



Ayre QB-9

USB DAC

USB の限界を打ち破り、ハイエンド PC オーディオの扉を開く
Ayre <QB-9>、そのテクニカルアプローチ

コンピューター(PC)ベースによるオーディオ再生のメソッドは、新たな音楽の楽しみ方として急速な発展を続けています。中でも特に 96kHz/24bit などの HD クオリティーのネット配信なども日増しに充実の兆しを見せ、CD を上回る高音質再生の可能性は大きく広がっています。PC でのそうしたデジタル音楽再生には、内臓 DAC はもとより外付けの USB/IEEE1394 DAC に至るまでソフト/ハード両面から様々なアプローチが提示されていますが、しかし現実のその多くは、高品位オーディオ再生を阻むいくつかの重大な問題を孕んでいます。Ayre は、PC オーディオの潜在的可能性を最大限引出し更に一步も二歩も進んだ真のハイエンドオーディオ再生を果たす USB DAC の開発に当たって、そうした問題を根底から掘り起こし、それに如何に対処し、そしてその解決策を見出したかを、以下、順にご案内します。

Ayre のデジタル・テクノロジー

ご承知の通り、Ayre は十数年前からオーディオ/ビデオのデジタル信号処理技術において高い分析力と開発力を駆使し、D-1 DVD プレーヤーや 96/24 HD 対応のマルチプレーヤーなど幾多の名機を世に送り出してきました。中でも、デジタルオーディオに関する、ジッター解析技術やシングルパス・フィルタリング・テクノロジーは、Ayre 伝統のアナログオーディオ回路技術との融合によって、優れた特性と聴感の密な関わりを実証し高い評価を受けています。

ディスクプレーヤーに於けるジッターとオーディオ・パフォーマンスの関わり

Ayre は大成功を収めた 1999 年の D-1 DVD プレーヤー開発当初から、そのオーディオ回路設計において、DAC 部をプレーヤー本体から分離させることを拒んできました。その理由は、S/PDIF フォーマットというデジタルオーディオのインターフェースが潜在的に抱えるジッターの要因に帰着します。

言うまでもなく、マスタークロックの低ジッター化はデジタルオーディオのハイパフォーマンスを実現する上において極めて重要です。DAC の再生精度がジッターの影響によって直接的に左右されるからです。トランスポート部と DAC を近接配置できるワンボックスプレーヤーでは、DAC 部に高精度な固定のマスタークロックを置くことができ、トランスポートを完全同期させデジタル信号を低ジッターで揺らぎなく DAC に送り、その実力を最大限に引出すことを可能にします。

一方、トランスポートと DAC をセパレートボックスとすると、一般的には、相互を S/PDIF インターフェースケーブルで接続されることとなりますが、この場合、マスタークロックはトランスポートボックスに置かれ、オーディオデータと共にケーブルで運ばれる段階でジッター増を招きます。さらに DAC 部では運ばれてきた不安定なクロックとの同期をとるために PLL 回路のコントロール下で VCO などの可変追従型クロックの生成によって DAC が制御されるためジッターの影響を避けることが困難です。VCO は残念ながら固定クロックの精度には遥かに及ばないのです。

長年、こうした S/PDIF 接続でのクロックジッターの改善には様々なメーカーによって様々なアプローチがなされてきました。例えば、デュアル PLL、VCXO、周波数シンセサイザー、FIFO バッファー、外部リ・クロッキング・デバイス、などなど。しかし、それらはジッターをある程度低減することはできても S/PDIF 接続が付加するジッター成分を完全に排除することはできません。

ジッター低減の別のアプローチもあります。ASRC(Asynchronous Sample Rate Converter)によるものです。これは、オリジナルオーディオデータを演算によって新しく作り変えたデータに置き換えるもので、その測定データは極めて優秀です。しかし、オリジナルデータの完全再現性への疑義と聴感上のパフォーマンスへの疑念が残りました。

最良の方策は、やはり、高精度なマスタークロックを DAC 部に置くことでした。セパレートボックスプレーヤーでのそうしたアプローチもあり、DAC 側のクロックを別ケーブルでトランスポートに送り一元管理します。この方法はいくつかのメーカーが独自の形式で行ないましたが、しかし、そこには互換性という問題が残りました。

