

エレキ工房No.5

第13回1ビット研究会
2016年6月22日
中田 宏

エレキ工房No.5に原稿を書いてみて

- 執筆動機

- 様々な人が様々な場所で $\Delta\Sigma$ の解説をしていたが、中田自身がハラオチできる解説に出会えていなかった。
- タイミングよくCQ出版社から $\Delta\Sigma$ の解説記事を頼まれたので、試しに書いてみた。

- 読者からの感想

- 自作オーディオ仲間からの最初の反応は、
「難しくて理解できないことが多数」
だった。

ハラオチできない解説を世の中にまた一つ増やしてしまっただけなのかも。

そもそもの企画

- 2012年11月7日 一通のメールから始まった
 - CQ出版社にいてオーディオを趣味とする編集者さんからメールが届き、「DSDを扱う書籍を作りたい」という話だった
- 2012年11月14日 打ち合わせで依頼を受けた
 - 「DSD録音、再生をマイコンで制御したい」
 - 「もしもUSB DACみたいなキットが作ればなお良い」

自作オーディオの主観的評価 (客観主義のトラ技で書けない内容)

- ΔΣ録再キットDAR001

同機能の市販品と比べて、音質は良いとも悪いとも...

- 実はトラ技の客観主義は両刃の剣

- 聴感上明らかに音質が違って、再現性のある数値として測定できなければ、記事に書けない
- 聴感上違いがわからなくても、測定値が異なれば違うものとして書かなければならない
- 素朴に考えても、現在のオーディオ評価を測定して数値化する手段が、人間にとって聴感上聴き分けられる差異を全て網羅できているとは思えない
- 難しく考えると哲学者デカルトが悩んだように、複数の異なる主観が集まった時、共通認識を持てるのだろうか？
 - 噛み砕いて説明すると、『10kHzオーバーの高周波が聴こえる人/聴こえない人、Jazzを聴く人/Popsを聴く人/クラシックを聴く人、いろんな人がいるのに、全員が同じ評価を下せるだろうか?』という話もできる (デカルトの悩みはもっと奥深いけど)
一部の人にしか聴こえない10kHzオーバーの領域だけで特性の違いを測定できた場合「10kHzオーバーが聴こえない俺には関係ないもんね」と主張する人がいるかもしれない その主張を否定してよいのか?

$\Delta\Sigma$ 録音機企画検討時の悩み

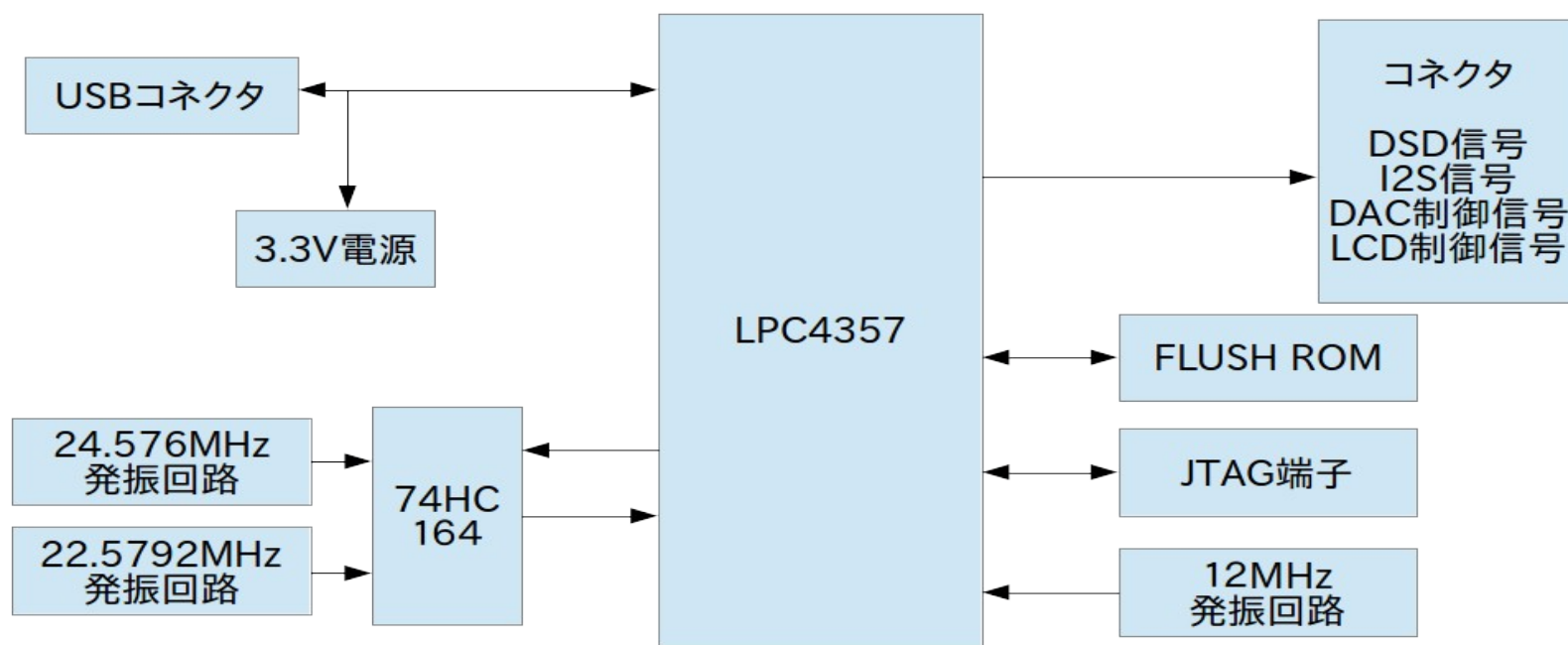
- 要求仕様として5.6MHzのDSDを扱うUSB DACを作るなら、USBのHi-speed (480Mbps)通信は必須
 - USBから受信したデータをDACに向かって投げる時、I2SとDSDのモード切り替えが必須
 - 要求スペックが高くて頭を抱えていた時、トラ技編集長にLPC4330-Xplorer基板とNXPの日本法人社員を紹介していただいた
 - ファームウェア開発工数の見込みは3人月とした 終わってみると、妥当な見込みだった
 - パソコン側で動かす録再アプリケーションは、中田がフリーソフトとして配布しているものを小改造で流用する予定だった
 - トラ技編集長の厳命
 - キットは買った人が改造できるようにリード線部品を多用すること
 - ケースにいれること
- 前者は、回路設計を担当したハード屋さんの猛烈な抵抗にあいながらも実現したが、後者はいつの間にかうやむやになった
- マイコンとDAC間の通信は、100%の確信はなかったものの『LPC4330のSGPIOを使えばできるかも』という見込みで、設計を始めた。結果的には、成功した。

