

世界に一つだけ!

トランスタ技術増刊

ト
ラ
技

エレキ工房

No.
4

24ビット・
ハイRez対応

特
◎
集

完全デジタル!

ダイレクトUSBヘッドホン

見本

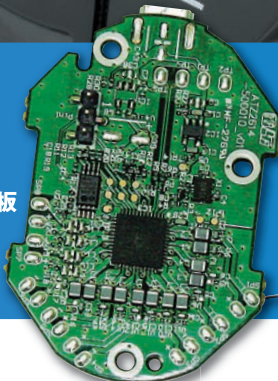


組立
キット
限定生産

● 型名
DNHR001TGKIT

*詳細はCQ出版WebShopまで

① Dnote基板



② ヘッド・バンド



③ バッフル、
ハウジング



CQ出版社



第1章 USBヘッドホン&アンプを 手作りする醍醐味

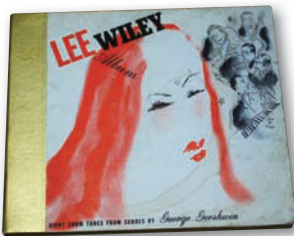
高分解能デジタル音源と PCオーディオ自作時代

佐藤 尚一 Hisakazu Satou

インターネットから音楽データをダウンロードして聴くのが当たり前の時代です。特集では、高精細なハイレゾ音源を再生するD-A変換の利用技術とヘッドホンを鳴らすアンプの作り方を詳しく解説します。

メディアの移り変わり→今、ハイレゾに注目が集まる

1920年ごろ

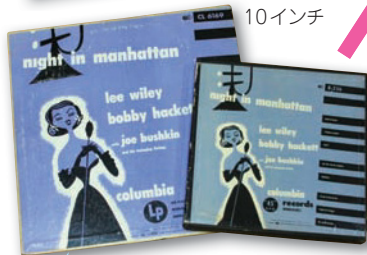


1940年～



1980年～

非接触媒体の開発が進み、クラシックの長時間演奏を収録できるように約74分の再生が可能なCDが1982年にリリースされ、新譜以外にも、過去の資産を複数統合して収録した製品も多くリリースしている。



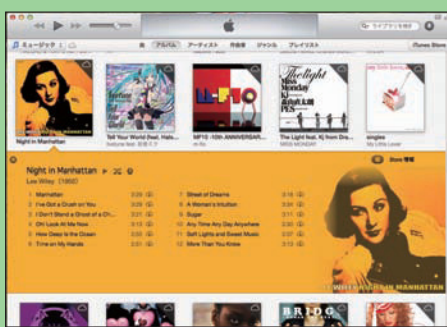
蓄音機の時代に利用されていたSPフォーマットは大きさや回転数もいろいろあった。また、大半は落とすと割れる素材が使われていた。片面に1曲という収録が多かったので4枚を1組にするようなまとまった形態で発売されることも多く、「アルバム」の起源となった。

電気で動くレコード(バイナル)プレーヤが一般的になり、レコードも割れにくい素材が使われるようになった。大きさは様々で、10インチの時代から両面で約30分間の再生が可能な12インチLPレコードの時代に入っていく。レコード溝の振幅の大きい低音と高域のノイズ対策などのためにイコライザ特性の標準化も1950年ごろに行われた。外形として16インチ/16回転という長時間再生が可能な製品もあった。また、オートチェンジャに利用するため「シングル」(45回転)という愛称ドーナツ盤は現在でも健在である。



日本でも本格的なハイレゾの時代がやってきた。
mora (<http://mora.jp/>) サイトのトップページ

ハイレゾのオーディオ・メーカー LINN は、2006年にハイレゾの音源のダウンロード販売を開始した。そして、2009年、将来性を見据えた結果CDプレーヤーの生産を停止した。2013年10月、ソニーはハイレゾ音源のダウンロード・サービスのスタートとともに、ハイレゾ対応機器を一斉にそろえて販売を開始した。



iTunes Store (Apple)

▶ 同じようなサービス

Xbox Music (日本マイクロソフト)
Amazon MP3 音楽ダウンロード(アマゾン)

▶ 聞き放題のサービス

Spotify (月額制と広告付きの無料ストリーミング)
Sony Music Unlimited (定額制)