そうした様々なアプローチの中で、Ayre はディスクプレーヤーにおいては、ワンボックス・ディスクプレーヤーとし、内部 DAC 部に高精度固定クロックを設け、データの精度とクロックジッターの極小化を図ることがそうした諸問題の解決に最も的確であると判断し、設計製造を行なってきました。

デジタルオーディオの新チャプター、PC オーディオの問題とは

パーソナルコンピュータ(PC)をベースとした音楽再生は、そのフレキシビリティによってオーディオ再生の新しい道を拓き大きな可能性をもたらしました。特にその膨大なストレージ能力とともに、ライブラリーの閲覧・再生の容易さと利便性は特筆に価します。

しかし、ここでもやはり、PC からオーディオシステムに音楽信号を伝送するときに、これまでのディスクプレーヤーと同様にクロックジッターの問題があることを忘れてはなりません。しかも、より条件が不利となるのは、ディスクトランスポートとオーディオ信号を司るマスターオーディオクロックが、様々なデジタル処理を高速で複雑に行なうためにノイズの巣窟となっているコンピューターの内部に置かれていることなのです。外部 DAC はコンピューターから送られてくる信号を基にして追従型 VCO などクロック再生成をして同期を得ます。固定クロックの性能に及ばないこの方法ではやはり、CD プレーヤーなどと同様の問題がそこにあるわけです。

初期の PC オーディオは、コンピューターそのものにサウンドカードをマウントしていました。それは、スイッチング電源や RFI など多種多様のノイズ源の影響を直接的に受けるために、オーディオクオリティーの向上は望むべくもありませんでした。サウンドカードからデジタル出力を取り出すこともできましたが、その唯一のインターフェースはジッター問題を潜在的に抱えた S/PDIF フォーマットでした。

それに対する解決策のひとつはイーサネットをインターフェースとした DAC です。イーサネット、つまり、LAN は S/PDIF コネクションを必要とせず、DAC に固定クロックをもたせ、そこからコンピューターにコマンドを送り、DAC が必要とする精度のオーディオデータを得ることが可能です。技術的には、これは真の低ジッターパフォーマンスを得るためのたいへん有効な方法です。(この方法にたいへん近いものに、ファイアーワイヤーをインターフェースとする別の方法もありますが、残念ながら全てのコンピューターがそのコネクションをサポートしてはいないという不利があります。) いずれにしても、こうしたシステムの難しさは、信号精度がハードウェアとソフトウェアの両面にわたる密接なリンク関係に左右されるため、その双方のデジタル信号処理を如何にブラッシュアップするかということに関わっています。

一方、現在、PC からオーディオデータを取り出しハイパフォーマンスオーディオシステムに送出するための大多数の共通的な方法は、USB ポートによるものといえるでしょう。現に、近年、さまざまな USB DAC がすさまじい勢いで登場してきています。このアプローチの優位性は、PC での再生プレーヤー・ソフトとして、iTunes を始め、J.River , Windows Media Player , Foobar , WinAmp などユーザーが最も適していると思われる既成の優れたものを自由に選べるという点でしょう。しかも、それらのソフトはフリーかまたは非常に安価です。

また、こうした USB ベースの DAC の多種多様な繁殖を支えているのは、Burr-Brown(TI)の PCM270x シリーズ・USB インターフェース DAC チップの存在です。このチップはせいぜい数ドルの価格で、プログラムのスキルも不要のまま普通の DAC チップ同様に極めて容易な設計が可能です。

しかし、このチップを使ったシステムでの問題点は、やはり、高いジッターレベルにあります。固定クロックは使えません。DAC を司るクロックは入力した PC から送られるオーディオデータのタイミングによって可変周波数クロックを再生成し同期を掛ける原始的的手法によります。PC はオーディオデータの packets を 1ms の基準同期の間隔で USB から送り出します。Burr-Brown チップはその内部でこの 1ms のインターバルを計測して、この情報を元にして、PC から送り出された packets のレートにマッチするようにマスターオーディオクロックを造るのです。