紆余曲折

- 2013年4月 「DAC LSIにES9018を使いたい」という編集さんが、輸入代理店に問い合わせたもののコスト面で却下された
- 2013年5月 回路設計に自信がないので、トラ技編集長にハード屋さんを紹介してもらった
- 2013年6月 ハード屋さんの回路図が上がってきた DAC/ADCに入れるクロックの原発振はTCXOを提案していた(後ろのスライド参照)のにPLLに変わっていてがっかり
- LPC4330-XplorerのSGPIOを使うためクロックを外から入れたいのに、ピンヘッダに繋がっていないという問題発生
 - 他のマイコン基板が使用できないか色々調べた
 - 最終的に、「ピンヘッダの未使用ピンからテストパターン7にジャンパーを飛ばせば?」というハード屋さんの提案で乗り切った
- この時点では、「録音する時LPC4330-XplorerのSDカードに書き込めば、パソコンはいらないよね」という方向だった
 - 後にSDカードのアクセス速度が遅いことが判明し、録音もUSB経由でパソコンに送ることになった
- 2013年8月 ラッピングで配線した試作基板が届いた
- 最近の半導体は、機能が多すぎる上にモデルチェンジサイクルが短かすぎるので、データシートに十分な情報が載っていない トライ&エラーで実装する日々が続いた
- 2013年10月 プリント基板第1試作が届いた
- 2013年11月 Windowsからの音出しが安定してきた
キットにおまけで付ける予定の再生アプリケーションについて、編集さんから改造依頼が頻繁に届く
ハード屋さんから「DSD5.6MHzがWindowsから録再できない」とクレームがついた
- 2013年12月 エレキ工房No.5の原稿を書き始める
- 2014年1月 USBオーディオクラス2で、11.2MHzのDoP録再に成功した
- 2014年3月 エレキ工房No.5の出版予定が、CQ出版社の事情で無期延期となった
- 2014年 原稿発表を待たずに、DAR001キット先行販売される
キットが売れると中田にも若干の印税が入るが、2016年5月までの合計金額でもキット実装のために購入したUSBプロトコル・アナライザの購入費用すら回収できていない
- 2014年10月 録再キットについてトラ技で連載が始まる
著者校正できたのは第1回だけ 2回目以降は、著者校正なしで出版されたため、どんな内容になるかトラ技の発売をハラハラして待った
原稿に大きく手を入れられていて、記事に追加された部分が本文と矛盾していることも多かった
訂正依頼を毎月送っていたが、分量が多すぎて次号の訂正欄には半分くらいしか載っていなかった
- 2014年11月 USBのバルク転送を使ってようやくWindowsからも5.6MHzのDSD録再ができるようになった
ハード屋さんに試験協力をお願いしたところ「このプロジェクトは儲からないから抜ける」と返事が来た
- 2015年10月 エレキ工房No.5の原稿校正依頼が突然届いた
- 2015年12月 エレキ工房No.5がようやく発売された
- 2016年5月現在、キットは増産予定がないらしい
今の在庫でおしまい
採用しているマイコン基板LPC4330-Xplorerの入荷状況も怪しくなってきた