一部ハイレゾのデータもある

- CD/DVD
- LPレコード
- EPレコード

物理媒体は
今後も続く

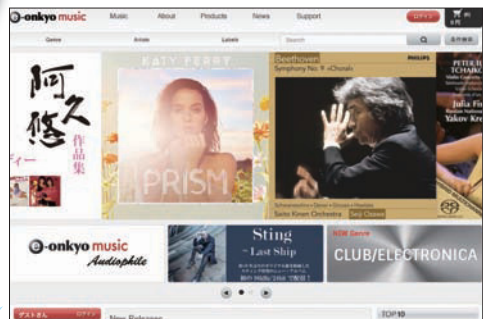
ハイレゾ

ハイレゾ専門のダウンロード・サイト
e-onkyo music
(<http://www.e-onkyo.com/>)



CDプレーヤー、カセット・テープ・レコーダのポータブル機器が販売されるようになって、音楽が個人ベースで室内から室外に持ち出されるようになった。オーディオ・ブームは過ぎ去り、個人がヘッドホン経由で音楽を聴く時代に入っている。

16ビット再生のCDの規格ができた当時から技術の進歩は著しく、最近の録音スタジオでは24/32ビット&ハイサンプリングのA-Dコンバータ機器を使うことが一般的になってきた。



その他に、ototoy (<http://ototoy.jp/>), HQM STORE (<http://hqm-store.com/>), LINN RECORDS (<http://www.linnrecords.com/>), HDtracks (<https://www.hdtracks.com/>), eclassical (<http://www.eclassical.com/>) を第7章で紹介

デジタルの利便性がユーザの心をとらえた

1990年代から音楽の聴き方が変わった…

手のひらに入ってしまうコンパクト・ディスク。曲の編集ができる、文字入力ができるなど、ポータブルCDプレーヤに比べて利便性が追加された



1990年代
MD登場

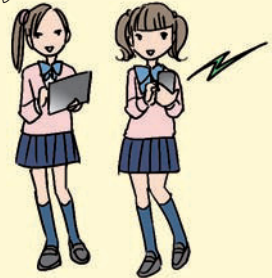
圧縮ファイルではあるが、100曲以上入るところからスタートし、数万曲入るモデルも出てきた。特徴はメディアを交換しなくてよいところ。



2000年ごろから。
ハードディスク、メモリ・オーディオ

ネットから1曲単位で購入ができ、PCとポータブルプレーヤと共有ができる

ハイレゾって何？ 新型の水着？



2005年
iTune Music Store
日本でスタート

人々の心をとらえたのは、デジタルの利便性だった。物理媒体の購入ではなく、Youtubeやインターネットの無料ストリーミングなどでも音楽を聴くようになった。

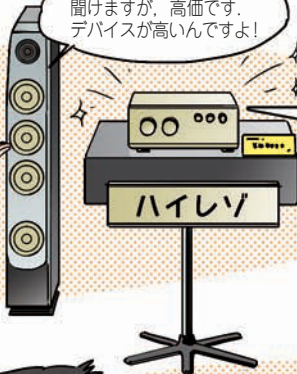
ほんの一部だが**ハイレゾ**というカテゴリが生まれてきた

ハイレゾは高価

私たちが
高価なものを、ムリムリ！



CDよりよい音で音楽が聞けますが、高価です。デバイスが高いんですよ！



PCオーディオ・ユーザが育ってくる。多くはヘッドホンで音楽を聴いている。ヘッドホン・アンプに興味津々。

中身はデジタル・デバイス。時間が経つと、デバイスは安価になる

原価は下がる

ほとんどのデバイスは、インターネット・ショップやebayなどで入手できる。プリント基板も、フリーのCADツールを使いこなせると、少量発注もできる。

ハイレゾ対応機器を自分で作る時代がきた。高価なオーディオ機器でも、自作で使うDACデバイスは同じ製品。

2012年暮れに、USB DACでハイレゾの大きな規格であるDSDのUSB伝送方式が決まり一斉に製品が出てきた。PCMのハイレゾを含め、一気にレベルアップした



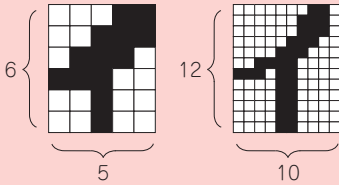
ハイレゾ (High Resolution Audio) とは、大きな入れものである

