

デジタルプロセスセンター “DA-PX1”の高音質化技術

寺本浩平*
仲田 剛*

High Quality Sound Technology for Digital Process Center "DA-PX1"

Kohei Teramoto, Tsuyoshi Nakada

要 旨

デジタルプロセスセンター“DA-PX1”は車載用の最高級デジタルオーディオを目指して製品化した。しかし搭載技術や目標とする音質は、車載用のみならず、ハイエンドピュアオーディオでも最高領域を目指しており、コンテンツに含まれている情報をできるだけ加工せずに極限までストレートに再現するという“DIATONE”の設計思想のもと、開発を行った。

今回命名したデジタルプロセスセンターとは“リニアPCM(Pulse Code Modulation)メモリプレーヤー・デジタルプロセッサ内蔵D/A(Digital/Analogue)コンバータ”と定義した。つまり主体としてはあくまでDIATONEオリジナルの高音質のD/Aコンバータであり、そこに高音質デジタル信号処理による様々な音質調整機能を搭載、さら

に非圧縮のCD音源をそのまま再生できるメモリプレーヤーを装備した。

高音質化のため、①超高精度でデジタルノイズの影響を受けにくいD/A変換部、②デジタル信号処理部からD/A変換部へのジッターやデジタルノイズの伝播(でんぱ)の阻止、③クロックが外乱の影響を受けずに高い精度を確保すること、を同時に満足させる必要があり、それを具現化するための様々な新技術開発を行った。これらの技術によってハイエンドホームオーディオを凌駕(りょうが)する高音質を実現しており、2008年オートサウンド誌で最高位グランプリを受賞するなど、市場でも高い評価を受けている。

DA-PX1の新技術は多岐にわたるが、本稿では高音質化技術に絞ってその一部について述べる。



“DA-PX1”の外観及び取付け例

デジタルプロセスセンターDA-PX1は、メインユニット、サテライトユニット、ディスプレイユニット、コンパトリモコンの4構成からなる。装着は専門の取付け技術を持つプロショップで実施する必要がある。図の取付け例ではルームミラー近くの天井にディスプレイユニットを埋め込んで、メインユニットは他のアンプ類とともにトランクルームに設置している。

次の3つの新技術を開発した。

3.1 32ビットアドバンスド・ピュアバリアブルカレントD/Aコンバータ

当社では、1991年に1ビットDAC(Digital Analog Converter)の波高値が電源電圧変動の影響を受けないピュアバリアブルカレントD/Aコンバータを搭載したデジタルAVセンター“DA-P7000”を製品化した。今回開発した32ビットアドバンスド・ピュアバリアブルカレントD/Aコンバータはさらにジッターの影響の低減と高精度化を図り、加えて増幅回路を撤廃した電流/電圧変換を実現した。

純粋な1ビットDACの出力波形は、波高値を決定している電源電圧と出力パルス幅密度の積で作られるが、波高値は供給電源電圧そのものなので電源を介して混入したノイズがそのまま出力波形に重畳され、音質の大きな劣化要因となっていた。図2にピュアバリアブルカレントD/Aコンバータの原理を模式的に示す。

ピュアバリアブルD/Aコンバータでは超高速で動作するメカ式のリレー(実際にはECL(Emitter Coupled Logic)電流スイッチ)が模式的に存在するとして、1ビットDAC信号を生成するDACドライバを制御信号にリレーを開閉制御する。一方で極めてクリーンな定電流源を用意し、電流をリレーで開閉した後に電流/電圧変換して出力電圧とする。DACドライバの出力信号に電源・グラウンドからノイズが乗っても、開閉タイミングさえ正確ならリレー以降には一切の影響を与えない。1ビットDACの波高値は定電流源に依存し、この定電流源をクリーン化することで外乱の影響を除去できる。さらに電流源の値を可変すると波高値を制御できるので、ピュアバリアブルカレントD/Aコンバータ単独で、しかもデジタルボリュームのようなビット欠落を発生することなくボリューム機能を実現し、微小音量でも情報欠落のない高音質を可能とした。これによってボリュームを絞り込んだ微小音量でも極めて高い情報量密度を確保した。

今回開発した32ビットアドバンスド・ピュアバリアブルカレントD/AコンバータはDACドライバとDAC信号生成ユニットとで構成されている。DACドライバはFPGA(Field Programmable Gate Array)で新規に専用設計し、32ビッ