「アダプティブ」USB モードと呼んでいるこのようなシステムは、DAC のマスタークロックにジッター増を招く以下の要因を与えます。

- 1)可変クロックは固定クロックに比べてジッターにおいて絶対的に不利である。「アダプティブ」USB モードでは、DAC を司るクロックは PC から送られるオーディオ packets のレートにマッチするよう可変周波数同期によりアダプト(適応化)される。Burr-Brown PCM270x チップではここに VCO が使用され高ジッターを生む。
- 2)PC はオーディオ packets を完全固定レートでは送出できない。それは、まず、PC 内部のクロック自体が低ジッター設計がなされておられないこと。また仮に、コストを省みず低ジッタークロックを積んだとしても、次に、PC 内部は RFI の巣窟であるという事実による。
- 3) Burr-Brown USB DAC チップはマスターオーディオクロック周波数をオーディオ packets を受け取るたびにアップデート(チェンジ)する。これは、1ms 置きに行なわれるため、1kHz の強いジッターコンポーネントを生む。それは、数千ピコ秒にも及ぶ。その数値はよく設計されたワンボックスプレーヤーの遙か足元にも及ばない。

最後に、PCM270x シリーズのチップの欠点として、許容デジタル入力が 48kHz サンプリングレートと 16bits のワード長に制限されること。従って、HD ファイルの再生ができないなどの不利も挙げられるでしょう。

もうひとつのアプローチ

それでは、PC からオーディオファイルグレードの音楽クオリティーを引出す方法はないのでしょうか？
次にその手法を検討します。

TI は、PCM270x USB DAC チップの開発と並行して TAS1020B というステレオ USB オーディオインターフェース・チップの開発も行なっていました。このチップは、USB トランシーバー、マイクロプロセッサ、FIFO メモリーコントローラー、I2S 信号インターフェースを一体化したもので、A/D,D/A コンバーターチップのコントロールを容易に行なえます。

このチップの能力はデジタルオーディオデザイナーに多大なポテンシャルをもたらす可能性を秘めています。しかし、このチップを使いこなすには、一筋縄ではいかない極めて複雑なプログラミングとコード設定が要求されます。そして、このチップを併用するプロジェクトに取り組むには尋常でない膨大な解析作業が必要とされました。

かつて TI から認証を受けたあるサードパーティー・カンパニーがこの TAS1020B のソフトウェア開発に乗り出しました。このカンパニーは、プロフェッショナルオーディオを主にビジネスとしながら、同時に、いくつかのオーディオファイル向けの機器を製造するメーカーへのソフトウェア供与を行なっています。彼らの創り出すコードは USB ポートから高精度なオーディオデータ(96/24)を送出することを可能にします。このアプローチは、PCM270x チップのジッターの弱点を補う極めて有効な手段を呈したのです。

彼らのソフトウェアは、それまでの単パケットの計測に代えて 4 単位のオーディオデータパケットのインターバルのタイミングを計測し平均値を算出するというもの。しかし、それでも尚、オーディオクロックは一秒間に 250 回の周波数変動が余儀なくされます。それは、PCM270x に内蔵されたアナログ PLL によるマスターオーディオクロックの変動性がクリアできないことを意味し、その上、TAS1020B のステップ単位で変わる周波数シンセサイザーがジッターの悪化を助長させるのです。しかしながら、DAC チップはこの手法によって USB レシーバーから分離することが可能となり、これまで多くのオーディオメーカーがトライしてきたジッターリダクションのための付加回路(例えば ARSC など)へのチャレンジの道も拓かれました。しかし、それはジッター低減ではあってもジッターの駆逐にまでは行き着きませんでした。

次なるステップへ

コンピューターベースのオーディオ再生にフルポテンシャルを与えるにはそれまでの段階から脱却した全く新しいアプローチが必要でした。直熱三極管のアンプ設計で高名な Wavelength Audio 社のオーナーでありチーフサイエンティストの J.Gordon Rankin(彼はまた、同様のデザインフィロソフィーによるカスタムギターアンプの特別製作にも携わっています)が、その次のステップへの新たな指針を見出しました。

Gordon 氏は Wavelength 社を興す前は、世界で六番目の規模を誇る PC メーカーでチーフエンジニアを勤めていました。その間、一方で彼は、ひたすら独自の真空管アンプを作り続け、1995 年、ついに Absolute Sound の年間優秀作品に選定されるに至りました。彼はそのとき、自らのキャリアの転換を強く意識したのです。