デジタル・オーディオは、時間と電圧で信号を分割している。

● 誤ったイメージ

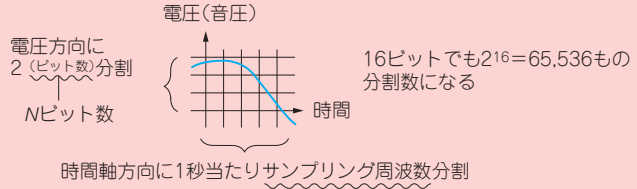
イ

画像のピクセルとは異なる



タテ、ヨコのビット数が分割数

● 電圧方向は 2^N で分割されるので



つまり…

	標準	ハイレゾ	分割細かさ
f_s (Hz)	48kHz	96kHz	× 2倍
N	16ビット	24ビット	× $2^8=256$ 倍

> 512倍

最初の民生向けデジタル・オーディオであるDAT/CDの規格。
48kHz (DAT), 44.1kHz (CD)・16ビットを標準とする。

「標準」より f_s , N の大きい規格をハイレゾと呼ぶが、各社の定義は異なる。
通常、 $f_s > 88.2$ kHz (44.1kHz × 2), $N \geq 24$ ビットとなる。
このように、ハイレゾとは、入れ物の大きさの違いだけだが…

CDの規格は、LPレコード時代に比べれば、雑音も少なく、長時間のデータを保存できるようになった。



ハイレゾの規格に収納できるデータは、CDに比べて比較にならないほどたくさん!

自然界や楽器の音は、DATのような規格(16ビット)には入りきれないほどの音量レベル差がある

CDの規格に入れるには、微妙なデータは捨てられてしまうかもしれない

ハイレゾの録音システムだと、自然界のいろいろな帯域を、ほぼ全部収録できる可能性が高いし、配信時もハイレゾだと、欠落するデータも少ないかもしれない

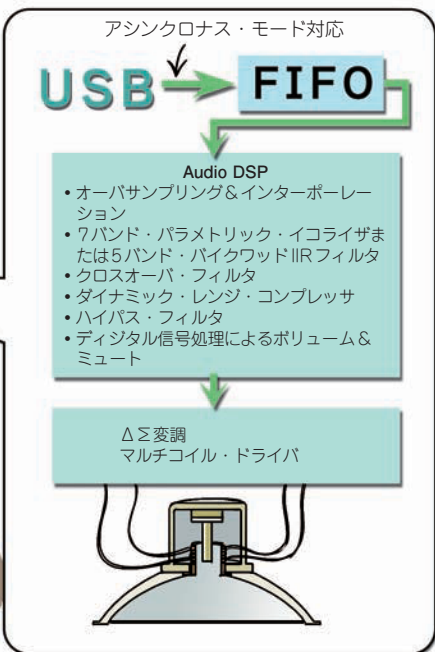


自作するハイレゾ対応装置

「ハイレゾ対応USB直結完全デジタル・ミュージック・サーバ」[DSD (1ビット $\Delta\Sigma$)]

ハイレゾ対応

USB直結
完全デジタル・
ヘッドホン

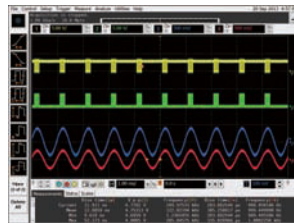


USBケーブルを流れるハイレゾ・データがどのようなものは、第2章で解説。

PCだけでなく、スマホやタブレットでもハイレゾ音源が再生できる。



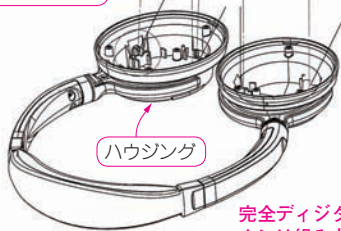
第3章では、実際にどのようなデータがPC(ホスト)から送られ、アシンクロナス・モードではどういうやり取りが行われているかを詳細に解説。