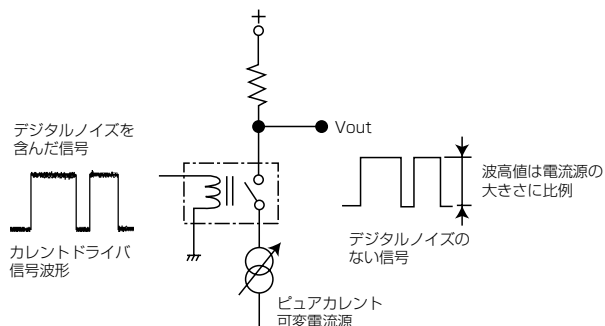


図2. ピュアバリアブルカレントD/Aコンバータの原理

ト精度で1ビットのOn/Off制御信号を生成する。ノイズシェイパは5次、量子化器は32ビットレベルで互いに相補的な2種類の信号を出力する。またロールオフ(スローロールオフかシャープロールオフ)と対称性(位相直線の対称かブリエコーレスの非対称)との組合せで計4種類のD/Aフィルタを装備し、切り替え可能とした。一方DAC信号生成ユニットは、DACドライバとは電源・グラウンドもすべて分離されたディスクリット構成となっている。図3に示すように、等電流値でかつペア構成の超低雑音電流源と2基のECL高速電流スイッチを装備し、それぞれのECL電流スイッチをDACドライバでOn/Off制御する。相補的なペア構成の制御信号は無信号時に50%デューティでしかも逆相関係となるため、2つのECL電流スイッチの合成電流は常に完全に一定となる。このため50%デューティの信号に仮にジッターが重畳してデューティ比が乱れてもジッター成分はキャンセルされ出力信号には現れず、波形歪(ひずみ)への影響を最大16分の1にまで低減した。基準電流源は電源、グラウンド、さらに振動と、あらゆる経路からの外乱の混入を排除し、徹底的なピュア化を図った。またこの定電流源の値を可変することで-80dBまでのリニアなボリューム制御を実現した。さらに定電流源の値を十分に大きくすることで、ECLスイッチ通過後の合成電流の電圧変換は増幅回路を一切使用しないパッシブ回路で構成し、極めてダイレクトで鮮度感の高い音質を実現した。

図4が電流/電圧変換パッシブローパスフィルタ回路で、3次のLCRフィルタで構成している。

インダクタには専用設計のパーマロイコアを用い徹底的な高音質化を図った。

3.2 ピュアデジタル・アイソレータ

デジタルオーディオ機器では通常同一のプリント基板上にデジタル信号処理ブロックとD/Aコンバータブロックが配置されており、デジタル信号処理ブロック以前で発生するデジタルノイズやジッターが電源やグラウンドラインを

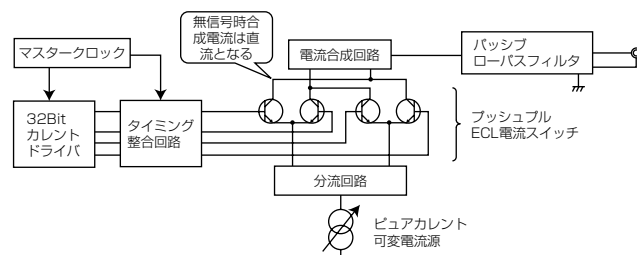


図3. ピュアバリアブルカレントD/Aコンバータの構成

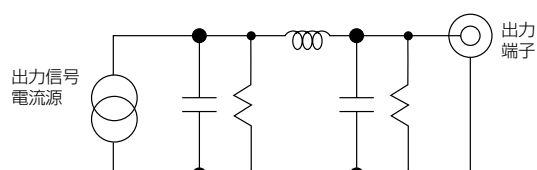


図4. 電流/電圧変換パッシブローパスフィルタ回路

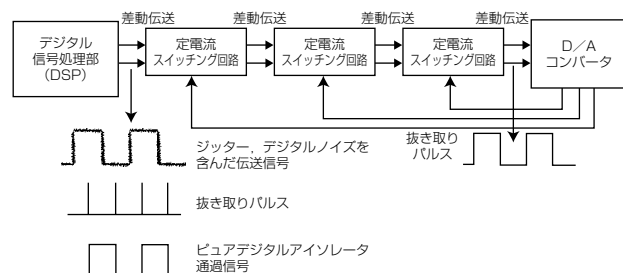


図5. ピュアデジタル・アイソレータ

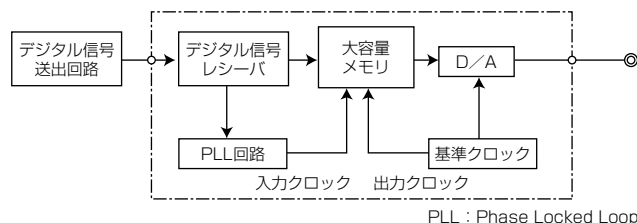


図6. メモリタイムコレクタ

介してD/Aコンバータブロックへ混入するのを阻止することが極めて困難であった。波形整形を施したりメモリによるジッター吸収を行っても、その効果が十分に現れない理由はここにあった。そこでDA-PX1では回路ブロックごとにトランス巻線から電源とグラウンドを完全に分離した上で“ピュアデジタル・アイソレータ”によってDSPからD/Aコンバータへのデジタルノイズとジッターの伝播を徹底的に阻止した(図5)。