中田が最初に提案したブロック図

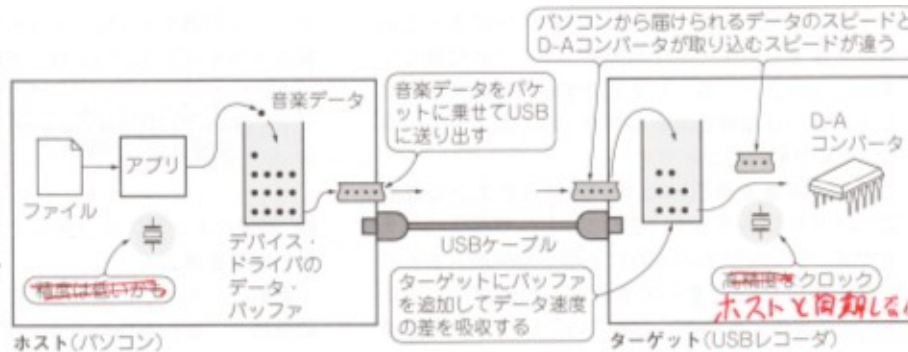
ハイレゾUSB DAC向け CPUボードブロック図



トラ技の連載

- 2014年春に予定していた書籍化がいったんお預けになり、キット製作記事をトラ技本誌で連載することになった
- 書籍向けの原稿をばらして再構成、修整した
- 中田の原稿が元になった連載は、以下
 - 2014年11月号 （筆者校正1回）
 - 2014年12月号 （筆者校正未実施）
 - 2015年1月号 （筆者校正未実施）

図1 本器はパソコンが送った音楽データをいったんバッファに貯めて、高精度な専用クロックで取り出しながら再生する。ホストのデータ送り出しクロックと、ターゲットのデータ再生クロックがずれていると、ターゲットのバッファ内でバッファ溢れやデータ欠落が生じる。



$\Delta\Sigma$ 変調された音源の録音再生とPCM(Pulse Code Modulation)音源の再生が可能な「 $\Delta\Sigma$ /PCM対応USBレコーダ実験ボード(以下、 $\Delta\Sigma$ レコーダ)」を作りました。

今回は、USBでオーディオ・データを伝送する手順を解説しました。音を途切れさせないアイソクロナス転送が使われます。ホストであるパソコンとターゲットであるD-Aコンバータでは独立したクロックが使われます。ホストとターゲットの両方のクロックが水晶精度であってもクロック間にずれが生じるため、バッファを入れて調節します。今回は、バッファ量が調整できるアシンクロナス方式を説明します。

OSには、PCMデータをUSB経由でD-Aコンバータに送るドライバが標準で用意されています。しかし、 $\Delta\Sigma$ データは扱えないので、PCMデータに偽装してターゲットに送るDoP(DSD Audio over PCM Frames)という方法を使います。今回はDoPについても説明します。

パソコンが送り出すデータを受信再生するためのクロック同期技術

● 3種類のクロック同期方式

パソコンとUSB機器間でデータを転送するには、

バルク/インタラプト/アイソクロナスの3種類が使われます。オーディオ・データは定期的にデータを送るアイソクロナス転送を使うことで、音飛びなく再生されます。(PCM) 一度もデータを送らない

電圧レベルの信号が正しくD-Aコンバータに渡され、さらに正確なクロックがあることで、オーディオ・データが正しく再生できます。

- D-Aコンバータに供給するクロックの生成方式には、次の3種類があります。
- (1) アシンクロナス方式…D-Aコンバータ(以下、DAC)側にクロックをもつ
 - (2) シンクロナス方式…ホストからのSOFパケットに同期して再生する
 - (3) アダプティブ方式…ホスト側のクロックに同期して再生する

USBケーブルを流れる信号は、具体的にはSOF(Start Of Frame)やアイソクロナス・パケットです。これらを送信するときに使われるタイマは、ホスト側のクロックに依存します。