第4章では、ヘッドホンの内部構造と測定までを含めた解説。

①ハウジングにプリント基板を取り付ける

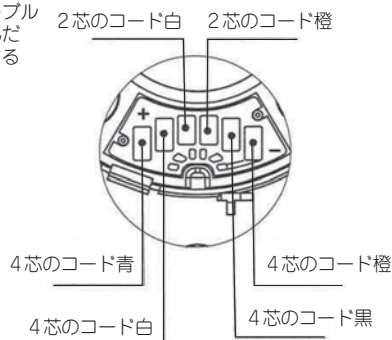
Dnote搭載プリント基板



②パッフルをねじて固定する



③各ケーブルをはんだ付けする



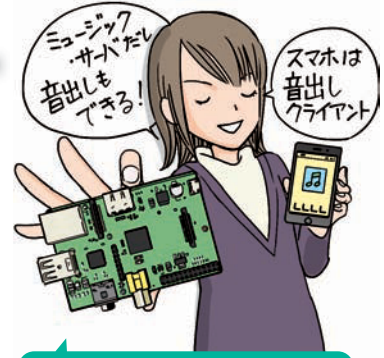
完全デジタル・ヘッドホンは組み立て式

ヘッドホン「手のひらに乗るマイコン・ボード Raspberry Piで対応USBヘッドホン・アンプの製作」

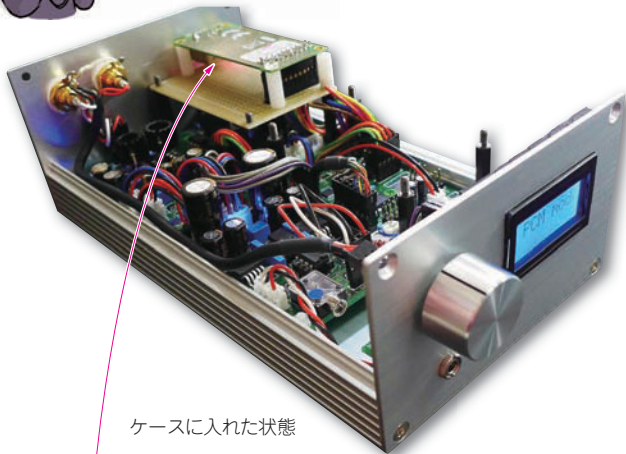
- ダウンロード・データはPCがなくてもハイレゾ再生ができる装置を作る
低価格で入手できる Raspberry Pi マイコン・ボードをミュージック・サーバに仕立てよう!



Linux上にMPD (Music Player Daemon) やWebサーバなど必要なもの一式がまとめられていて簡単にRaspberry Piをミュージック・サーバに仕立てられるディストリビューションVolumioを用いた。



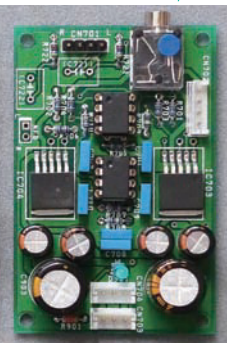
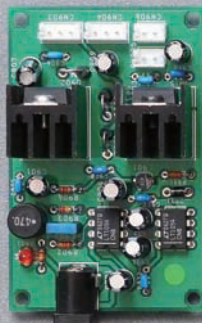
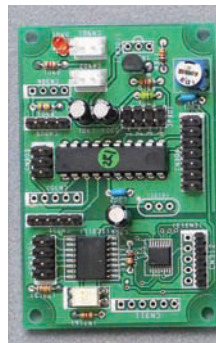
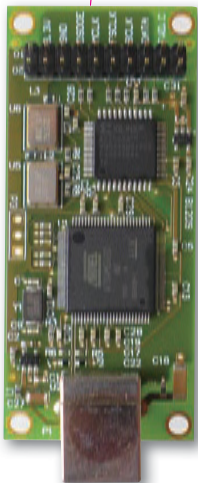
第6章でインストールと使い方を解説



- ^{ハイレゾ}DSD (1ビット $\Delta\Sigma$) 対応USBヘッドホン・アンプの製作

第5章では、機能ブロックごとにモジュール化した基板構成でアップグレードやカスタマイズにも容易に対応できる構造を狙ったDSD対応のDAC&ヘッドホン・アンプを作る。各モジュールは同じ形状、32ビット・データに対応できるDACチップPCM1795を使用し、ヘッドホン・アンプはOPアンプの後ろに強力なバッファLME49600を用いた。DSDのプレーヤはFoobar2000を用い、必要なドライバ類のインストールも丁寧に説明。

