も音もデジタルのはず、BS放送や最近のBSデジタルもそうだ、等々思い出されると思います。実は、今挙げたものは大きく二つの種類が存在します。それは、「元の音ほぼそのままのもの」と「聴いて(見て)分からない程度に音を削ったもの」です。前者はCDやDAT、そしてスタジオで使われているデジタルマルチテープレコーダやハードディスクレコーディングです。後者はMDやDVDです。後者は、最近PCなどでもよく聞かれる「圧縮」という技術で音や絵のもつ情報量を我々の耳や目に違和感無く削ったものです。

さて、デジタルオーディオの基礎は前者の「元の音ほぼそのままのもの」つまりCDに入っているデジタル信号の成り立ちを理解することでその90%を理解することが出来ます。残りの10%が「圧縮」や他のことって私は思っています。さきほど、圧縮の説明で情報量を削ると述べましたが、情報量ということを経験で理解するのもCDは格好の材料です。CDの中身のデジタル信号を学習することで、サンプリング周波数、AD/DA変換のビット、デジタルプロセッサーやミキサーの中身、デジタル伝送(例えばCobraNet™)、音響解析ツールのFFTやTEFTM、等々の原理がすらすら(ちょっとオーバーですが)と分かるはず

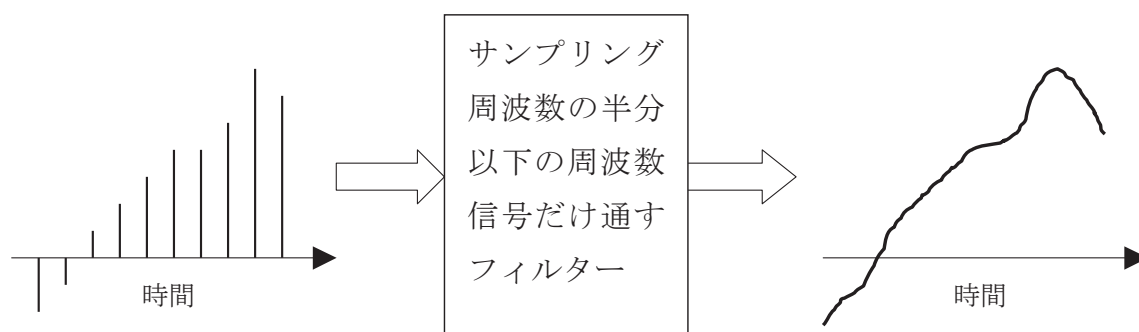
ということで、次号ではCDについて絵を用いながら解説したいと思います(蛇足ながら、CDの円盤の穴がどうかプレーヤーの読み取りサーボ回路の話じゃなくて、中に入っているデジタルオーディオ信号の話です)。

## デジタルオーディオ技術の基礎 その2

二回目の今回はCDのデジタルオーディオ信号の実際を解説します。皆さんはサンプリングと聞かれて何をイメージされますか？ 以下の図をご覧ください。



CDの場合、上記のサンプリング間隔は一秒間に44100回の一定間隔で行われていて、周波数にして44.1kHzです。プロオーディオ機器では48kHzが普通です。なぜそんな周波数になったかと言うと、サンプリング周波数の半分以下の周波数にあたる信号は元のアナログ信号に復元できるという法則があるからです(サンプリング定理と言います)。



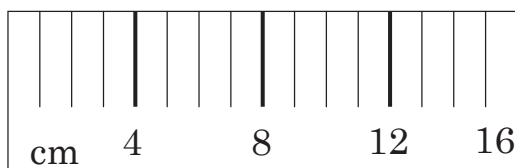
耳が聴こえる限界は一般的に20kHzまでという経験に基づき、CDではその倍である40kHzをやや超える周波数でサンプリングしているわけです。もちろん、最近では96kHzや192kHzでサンプリングされたものも出現しています。その場合、当然復元できる信号の上限周波数は2倍、4倍と伸びていきます。

さて、サンプリングした後の波形はまだCDに入っているデジタル信号ではありません。この段階の信号は、時間が飛び飛びに離れて散っているのでディスクリット信号(離散的信号)と言います。次回は、ディスクリット信号からデジタル信号に変換する仕組みについて解説します。

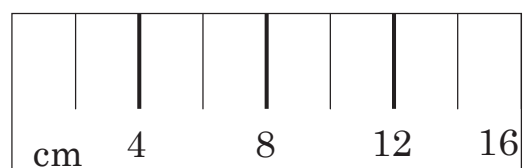
## デジタルオーディオ技術の基礎 その3

今回は、アナログの音を一定周期でサンプリングしたディスクリート信号について解説しました。一定周期とはCDの場合は44.1kHzでしたね。これをサンプリング周波数と言います。また、サンプリング周波数の半分(CDの場合は約22kHz)以下の音はディスクリート信号から元のアナログ信号に完全に復元できることも解説しました。