SOFは、ホストとターゲット間の接続が確立されると、ホストから定期的に送られるタイミング・パケットです。本器のように、独立したクロックをターゲットの中にもっていると、図1のようにターゲット・ホスト間のクロックの違いが問題になります。どちら

● 筆者校正を一度もしないと、こんなに赤くなる

● 担当編集者には毎月報告していたが、次号の訂正欄には一部しか載らなかった

署名記事に関する CQ出版社と中田の温度差

- 中田は、書店で購入できる技術雑誌に実名で署名記事を書くという行為を、学术论文の記述に匹敵することと認識している
中身の技術内容を署名者が担保しているつもり
- 実際には、記事の仕上がりが筆者の意図しないものになることがある
- 例えば、トラ技2013年12月号のオーディオ特集に書いた『ネットワーク・ジュークボックス』の記事にて
編集さんが追加したイラストのキャプションに『カチャカチャとプラモデル感覚で作る「ネットワーク・JukeBox」』と書かれた
40年前に、地元で複数模型店のプラモデル草コンテストに入賞した中田の経験から言わせてもらえば、『このキャプションはプラモデルを過小評価して』いる。
世の中のプラモデルに対する先入観は過小評価しているらしいが、プラモデルは同じ製品を同じ中級者が複数回組み立てても、毎回異なる仕上がりになるような厳しい世界。1/24レーシングカーの通信アンテナを真鍮線で巻いてみたり、塗色を調合したり、数々の職人芸と創意工夫を必要とする。
ついでに書くと、パソコンの組み立てを『自作』とか『プラモデル感覚』とか書くのも違和感がある。中田の意識では、
『パソコンの自作』=『半導体DIPパッケージをプリント基板にハンダ付け (Apple IIコンパチ機を思い出す)』
なので、
『今のパソコンの組み立て』=『組み立て家具感覚』
の方が近いと思う。
こんなことを書くと、組み立て家具コンテストに入賞した人からクレームが来るかも？
- 話を戻すと、最近CQ出版社で一部の不心得編集者が本名を隠したペンネームのライターを大量投入して、無断引用しまくりで技術内容の薄い雑誌特集記事を作っていることに、中田は大いに不満を持っている。もちろんCQ出版社のエライさんには説明済み。
 - 一例を上げると
インターフェース 2015 年 9月号で P.95 の記事内容は、2015年3月号 P.107 の記事に酷似しており、図は明らかに3月号から流用しているが、参考文献として3月号の記事が取り上げられていない。
インターフェース編集長も「図だけなら無断引用してかまわない」と判断したそうだが、今度会ったら「読者でもインターフェース誌から図だけを無断引用することはかまわないのか？」とたずねてみるつもり。
 - では、中田が『こうあるべき』と考える記事の具体例は？
トラ技2016年6月号のラズベリーパイ3紹介記事がそう。編集さんと密にコミュニケーションをとって、対象読者である現役技術者の参考になるネタをびっしり詰め込んだつもり。特集の中でここだけマニアック過ぎて浮いているような気もするけど(苦笑)。雑誌の発行タイミングの都合上、ラズベリーパイ3紹介記事としては後発情報になることがわかっていたので、他誌には書けない独自の切り口をあえて求めた。

エレキ工房No5で 記事化されなかった原稿

- 最終的にエレキ工房No.5で活字になった原稿の分量は、入稿した原稿の半分くらい
- 編集さんに「この内容を追記してください」と後から頼まれて書いたのに、結局掲載されなかったことには納得がいかない...よくあることだけど
- 難しい内容だから丁寧に説明した部分
→ページ数を削られた
- 情報量の少ない内容だから少ないページ数で済ませた部分
→一つの章に、複数の異なる内容が無理やりつめ込まれた

おまけの無料録再アプリケーション

- 録再アプリケーションは、中田がフリーソフトとして配布しているものを多少機能追加する程度のはずだった
- 編集さんから、予期していなかった機能追加の要望が繰り返し出た
- 各OS(Windows,Mac OS X,Linux)をアップデートした際に、アプリケーションの動作に問題が出るのが何度もあった

編集さんから「アプリケーションで対処してください」と言われて、「待っていればOSがデバッグされるはずだから」と説明しても、納得してもらえなかった

- 一番ひどかった時は、Mavericksが出たタイミングでMac OS XのCore Audioにバグが入って録音できなくなった

中田のアプリケーションだけでなく、市販のUSB録音機器も同様

2ヶ月フルタイムで抜け道を探しても対応できなくて、Mac OS Xのアップデートでようやく解決した要するに2ヶ月の無駄骨タダ働き。

- WindowsもLinuxも作業量が違うだけで状況は似たようなもの
- アプリケーション追加開発工数で合計7人月を費やした