第5章で使った各モジュール



◀ DSD/PCM対応ボード
イタリアのAmanero社
COMBO384 USB DDC モジュール

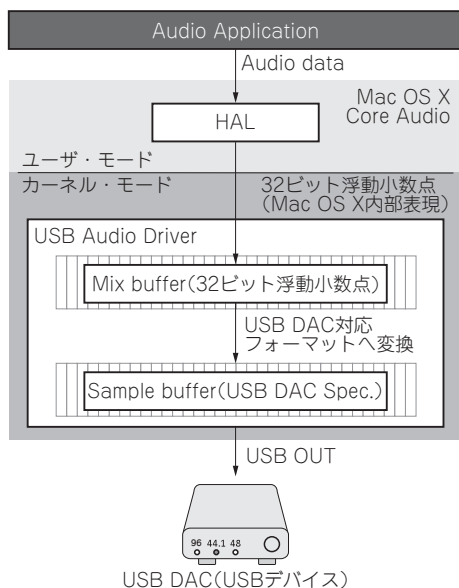


図2-19 Mac OS X内部のオーディオ・データ処理
 Mac OS Xでは、オーディオ・データ（16ビット整数形式など）を、すべて32ビット浮動小数点形式へ変換して扱うしくみとなっており、原理的にこの変換処理を迂回することができない。32ビット浮動小数点形式は、仮数部が24ビットなので、24ビット整数形式であれば、ビット・パーフェクト転送が可能となる。

DAC対応形式（16ビット整数形式など）へ変換してからUSB転送を行います。

例えば、32ビット整数形式のPCMデータを再生した場合、OS内部で32ビット浮動小数点形式に変換されるため、USB DAC側が32ビット整数形式に対応していてもビット・パーフェクトで渡すことができません。ただ、32ビット浮動小数点形式は、仮数部が24ビットなので、24ビット整数形式のPCMデータであれば情報の欠落なく、相互変換が可能です。

この事実を利用して、次のルールによりオーディオ再生制御を行うことで、カーネル内部のミキシング処理を抑制し、最大24ビットのビット・パーフェクト転送が可能となります。

① USB DACの再生設定を、デジタル音源に合わせる

量子化ビット数、サンプリング周波数の合わせこみが発生するとビット・パーフェクトが達成できません。デジタル音源とUSB DAC再生設定を一致させておくと、変換処理が不要となるため、この問題を回避できます。

② hogモードを有効にする

オーディオ再生中に、ほかのアプリケーションがオーディオ再生を行うとミキシングされてしまいビット・パーフェクトが達成できません。hogモードを有効にすると、ほかのアプリケーションからのオーディオ出力を禁止できるため、この問題を回避できます。

2-5 DSDの転送方式

DSD音源を転送する方法としては、DoP方式とASIO native方式があります。

● DoP (DSD Audio over PCM Frames) 方式

Playback Design社のAndreas Koch氏を中心としたメンバにより規格化された方式で、下記URLより仕様書を入手できます[参考文献(18)]。

<http://dsd-guide.com/dop-open-standard>

◆ パケット・フォーマット

DoP方式では、図2-20のように24ビットPCMフレーム内に8ビットDSDマーカと16サンプル（16ビット）のDSDデータを最上位ビットから時系列順に格納して、通常のPCM再生と同じ方法でUSB DACへ転送します。

データを受け取ったUSB DAC側は、このDSDマーカをチェックして、PCM or DSDどちらのデータかを判別し、再生制御を行います。DSDマーカの値は、0x05、0xFAとなっており、1サンプルごとに切り替える仕様となっています。DSDマーカの値は、間違ってもDoP非対応のUSB DACで再生しても機器故障など

keyword

Core Audio.....Mac OS Xに搭載されているオーディオ、およびMIDIを扱うための機能の総称。

オーディオ・ユニット.....Core Audioで、エフェクト処理などデジタル・オーディオ処理を行うソフトウェア・プラグインのこと。

AUHALユニット.....マイクやUSB DACなど、オーディオ機器制御を行うためのオーディオ・ユニット。

HAL.....ハードウェア抽象化層(Hardware Abstraction Layer)のこと。Mac OS Xは、HALによりオーディオ機器を統一的に扱えるようにしている。

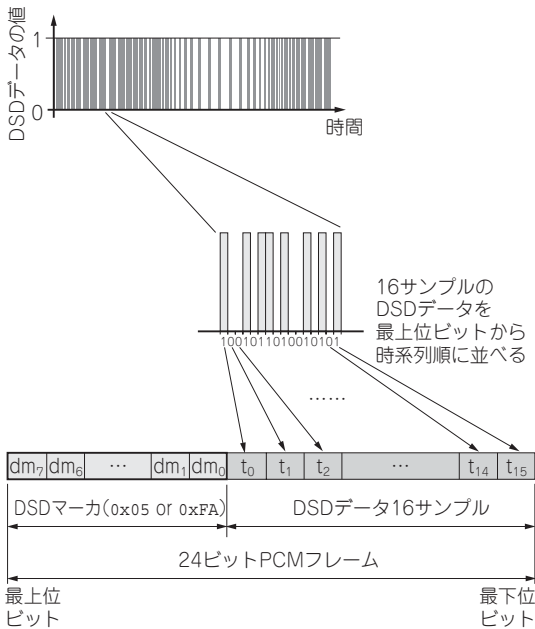


図2-20 DoP方式の1サンプル

DoP方式では、24ビットPCMフレーム内に8ビットDSDマーカと16サンプル(16ビット)のDSDデータを最上位ビットから時系列順に格納して転送する。USB DACは、このDSDマーカを判定することで、DSD or PCMの再生制御を行う。

