



第1章 特集 オーディオ用 Δ - Σ 型 DAC を開発した!

USBスピーカ用 D-Aコンバータの開発物語

～最短時間 PLL 法を導入して低歪み率を達成～

近藤仁志

開発者自らが書いた市販 D-A コンバータ・チップの開発物語である。ここで取りあげる D-A コンバータは、USB スピーカを対象としている。USB コントローラと、 Δ - Σ 型 D-A コンバータを 1 チップに収納する。筆者は、まず USB の仕様上の問題点を探り、PLL 回路を付加することで対処をはかった。そこで実績のある PLL と D-A コンバータを使用して試作機を作ったが、期待するオーディオ性能を得ることができなかった。原因は探求できたが、高速な制御方法が実現できずにいた。そこで、恩師の助言をヒントに最短時間 PLL 法を採用した。本稿では、D-A コンバータの技術的な解説を中心とはしていないが、製品の開発過程で、どのようにして問題が発見され、どのようにして解決されたかが書かれている。(編集部)

序—ある夜の 10 時

●開発者としての至福の瞬間を待つが…

ウェハが半導体工場から上がってきて、アセンブリ工場でリード・フレームに搭載してもらったら、いわゆる ES (Engineering Sample) チップの完成です。次は、いよいよ“灯入れ”です。古い表現ですが、実際に電源を入れてはじ



て動作を確認することを、われわれはそう呼びます(真空管の時代から…??)。この瞬間が、設計者として一番緊張します。期待と不安で、心臓はドキドキと鼓動が高まります。

あらかじめ用意しておいた実験基板にチップをはんだづけすると、はやる気持ちを抑え、祈るような気持ちでスイッチを入れます。

チップ開発のテープアウト^{注1}までに多くのシミュレーション、実験を重ねているので、絶対に動くという自信はあるものの、不安が脳裏をよぎり、最悪のケースが頭に浮かんでは消えます。動いたら動いたで、ホントかと目を疑うことになるのです。スイッチを入れて、もし動いても、電源や基板の配線をなんども確認することになります。まちがって動いているかもしれないからです。そのときは本当に動いていることにはなりません。それでも動いていることを確認したとき、まさに天にも昇る気持ちになります。開発者ならではの、至福の瞬間です。

が、一部でも動かなかったときは(こっちのケースのほうが多い!)地獄へまっしぐらです。

●動かないチップ

PCM2702 の場合も、ES 到着から 2 日間、まったく動かないままでした。しかも、担当者の一人は ES 到着の明後日には、このボードをもって渡米するというスケジュールです。土曜日の、すでに日もとっぷりと暮れた夜の 10 時過ぎ、いまだチップからは何の応答もありませんでした。担当者は 3 人。休日出勤で朝から出社していたのですが、そろそろ血の気の引いてきた顔で、じっと一点 (ES) を見つめています。

「おかしい。論理合成で作ったのに…。ゲート・シミュレーションも完璧だった。大規模 PLD (Programmable Logic Device) で試作し、実機検証も十分にした。その試作した大規模 PLD ボードを持って米国まで行き、USB コンプライアンス・テスト (Universal Serial Bus Compliance Test) で合格のお墨付きまでもらった。なのに、なのに…」

注1: テープアウトとは、IC 設計者がタイミング検証まですべて終了し、設計データを IC マスク設計者に渡す段階をいう。今はテープではなく、LAN で転送される。

1 | USBコンプライアンス・テスト

●USBスピーカ用D-Aコンバータの開発

筆者ら(Burr-Brown社)が開発を進めていたのは、USBコントローラ内蔵のD-Aコンバータ・チップです。用途は、はっきりしています。USBスピーカ用です。

デジタルのシリアル・インターフェースとして、USBは標準規格化されました。PC(パソコン)の世界では、これまでの業界標準であったRS-232-C(通称)を置き換えつつあります。しかもUSBは、PCの世界から離れているいろんな機器でも使われていくことはまちがいないさそうです。開発当初は予想していなかったUSBオーディオ・アダプタやUSBポートを装備したMD/CDラジカセが登場してきそうです。

USBには、キーボードやマウスなどの入力機器をつなげるだけでなく、プリンタやスピーカなどの出力機器にも接続できます。筆者らは、このUSBスピーカに着目したのです。音の情報は、人間にとってきわめて重要な媒体です。USBで流れるデジタル・パケットをうまくD-A変換すれば、高音質の音が伝送できます。USBインターフェースとD-Aコンバータを1チップ化して、安価に提供できれば、その用途はいろいろあるはずだと考えたのです。

さて、USBチップを開発するには、認定を受けなくてはなりません。そのためのUSBコンプライアンス・テストの話からはじめましょう。

●USBコンプライアンス・テスト対策

USBのコンプライアンス・テストは、USB-IF(USB Implementers Forum)が主催するもので、年に4回程度不定期に行われています。このテストに通ったチップだけが、USBのロゴ・マークをつけることが公式に認められ、そのプロダクトIDがUSB-IFの発行するインテグレート・リストに掲載されるのです。

先ほど述べていたのは、このテストを正式に受けるために作ったESチップがまだ動作していないということだったので。「正式に」というのは、筆者らは一度予行演習をしていたからで、最初のテストは、大規模PLDボード上に実現した形で受けていたのです。

大規模PLDでテストを受けた意味は、

- (1) 筆者らの想定した以外の動作確認が抜けていないかどうか(テストベンチとしての役割)、すなわち、チップに落とす前に、十分なデバッグを行おうということ。
 - (2) テストそのものが初めての試みだったので、コンプライアンス・テストがどういうものかを知りたかったこと。
- という二つの側面がありました。そして、次のテストの開催

日までに大規模PLDを正式なチップにして、もう一度コンプライアンス・テストに通すという戦略でした。

最近では、このテストが日本国内で行われていないこと、および3ヵ月に1度程度の不定期であることなどから、「機を逃すと勝機を失う」と考え、ESチップが上がるとすぐに試作ボードに搭載し、そのまま渡米して本番に望むという強行スケジュールを組みました。実験基板を用意することはもとより、ホテル、航空機などの予約も済ませ、万全の準備をして、いまや遅しとESの到着を待っていたのです。

●沈黙したままのESチップ

ESは、動きませんでした。

設計者としてはショックでした。動くはずだと、自信があったからです(100%ではないが)。その裏には大規模PLDで十分検証されていることがありました。もちろん、大規模PLDと実機では、実際の回路構成が異なることは十分承知していて、必ずしも動くわけではないこともわかってはいました。だから、もし動かなかったときは、すぐには手の出しようがない(ウェハの修正にはある程度の期間が必要)ので、動かなかつたら次回のテストへ先送りしよう(笑ってあきらめよう)というつもりでした。

とはいえ、これまでの残業による「がんばり」と「期待」をどこに向ければよいのか、何かとっかかりはないのか、基板の配線と回路図を穴があくほどみて、オシロで外部クロックが発振していることなども確認しました…。そしてついに、筆者らは内部のチップに直接プローブを当ててデバッグする決心をしたのでした。

●ESチップ、ドックに入る

まずはプラスチック・モールドを薬品によって剥離し、む



【写真1】評価用大規模PLDボード

右側は大規模PLDでの評価部分で左側に実チップ(ES)が載る構造となる。