

4回目：デジタルオーディオ機器 (2016-6-29)

概要：ソニーのウォークマンから始まり、CD、MDと記録メディアが変遷し、現在は iPod に代表されるデジタルオーディオプレーヤーの技術を、信号処理とハードウェアの観点から解説する。

<音楽メディア／モバイルオーディオ機器の歴史>

楽曲の頒布は、長い間、レコード盤で行われていた。回転数は、毎分 78 回、45 回、33 回と変遷。

1962 年 フィリップス（オランダ）より、（コンパクト）カセットテープが発売。

1979 年 ソニーより、再生専用で音楽再生向けの（カセットテープ）ウォークマンが発売。
オープンリールテープに比べ、ダイナミックレンジが狭く、音質の点では問題があった。

1982 年 ソニーとフィリップスにより CD が開発され、CD プレーヤーが発売（168,000 円）。

1984 年 携帯型の CD ウォークマン（ディスクマン）が発売。音飛びの問題が解消された（データを先読みしてメモリに保存しておく）

1992 年 光磁気ディスクを用いた、MD（ミニディスク）ウォークマンが発売される。
コピーの問題を防ぐため、CD からのコピーは、一旦、音声（アナログ）信号にしてから行われた。このため、デジタルデータとしてのコピーは完全ではなかった。

2000 年 フラッシュメモリを用いた、ネットワークウォークマンが発売される（ソニー）。

2001 年 アップル社より iPod が発売され、ハードディスクやフラッシュメモリを用いた、本格的な携帯型デジタルオーディオプレーヤー時代を迎えた。

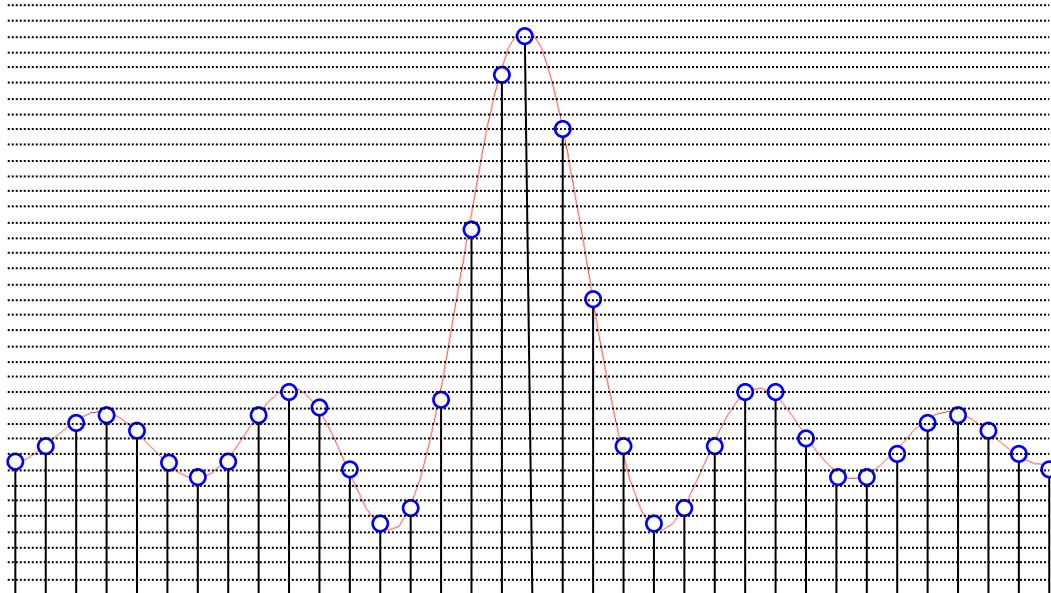
iPod 成功のポイントは、

- ①自分の所有する楽曲（たとえば CD、数 100 枚分）を常に携帯できることを目標とし、当時、実用化されつつあった、**小型ハードディスク（数 GB～数 10GB）** を採用した。
- ②CD をコンピュータのファイルにして、**音声圧縮**するソフトを提供した（リッピング）。
- ③ネットを利用して、楽曲を有料でダウンロードできる仕組み（iTunes）を作った。
(当初、この仕組みは、音楽業界から、大きな反発を受けた)