の障害が発生しないよう小さな音となるように配慮されています。

例えば、2チャンネルDSDデータを、2チャンネル24ビットPCM(サブスロット4バイト)へDoP方式で格納する場合、PCMフレーム二つごとにDSDマーカを切り替える動作となります(図2-21)。

◆ 再生周波数

24ビットPCM 1サンプル当たり、1ビットDSD 16サンプルを格納できるので、DoP方式では下記サンプリング周波数で転送することになります。

DSD64...24ビット, 176.4kHz(= 2.8224MHz ÷ 16)

DSD128...24ビット, 352.8kHz(= 5.6448MHz ÷ 16)

◆ マーカ判定処理

DoP方式のオーディオ・データは、通常のPCMデータとしてとりうる値なので、仕様書では、下記のようなアルゴリズムで、PCM or DSD判定を実装することが推奨されています。

- ▶ DSDマーカが32サンプル連続で検出された場合、DSD再生へ切り替える
- ▶ 1チャンネルでもDSDマーカ以外のデータが検出されたら、PCM再生へ切り替える

例えば、DSD64を24ビット(サブフレーム3バイト)、176.4kHzで転送する場合、1秒間に1Mバイト以上(= 2チャンネル × 24ビット / 8 × 176400Hz)のデータ

1チャンネル分のPCMフレーム

Details	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
Offset	00	A6	65	03	00	59	56	05	00	66	66	FA	00	59	56	FA
0x0000	00	5A	96	05	00	59	56	05	00	99	66	FA	00	56	59	FA
0x0010	00	5A	96	05	00	59	56	05	00	99	66	FA	00	56	59	FA
0x0020	00	66	66	05	00	A5	55	05	00	99	66	FA	00	59	56	FA
0x0030	00	66	96	05	00	59	59	05	00	99	96	FA	00	99	55	FA
0x0040	00	69	69	05	00	65	56	05	00	99	96	FA	00	56	56	FA
0x0050	00	69	99	05	00	56	65	05	00	6A	99	FA	00	59	56	FA

DSD マーカ 0x05 DSD マーカ 0xFA

図2-21 DoP方式のUSBパケットをダンプした例

2チャンネルDSDデータを、2チャンネル24ビットPCMフレーム(サブスロット4バイト)にDoP方式で格納したときのUSBパケット・ダンプ。太線枠が1チャンネル分のPCMフレームとなっており、PCMフレーム二つごとに、DSDマーカ(0x05、0xFA)を切り替えているようすがわかる。

を処理する必要があります。このデータをリアルタイムにPCM/DSDデータへ選り分ける必要があるため、高速なマーカ判定処理が必要となります。

◆ PC側再生処理について

DoP方式では、マーカを含めて24ビットのビット・パーフェクト転送が必要となります。そのため、Windows、Mac OS Xでは下記オーディオ再生に対応したアプリケーションにてDoP再生を実現することになります。

- Windows WASAPI(排他モード), ASIO, カーネル・ストリーミング
- Mac OS X Core Audio

また、DSD音源にはマーカは含まれていないので、再生アプリケーション側でマーカを付ける必要があります。

● ASIO native方式

ASIO 2.1より、DSDデータを扱えるようにAPI仕様が拡張されました。ASIOはAPI仕様のみで規定となっているので、ASIOドライバの実装方法については、メーカーに委ねられています。そのため、ASIOドライバからUSB DAC機器へDSDデータを届けるしくみについては、機器メーカーによって異なります。この仕様は一般に公開されていません。

国内では、インターフェイス(株)がDoP/ASIO nativeに対応したソリューションを販売しています。

http://www.itf.co.jp/prod/audio_solution/dsd-usb-streaming

◆参考文献◆

参考文献の一覧はトラ技エレキ工房No.4サポート・ページ(<http://www.eleki-jack.com/eleki-koubou/>)に掲載してあります。