さて、ディスクリート信号は単に時間的にぶつ切りの信号というだけで、一つの信号の大きさはまだアナログです。つまり、デジタル信号ではありません。アナログをデジタルに変換するということはどういうことか、それが今回のテーマです。まず、下の二つの定規を見てください。



定規 A



定規 B

A・Bどちらも16cmの定規ですね。違いは定規に打ってある目盛りです。Aは1cm刻み、Bは2cm刻みです。さて、ここで問題です。この二つの定規はデジタルオーディオでとても重要なある物を意味しています。それはなんでしょうか？正解は、ADコンバータ、別名アナログデジタル変換器です。

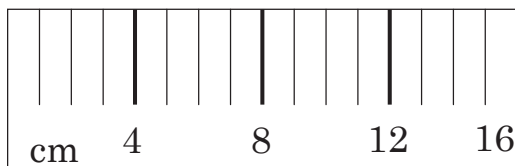
アナログ値をデジタル値に変換するということは、定規である物を測り、その値を読むということに等しいのです。オーディオの場合、測る対象物は音をサンプリングして作ったディスクリート信号一本一本の大きさです。

さて、定規の目盛りはある間隔で刻まれたもので無限ではありません。なのでほとんどの場合目盛りと目盛りの間に測りたい物が来てしまいます。その場合二つの目盛り間のどちらか近い方で読み取ることになりますが、元のアナログの値と読み取ったデジタル値には誤差が生まれます。それは通常「ジャー」という小さな雑音として耳に聞こえます。

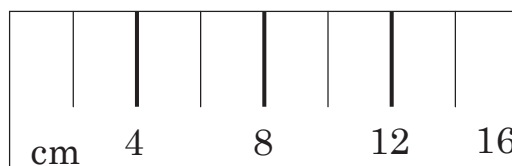
では、AとBのどちらの定規がより正確に長さを測れるでしょうか。

そうです、Aです。ちなみに、Aは4ビットADコンバータ、そしてBは3ビットADコンバータです。何故そうなるのか、次回はデジタル信号を表すビットについて解説します。

## デジタルオーディオ技術の基礎 その4



定規 A



定規 B

前回、ADコンバータ(アナログをデジタルに変換するもの)は定規で物を測るようなもので定規の目盛りの細かさがビットにあたる、という説明で終わりました。そして、定規Aは4ビットADコンバータ、定規Bは3ビットADコンバータであるとも言いました。今回は、まずその違いを説明しビットに対して理解していただこうと思います。

定規Aは16cmの長さに対して目盛りが1cm刻みで付いています。Bは2cm刻みです。つまりAの方が倍の細かさです。また別な見方をすると、Aは全体の長さを16分割した目盛りが刻んであり、Bは8分割した目盛りが刻んであります。これから、三つのことがお分かりになると思います。すなわち、倍の細かさは $4 - 3 = 1$ ビットの違い、4ビットは16分割、3ビットは8分割。

さて、ビットはデジタルを表すものです。デジタルは、1と0、あるいは有るか無いか、です。よって下記の表のように、1ビットで表せるものは1か0かの2通りの状態です。2ビットでは、2通りの状態に2通りの状態を掛けた4通りの状態を表すことができます。3ビットでは、2ビットで表せる状態にもう1ビット分の2通りの状態を掛けた8通りの状態を表すことができます。

1ビット ▪ 0, 1

2ビット ▪ 00, 01, 10, 11

3ビット ▪ 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111

定規Aが4ビットのADコンバータというのは、2の4乗=16通りの表現が出来るからであり、定規Bが3ビットというのは2の3乗=8通りの表現ができるからです。例えばCDには16ビットの定規で測ったデジタルオーディオ信号が入っています。つまり、2の16乗=65,536通りの表現のオーディオ信号が入っているわけです。凄い分解能のように思えますが、人間の耳は本当の音と16ビットで表現した音との違いをかなり聞き分け出来ます。だからどんどんビットは上がってきて今は24ビットが主流です。

今回は、応用編として代表的なデジタル機器の中身を解説します。

## デジタルオーディオ技術の基礎 その5

前回まではデジタル信号が何なのか解説しました。音を時間的にぶつ切りにしてそれをビットで表す(有限の目盛りが打ってある定規で測る)、時間ぶつ切りの細かさが周波数帯域を決めビット数の多さがS/Nを決める、と説明しました。その目安はこんな感じです。

$$\begin{aligned} \text{サンプリング周波数}(F_s) \div 2 &= \text{周波数帯域の上限} \\ \text{ビット数} \times 6 &= \text{S/N dB (実際は} \times 5 \text{弱)} \end{aligned}$$