CD や MD を用いた携帯型オーディオプレーヤーは、次第に市場から撤退。

<アナログ信号のデジタル変換>

通常、左右 2 本のマイクロフォンで収録された音声信号は、音圧が電圧に変換された電気信号（電圧信号）である。音声信号をデジタル化するためには、電圧をデジタル値に変換する。この変換を行うユニットが、**アナログ-デジタル変換器**（Analog-to-digital converter : AD converter もしくは ADC）である。



アナログ信号のデジタル化は、上に示すように、通常、一定の時間間隔（サンプリング間隔、この逆数をサンプリング周波数もしくは、サンプリングレートという）で行われる。

量子化誤差：連続量である電圧信号をデジタル値にするととき、デジタル値がとびとびであることに発生する真の値との誤差。デジタル分解能（通常、ビット数で表現： 2^N に分解）を向上させることにより減少する。

エリアジング：ある周波数の信号をサンプリングするとき、

「その周波数の 2 倍以上のサンプリング周波数で標本化すれば、正しい周波数が再現される」
(ナイキストの定理)。

この条件が満たされない場合に、虚偽の信号が現れる現象を、エリアジングと呼んでいる。

（例）映画やテレビで、回転するプロペラや自転車の車輪が、逆回転して見える現象。

たとえば、コンパクトディスクは、ビット分解能 16 ビット、サンプリング周波数は 44.1kHz であるが、これにより、22.05kHz までの音声周波数を忠実に再現することができる。

人間の可聴周波数は、20Hz～20kHz と言われているので、このサンプリング周波数は、十分な周波数と考えられている。もちろん、これでは不十分であるという説もある（→スーパーCD）。

<CD（コンパクトディスク）（1982年）>

CDでは、16ビット（2バイト）、ステレオで2CH、サンプリング周波数が44.1kHzであるので、1秒間記録するための記憶容量は、

$$2\text{byte} \times 2\text{CH} \times 44.1 \times 1000 = 176400 \text{ bytes} \quad (172.27 \text{ kbytes})$$

1時間では、 $172.27 \times 3600 = 620156.25 \text{ kbytes} = 605.6 \text{ Mbytes}$ となる。

CDの記録時間は、ベートーベンの交響曲第九番（約75分）が収録できるようにと、ヘルベルト・フォン・カラヤン（ベルリンフィル常任指揮者）がソニーの当時の社長（大賀典雄）にアドバイスしたことによって決まったと言われている（一つのたとえ話である）。現在でも、「オーディオ音源の標準仕様」となっている。

44.1kHzという半端な周波数が使われているのは、ソニーが開発段階で、音声のデジタル記録に、ビデオテープレコーダー（VTR）を使ったからである。テレビの水平同期周波数は、15.75kHzであり、水平走査の間に3点の記録、走査線の数525本の内、35本は使用しないことから、
 $15.75\text{kHz} \times 3 \times (525-35) / 525 = 44.1 \text{ kHz}$ となった（「ソニーのエゴ」で決められたというのを、私の出身研究室の先輩であるソニーの方から、実際に聞いた話です）。

<MD（ミニディスク）（1992年）>

直径64mmの光磁気ディスクが、縦横72mm×68mmのケースに入れられた構造を持つ。当初は、CDを置き換えることを目標としていたが、コピーによる音質低下の問題などがあり、日本国内でしか普及しなかった。

<音声圧縮技術>（この部分は、講義では一部しか話していませんが、参考のために掲載します）

CDには、1時間くらいの記録しかできないので、より多くの楽曲を、限られた記憶容量のメディアに記録するためには、データ圧縮の手法が必要となる。

音声圧縮には、情報が失われない可逆圧縮法と、一部の情報が失われる（ただし、ほとんど知覚されない）非可逆圧縮法がある。

- ・可逆圧縮法は、せいぜい50%くらいの圧縮しかできない（音声は冗長性が少ないため）。
- ・非可逆圧縮法を使うと、10%程度へ圧縮することも可能である。

非可逆圧縮法の代表的手法が、MP3（MPEG audio Layer-3）であり、1411.2 kbps（kilo bit per second：CDの規格である44.1kHz×32ビットの信号）の音声信号を、音楽では128 kbps（9%）、会話ならば32 kbps（2.3%）へと圧縮することも可能である。

この手法は、CDをHDDやフラッシュメモリに保存する手法として広く普及した。

（注）MPEG：Motion Picture Expert Group