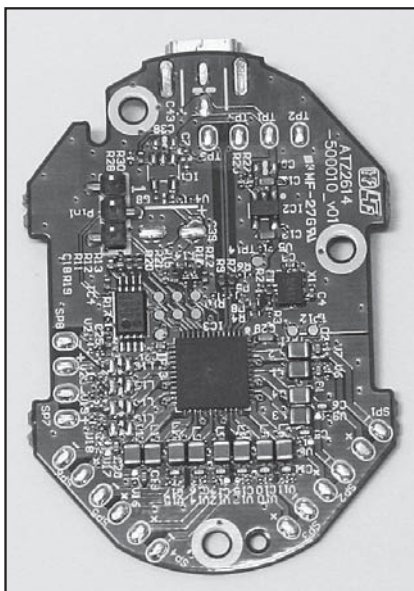
第3章 ハイレゾ音源を耳で!

完全デジタルUSB DAC アンプ IC Dnote

落合 興一郎 Koichiro Ochiai

本章では、96kHz/24ビットPCMのハイレゾ音源まで対応し、USBインターフェースでPCやスマホとつないでフル・デジタルでヘッドホン(スピーカ)を駆動するIC Dnote^(*)(Digital Signal Processing for Digital Speaker)を紹介します。

複数のボイス・コイルをもつマルチ・コイル・スピーカをデジタル・データのまま駆動できるのが特徴ですが、内部に搭載したDSPによるイコライザを使って特性を変更すること(ソフトウェアは開発中)ができるので、自分に合ったヘッドホンにすることができます。



3-1 Dnoteを使ったオーディオ・システム

ここではフルデジタル・スピーカ、フルデジタル・ヘッドホンの構成や特徴などを解説していききたいと思います。

図3-1に示すのは、私たちが普段よく目にする従来のスピーカを使ったオーディオ・システムです。何らかのメディアに記録されたデジタル・オーディオ・データは、デジタル信号処理、D-A変換、フィルタリング、アナログ・アンプやデジタル・アンプによる電力増幅を経て、アナログ信号をスピーカに入力し、電気信号を空気振動に変換することで実際に音として聴くことができます。

図3-2にDnoteを使ったオーディオ・システムを示します。信号ラインにアナログ回路がなく、複数の

デジタル信号でスピーカを直接駆動します。ここで使われるスピーカは従来のシステムで使用されるスピーカのように一つのボイス・コイルを内蔵するのではなく、図3-3に示すように複数のボイス・コイルを内蔵しています。

例えば、3ビットでスピーカを駆動するとします。それぞれのボイス・コイルは+端子と-端子をもつので、0(スピーカへの入力信号は+端子:0, -端子:0)、1(スピーカへの入力信号は+端子:1, -端子:0)、-1(スピーカへの入力信号は+端子:0, -端子:1)の3種類の組み合わせをもち、3コイル分すべてを足し合わせると、ゼロを中心に±3のデジタル信号を入力していることになります。

これでは音が出るようには思えませんが、実際にはスピーカのもつインダクタンス成分によるローパス・フィルタ効果と、スピーカ自身をもつ機械的な動作に

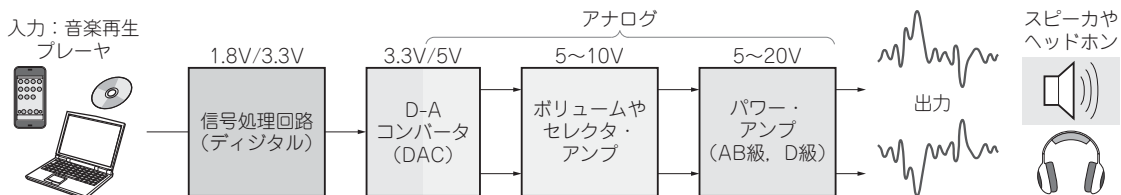


図3-1 従来のオーディオ・システム

PCM信号を信号処理しD-A変換してアナログ回路やフィルタを通過してパワー・アンプに入力される。D級アンプの場合は、アナログ信号をPWM変調して1ビットのデジタル信号に変換しLCフィルタでアナログ信号に変換する。

(*)1: Dnoteを設計・製造する(株)Trigence Semiconductor(以下、トライジェンズ)は、フルデジタル・スピーカ駆動のための信号処理技術を開発し、駆動用ICの製造および販売を行う産学連携の半導体ベンチャー企業。トライジェンズが特許を保有するこの技術は「Dnote」として登録商標されている。