さて、最近のプロデジタル機器は24ビットが主流ですが、サンプリング周波数(以下 $F_s$ )は48/96/192kHzと色々で中にはユーザーが選べる機器があります。帯域は広いほうが良いにきまっているのに何故 $F_s$ が統一されないのか、その理由は色々あるのですが筆者が開発エンジニアということから機器開発の観点から解説したいと思います。

デジタル機器には必ずデジタルシグナルプロセッサ(以下DSP)が入っていて音を色付けしたり交通整理をしたりミキシングをしたりしています。DSPには車のエンジンと同じように馬力のような概念があり、実際に我々はそれをエンジンパワーと呼んでいます。エンジンパワーはたいていMFLOPS(メガフロップス)という単位を使います。MFLOはメガフローティングオペレーション(百万浮動小数点演算命令)PSはパーセコンド(一秒当たり)という意味で、一秒あたりにこなせる命令数を表します。

$F_s$ が倍になるとぶつ切りの間の時間が半分になり、その間に全ての仕事をこなさねばならないDSPは倍の忙しさになります。しかし、DSPは時間あたりにこなせる命令数は一定ですから、例えば100バンドのEQで手一杯のDSPは $F_s$ が倍になると50バンドの処理しかできません。結果、100バンド処理するには倍の個数のDSPが必要になりコストに直接影響します。よって、20kHz帯域をカバーできる48kHz $F_s$ の機器がまだ主流なわけです。

サンプリング周波数( $F_s$ )を倍にするとDSPも倍の個数必要  
⇒製品に求められる仕様とコストのバランスで $F_s$ は決定されている

さて、次回はいよいよ最終回です。最終回は「圧縮」「パケット処理」「1ビット処理」など新しい技術について解説したいと思います。



# デジタルオーディオ技術の基礎 最終回

最終回は応用編です。あまり話題を広げると收拾がつかなくなりますので「圧縮」「パケット」の二つに絞ります…予定していた「1ビット処理」は紙面の関係で割愛します。

## 圧縮

CDと比較してMDは円盤が小さく、入っているデジタルデータの量は少ないです。データの数が少ないのにMDは何故CDと同じくらいの音質で再生されるのか、その手品のタネが圧縮技術です。タネはとてもシンプルです。すなわち、人間の耳に聴こえにくい情報を捨てる、というものです。代表的な二つの例をご紹介します。人間はある周波数の音を聴いていると、別の近い周波数の音が鳴ってもその音が小さければ聴こえないという特徴があります。また、大きな音が鳴った場合そのすぐ前後の音は聴こえなくなる特徴もあります。そういった実際には存在する音でも人間の耳には聴こえないものについては削ってしまう、というのが圧縮の基本です。圧縮するためには音を分析して聴こえない音を見つけ削る処理をしなければなりません。それも一瞬の間に行う必要があります。一昔前では不可能でしたが、DSPの発達と聴覚研究のおかげで今では1チップで可能になりました。オーディオ圧縮は画像圧縮技術と共にDVDやデジタルTV放送のキー技術となっています。

## パケット

パケットとは情報の束という意味で、PCネットワークの基本技術です。ここでは、音のパケット伝送をご紹介します。皆さんは、CDプレーヤーとMDプレーヤーを光接続して録音されたことがあると思います。あの光ケーブルには16ビットのデジタル信号が再生された順番通りに連続して流れていますが、それをパケットとは言いません。BOSEにBDNというイーサネットを使って音を送る製品があります。そのイーサネットケーブルの中を見てみると24ビットのデジタル信号が64個分束ねられて送られています。これがパケットです。束ねることで色々便利なことがあります。イメージとしては音の小包と思って下さい。その音の小包には、送り元、宛先、発送日時等々が書かれています。音の小包を受け取った時、いつ誰が出したものが分かる仕組みになっています。その結果、ケーブルさえつなげば、好きなところに音を送ったり、好きなところから音をもらったりできます。今までのデジタル接続は、中身はデジタルと言うもののアナログと同じ垂れ流しのやり方でしたが、パケット伝送は音をまるで小包のようにネットワークにつながった色々な場所へ自在に送れます。米国を中心にプロの世界ではパケット伝送が主流になりつつあります。

以上で、「デジタルオーディオ技術の基礎」を終わります。舌足らずな内容でしたが、皆様のお役に立っていれば幸いです。半年間、ご精読ありがとうございました。