コンピューターとオーディオ、その双方に精通する彼が、当然それまでのコンピューターベースのオーディオ再生に不満を持ちながらも、しかし、その潜在能力の開花を渴望したことは当然の流れでした。彼は、まず、TAS1020B チップの拡張メモリーバッファーを使ってジッター低減を試みました。しかし、その段階では、未だ「アダプティブ」USB トランスファーモードから脱却するものではありませんでした。

「アダプティブ=適応型」の手法が 1 秒に少なくとも 250 回マスターオーディオクロックの周波数を変動させることを思い出してください。それと対照するかのようには彼は、TAS1020B のために新たなソフトウェアコードを書き上げました。それは、250 オーディオパケットのトランスファーデータの平均値を算出し、外付けのクリスタルベース・マスターオーディオクロックを一秒間に僅か 4 回の補正で済ませるという圧倒的な訂正率の極小化によってジッターの劇的改善を図るものでした。そうして、Wavelength 社は彼らのプロダクツに USB DAC ボックスの強力なラインナップを導入しました。

USB DAC の新時代

Gordon が切り開いた新たな手法は、その後さらに改善が試みられます。すべての成功しているオーディオデザイナーのように、彼は決して満足してはいませんでした。彼は、TAS1020B チップからのさらに高い性能を達成するための新しい方式を追求し続けていました。鍵は、膨大な USB オーディオ規格書の一部にある「asynchronous=アシンクロナス=非同期」モード USB オーディオデータ伝送でした。

「asynchronous」という言葉は、ASRC(Asynchronous Sample Rate Converters)の”asynchronous”と混同してはいけません。それは単に、DAC のマスターオーディオクロックがコンピューターのどのクロックとも”synchronized=同期”する必要のないという意味を指します。これが、USB セパレート DAC のジッターを優秀なワンボックスディスクプレーヤー並みの超低ジッターを実現するための切り札であり、最終手段となったのです。

アシンクロナス・モードでは USB DAC ボックス内にマスターオーディオクロックが置かれます。DAC ボックス内のバッファは PC から送られてくるオーディオデータをストアします。そして、TAS1020B コントロールチップは、再生中バッファに空きがでると更にオーディオデータを送り込むよう PC をコントロールします。つまり、DAC の高精度固定オーディオクロックに完全同期するようにデータを取り込むことを可能とするわけです。

それはたいへんシンプルのように聞こえますが、TAS1020B が Windows, Mac を問わず標準的なサウンドドライバで「アシンクロナス」モードを確実に働かせるための幾多の難関をクリアするために、Gordon はこのソフトウェアの開発に二年近くを費やしました。そうして完成したプログラムは USB のシンプルで使いやすさを生かしながら、すべての音楽再生プログラムとの完全な互換性を保証します。更に、TAS1020B の能力の活用を可能年 96/24 までのすべてのサンプリングレートに完全対応を果たします。

「アシンクロナス」モードの超低ジッター化は、まさに USB ベース・PC オーディオの救世主ともいえる高音質再生の要となりました。Wavelength の USB DAC は従来の”アダプティブ”方式からこの”アシンクロナス”方式にアップグレードすることで音楽再生の最先端を手に入れたのです。

Ayre QB-9 の誕生

Ayre は Wavelength Audio のこの最先端”アシンクロナス”USB テクノロジーを実現するソフトウェア「Streamlength」の最初のライセンシーとなったことを誇りとします。かくして、Ayre は、汎用 USB インターフェースによって高音質を達成することのできる DAC ボックス QB-9 の本格的開発を可能としたのです。

QB-9 では、そうした優秀なソフトウェアの能力を 100%発揮させるため、その回路構成とコンストラクションに独自の技術を駆使しています。伝統のフルバランス&ゼロフィードバックアナログ回路はもとより、USB で接続されたコンピューターと DAC の完全な電氣的分離を果たす光アイソレーターによる信号授受と電源、そして、驚異的なインパルス応答を実現する新 MP デジタルフィルターの搭載など、そのアドバンテージは多岐にわたり、PC オーディオを真のハイエンドオーディオに高める道を切り開いたのです。