Appendix2

ハイレゾ音源の再生環境…Windows/Mac OS X/iOS/Android 落合 興一郎 Koichiro Ochiai

私たちが普段使っているオーディオ機器はハイレゾ音源を再生できないことが多く、音源を入手する場合にはファイル・サイズが大きいこともあり、ネット経由でダウンロードする必要があります。そのファイルをPC上で再生する際には、図1に示すようにハイレゾ対応の再生プレーヤとUSB DAC (USB入力が可能で、アナログ・ラインもしくはヘッドホン出力をもった機器)が必要になります。

そのため購入機器や再生プレーヤの選択、機器同士の接続で煩雑さを感じる、置き場所に困る、複数の電源を確保しにくいという方も多いと思います。今回紹介するDnote7Uを内蔵したヘッドホンは、図2のようにPCやポータブル・オーディオ機器(スマートフォンを含む)とUSBケーブルで接続するだけで、ハイレゾ音源を再生することができます。また、単に再生するだけではなくPC経由で内蔵するDnote7Uに様々な設定を行い、世界に一つしかない「Myヘッドホン」を作ることができます。

パソコンやスマートフォンを含むポータブル・オーディオ機器で、ハイレゾ音源を再生するには次に示す条件を満たすことが必須です。

- ▶再生機器がUSBホスト機能に対応している。
- ▶搭載されているOS、もしくはアプリがUSBオーディオ出力に対応している。
- ▶再生用のソフトウェアが、ハイレゾ音源のフォーマットに対応している。

一般的なパソコン (Windows OS, Mac OS) は、こ

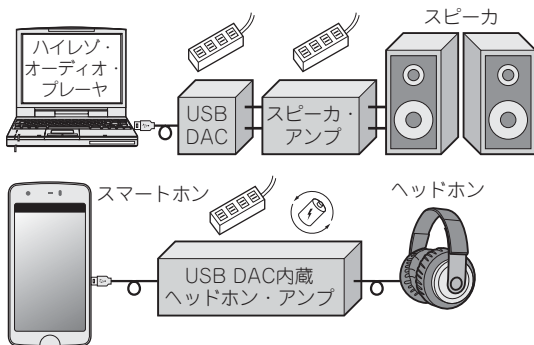


図1 一般的な機器の接続例

ハイレゾ音源を楽しむためにはUSB DACが必要となり煩雑さが伴う。携帯する際にも電池が必要になることが多い。

れらを意識することなくUSB端子に接続しインストールされている再生プレーヤで音楽を聴くことができますが、ポータブル・オーディオ機器 (Android OS, iOS) は、様々な制限があり、特定の条件下での再生となります。本項では、様々な機器でハイレゾ音源を再生可能であることや、より高音質な再生方法があることを知ってもらい、いつでもどこでもハイレゾ音源を楽しむ方法を紹介し

● PCでのハイレゾ音源の楽しみ方

Windowsでは音楽再生用のソフトとしてWindows Media Player (WMP) が、MacではiTunesがインストールされています。例えばWindowsではDnote7U内蔵のヘッドホンをUSB端子に接続し、コントロールパネルのサウンドの項目から、サウンド・デバイスのところを「Dnote Digital Speaker」に選択するとWMPで再生できます (図3)。

しかし、PCの設定によっては本来のハイレゾ音源の性能を出し切れていない可能性があります。ここで、パソコンに保存されている音楽データが、USB



図2 Dnote7U内蔵のヘッドホンの接続例

USBバス・パワーで動作しUSBオーディオ入力に対応するため、ケーブルを接続するだけで再生が可能になる。

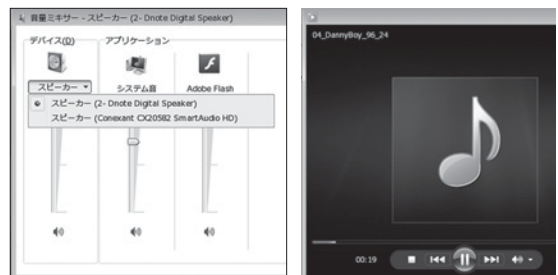


図3 サウンド・デバイス(左)の選択とWindows Media Player(右)での再生

見本

このPDFは、CQ出版社発売の「トラ技エレキ工房 No.4」の一部見本です。

内容・購入方法などにつきましては以下のホームページをご覧ください。

内容 <http://shop.cqpub.co.jp/hanbai/books/MTR/MTRZ201403.htm>

購入方法 <http://www.cqpub.co.jp/order.htm>