動作時に電源やグラウンドに影響を与えない定電流スイッチを用い、さらにD/Aコンバータブロックとの間に伝送に伴うデジタルノイズの伝播を阻止するデジタル平衡差動伝送を使用して、回路動作による回路周辺への影響を徹底的に阻止した。またD/Aコンバータのマスタークロックから作った基準パルスで信号データを抜き取り、デジタルノイズとジッターがD/Aコンバータブロックへ伝播され混入するのを徹底的に排除した。さらに“ピュアデジタル・アイソレータ”を3段シリーズで使用し、より確実な対策を実施した。

3.3 2種類のタイムベースコレクタ

3.3.1 メモリタイムコレクタ

送信側と受信側のクロックのずれが100ppm程度(10,000サンプルに1回程度)以下と非常に少ない頻度であることから、例えば1秒間分のメモリによる時間遅延を行えば、約2.8時間分に相当する送信側のクロックと、受信側のクロックの誤差を吸収できる。これによって、DAC部では、送信側と切り離してジッターの影響を受けないマスタークロックで動作させると同時に、送信側のデータをそのまま使用できるため、非同期デジタル伝送でありながら理想的な同期伝送と同等の性能・音質を実現できる。ハイエンドホームオーディオではすでに一部で大容量のメモリを配置し、送信側のクロックと、受信側のクロックの誤

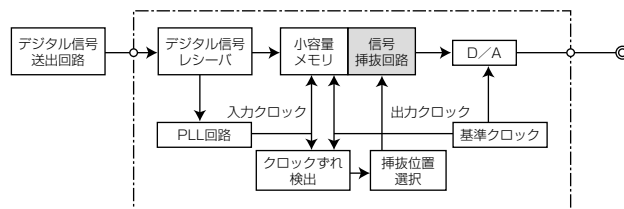


図7. リアルタイムコレクタ

差を吸収する方式が採用されているが、今回車載用としては初めて“メモリタイムコレクタ”として搭載した(図6)。

3.3.2 リアルタイムコレクタ

メモリタイムコレクタは非同期のデジタル伝送としては最も理想に近い方式であるが、送信信号と再生信号とで時間ずれが発生し、時間遅延の許されないAVシステムなどへは適用できない。そこで送信側と受信側のクロックのずれが100ppm程度以下と非常に少ない頻度であることに着目し、D/Aコンバータ部では、送信側と切り離してジッターの影響を受けないマスタークロックで動作させると同時に、大半のデータは送信側のデータをそのまま使用し、クロックずれに相当するわずかな量のデータを挿抜する非同期リアルタイムジッター吸収技術“リアルタイムコレクタ”を開発した(図7)。挿抜するデータは、聴感上、最も音質劣化が知覚されない音声データを独自の“自動検出アルゴリズム”によって選択し、高品質を維持している。これによって、伝送系ジッターの回避とリアルタイム性の両立を実現した。

4. む す び

デジタルオーディオはCDの登場から四半世紀以上経過したが、いまだ同一データであるにもかかわらずトランスポーターで音が変化したり、CDをCD-Rにコピーすると音が変わったりする。またその種類によっても音が変化することが現実として生じている。また特性上はアナログより圧倒的に優れているのに、CDからLPへ高音質を求めて回帰しているマニアも少なくない。DA-PX1では従来に比べて同一データ上でのメディアなどの違いによる音質差を圧縮することに成功した。また音質のデジタル臭さもほぼ消し去ることを実現した。デジタルオーディオは改善すべき点がまだ多々残っているが、DA-PX1がその改善の一旦(いったん)を担えればと考えている。

参 考 文 献

- (1) 柴崎 功：デジタルオーディオ30年の歩み 43回 D/Aコンバーター偏(その8) 高い音質の評価を得た定電流型1ビットDAC、無線と実験、No.1043, 108～115 (2010)
- (2) 脇森 宏：カーオーディオに大革命! ダイヤトーン DA-PX1, オートサウンド, 68, 56～59 (2009)