



QBD76 の技術概要



デジタルアルゴリズム設計者ロバート・ワッツは、2001年に発売されたDAC64のデジタル回路開発責任者である。進化の激しいデジタルオーディオの技術分野にあって、DAC64の性能はいまなお先駆的存在として高い評価を得ている。

その上位機種「QBD76」には、どのような変革があるのか。

DAC回路の中核をなすのはFPGA(フィールド・プログラマブル・ゲートアレイ)と呼ばれるプログラムが書き込まれたデバイスである。QBD76では、125万ゲートという巨大なゲートをカスタム設計したXilinx Spartan3を採用している。2、3年前には夢でしかなかったようなレベルの要求を軽々とこなすパワフルな優れもの、CHORDデジタルテクノロジーを具現する要塞である。

すべてのデジタルデバイスはロジックゲートの組み合わせで構築されている。ゲートをレンガブロックに例えると、デジタルデバイスは建造物といえる。姿、形がイメージ通りに仕上がるかどうかは、回路設計者の腕にかかっている。レンガ=ゲートをどう繋ぎ合わせていくかを熟知すれば、どんな論理機能も実装可能である。FPGAを採用することで、設計者の自由度は増し、したがって大胆かつ革新的なアルゴリズムをプログラミングすることが可能となる。敷地面積、容積、材料はふんだんに調達でき、理想をそのまま形にする、という設計者にとっての自由な夢が実現できるフィールド。それがFPGAなのだ。

QBD76のデジタル回路はSPDIF入力、SPDIFデコーディング、デジタルPLL、RAMバッファ、WTAフィルタリング、そして第5世代パルスアレイDAC回路にいたるまで、すべてFPGAにプログラミングされている。そして、それらの機能ブロックはゲートレベルで最高のパフォーマンスを発揮するように設計されている。

<http://www.timelord.co.jp>

Timelord Ltd. 2-6-18-501, Kaminoge, Setagaya-ku, Tokyo 158-0093, Japan
Phone: 81 (0)3 5758 6070 Fax: 81 (0)3 5758 6072



WTA フィルター

ロバート・ワッツのデジタル回路設計を特長づけているのは WTA フィルターである。

ワッツはこのフィルター・アルゴリズムの研究に 30 年以上費やしている。

WTA フィルターを理解すると、なぜサンプリングレートが高い方が音がいいのか、という質問への答えがでてくる。録音の世界では 96kHz で録ったほうが 44.1kHz で録るより音がいいということは常識となっている。これは高い帯域まで伸びることによって実際には聞えない音情報が録れるからだ、とされている向きもあるようだが本当にそうであろうか。

ヒトの耳は 768kHz で録った方が 384kHz より音がいいと認識でき、メガヘルツの域まで上がっても、音質に差異を認める能力を持っている。そのような超高域には楽器の信号は存在せず、そこまで録れるマイクロフォンもなければ再生できるアンプやスピーカーもないのにも関わらず、である。

ここから推論できることは、音質向上は、周波数帯域の拡大により可聴帯域外の音信が加わるからではなく、むしろ可聴帯域内に何らかの変化がもたらされたからだ、と考えるのが自然ではなかろうか。ワッツは、その理由は、トランジェント(音の立ち上がり)のタイミング精度が上がるからである、という。録音のサンプルレートが高いほどいい、という根拠は、人間の脳は左右の両耳を使って音の位相をマイクロ秒レベルで聞き分けられる、という実験結果にある。高域音源がどこから発せられているのか、わずかな位相差によって聞き分ける能力が人間には授けられているのである。

したがって、単純に言えば、究極の録音システムはサンプルレート 1MHz くらいの性能をもっているべき、という結論が導き出される。

ただ、別の見方もできる。44.1kHz という CD レベルのサンプルレートであっても FIR フィルターが無限の長さのタップを持っていれば同等のパフォーマンスを得ることができるのだ。サンプリングのセオリーは宇宙の誕生から絶滅まで、つまり永遠という時間軸にたって壁を建てるようなこととして立証されており、現実世界では実現不可能な理想論である。

現在入手可能な汎用タイプのフィルターは比較的短いタップ長(256+タップ程)しかもたないため、トランジェントエラーを引き起こす率が高い。タップ長を 1024、2048 と大きくしていくとトランジェントタイミングエラーは減少し、エラーがいかに音質に影響しているかを聴覚で確認することができる。タップ長の増大とともに、よりスムーズでフォーカスが定まっていき、奥行きはずっと深まり精度の高いサウンドステージが現れてくるのである。

理想の実現は難しくとも、現実的方法として、単にタップ長を大きくするだけではなく、トランジェントタイミングエラーを最小に抑えるフィルターを開発することで、相乗的に音質向上に貢献することができる。それが、WTA フィルターである。ワッツは、仮に 256 タップであっても、このフィルターを使うことで改善されることを確認している。DAC64 では 1024 タップに WTA フィルターを採用したが、今回 QBD76 に搭載の Spartan3 FPGA は 4 つの 70 ビット DSP コアを設計でき、タップ長は 4096 となっている。この飛躍的進化に合致すべく WTA フィルター自体の最適化も要求され、今回の開発ではとめどない試行錯誤と聴覚テストを繰り返さねばならなかった。しかし、それは非常にエキサイティングなプロセスであり、一聴歴然の結果を獲得したと確信している。

<http://www.timelord.co.jp>

Timelord Ltd. 2-6-18-501, Kaminoge, Setagaya-ku, Tokyo 158-0093, Japan
Phone: 81 (0)3 5758 6070 Fax: 81 (0)3 5758 6072



第 5 世代パルスアレイ DAC

WTA フィルターに並ぶワッツデザインのもうひとつの核「パルスアレイ DAC」というメソッドは、特にノイズシェイパー構築において大きな変革をもたらす。パルスアレイ DAC とは他の多くの製品がそうであるように、デルタシグマ DAC であり、ノイズシェイパーと出力ランケーター(切り詰め)を必要とする。出力ランケーターは、高精度信号を切り詰めて DA コンバーターの出力段に期待される精度に切り詰める作業をする。この「作業」はノイズを起因し、歪を発生させる。ノイズシェイパーは、再生周波数帯域に乗ってくるノイズをインテグレーターを使って除去する役割を持つ。インテグレーターの数がノイズシェイパーの次数を決定する。ただ、ノイズシェイパーが帯域内の歪やノイズを除去するのにすばらしい仕事をしたとしても、超高域においてはそのパフォーマンスはどうしても劣ってくる。したがって、超高域ノイズや歪はアナログ回路でフィルタリングされる必要がある。そうしないと、このノイズはプリアンプやパワーアンプを通過する時に再生帯域内の歪として戻ってきてしまうのである。再生時に認識される高域の硬い感じや細かくざらついたような印象がそれだ。

ワッツはこのようなノイズを効率よく除去するノイズシェイパーを開発した。第 5 世代となったパルスアレイは 8 次カーブのノイズシェイパーを採用し、44.1kHz の入力ソースに対し、2608 回のオーバーサンプリングとデジタルフィルタリングを行い、デジタルドメインでの完璧なノイズシェイピングを施すことで、アナログドメインにおけるパフォーマンスを最高のものとするのを約束するのである。

データジッターについて

音質重視の DAC 設計における課題としてデータジッターの問題がある。アナログ・フェイズロック・ループ(PLL)回路によってレファレンスクロックに同期させる DAC では、レファレンスクロック信号と SPDIF に同梱されているクロックデータとがしっかりと同期することが前提だが、この PLL 回路でランダムなジッターを発生し、アナログに変換された後に悪影響を及ぼすことになる。

DAC64 では、この問題を内部にジッターの少ないローカルクォーツを搭載し、RAM バッファを使って解決を試みている。しかし、ビデオソースの場合、バッファをオンにすると映像と音声はずれることになるので、使えない。データジッターが低い場合はデジタル SPDIF ディコーダーとデュアル PLL を使うことで、100%完全にジッターを除去はできないものの、かなり低減することができるのである。

QBD76 では、データジッターを完全に除去するために、デジタル PLL 回路を新たに設計した。ワードクロックは 115MHz という非常に低ジッターのクロックからジェネレートされる。これは 64,000 という数のワードクロックを収束させたもので、クロック精度は 27 ビットの精度をもつ。これにより、データジッターは完璧に除去され、残るはマスタークロックが発するランダムなジッターだけとなる。しかし、このクロックの精度を考慮すれば 3pS cycle to cycle 以下という微小なレベルである。

この性能は DAC64 で採用した RAM バッファの最大設定に匹敵するパフォーマンスであり、QBD76 では RAM バッファを搭載してはいるが、それをオフにした状態でもジッターレベルは最小に抑えられている。

<http://www.timelord.co.jp>

Timelord Ltd. 2-6-18-501, Kaminoge, Setagaya-ku, Tokyo 158-0093, Japan
Phone: 81 (0)3 5758 6070 Fax: 81 (0)3 5758 6072