

# 展示物説明

2016年12月7日

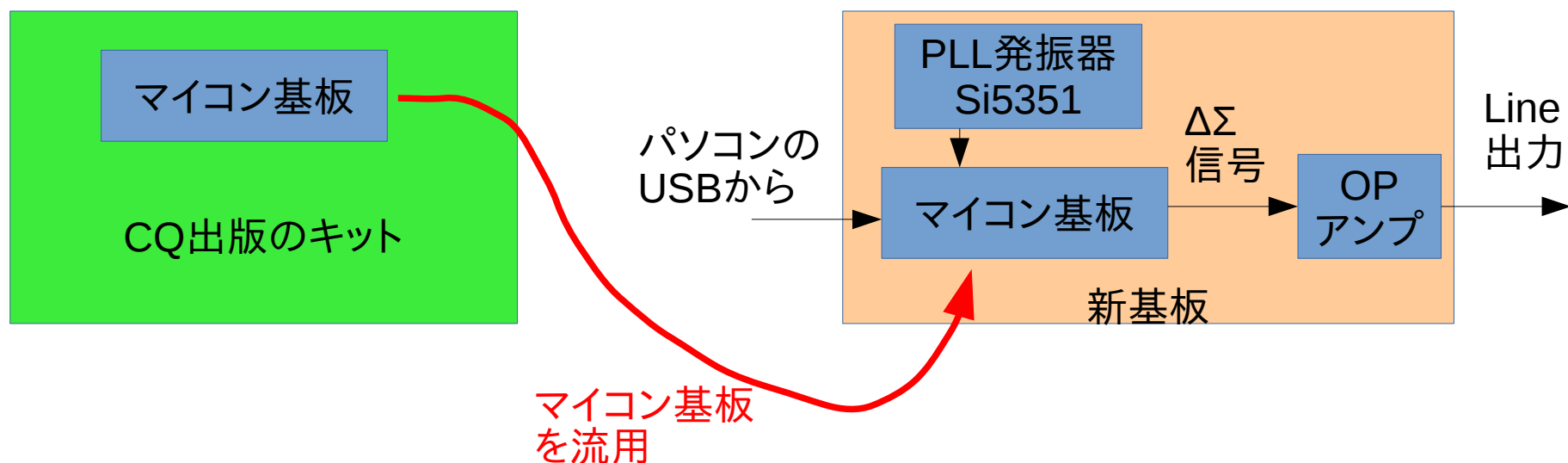
中田宏

# 展示物1

## DAC LSIを用いない $\Delta\Sigma$ のD/A変換

- 企画意図（山崎先生より提案）
  - 1ビットオーディオ研究会として、エレキ工房No.5のキット技術を応用したい
  - 過去に記録した $\Delta\Sigma$ データに2.8MHzの倍数系列から外れたサンプリング周波数のデータがあるので、これを簡単に再生したい
  - $\Delta\Sigma$ のデジタルアウト（差動）から、容易にアナログ信号を作れることを示したい
- 機材
  - Linuxパソコン
  - USB → Line OutのD/A変換基板
  - ヘッドフォンアンプ（トラ技2014年6月号に大藤さんが掲載したもの）
  - ヘッドフォン audio-technica ATH-AD500（左右独立4線式に改造したもの）

# 中田による初期提案



キット利用の製作工数見積もり

- ・ハードウェア作成→0
- ・ファームウェア変更→2日
- ・パソコン再生アプリケーション変更→1日

新基板方式の製作工数見積もり

- ・ハードウェア作成→半日
- ・ファームウェア変更→数日
- ・パソコン再生アプリケーション変更→半日

# 初期提案を元にした議論

- クロック精度について

「PLLなんかじゃだめだ。もっと高精度のクロックを入れたい。」(山崎先生)

「持ち合わせがないので、外部クロック入力可能とします。」(中田)

- D/A変換回路について

「OPアンプなんて音が悪くなるから使ってはいけない。受動部品だけで組んで、出力もバランス回路にすべきだ。」(山崎先生)

「OPアンプで音が悪くなる根拠をご説明ください。バランス出力を受けるアンプが自宅にありません。試験環境を貸していただけますか？」(中田)

- その他

「再生クロックを22MHz以上でも試したい。もっと安く作りたい。3GHzディザ入力も試したい。もっと省電力にして、現在検討中のシステムに組み込みたい。Linux以外のパソコンOSとも繋ぎたい。」(山崎先生)

「無料でお手伝いできる範囲を逸脱していますので、別途見積書を作成しましょうか？」(中田)

# 決定した企画

- マイコンのファームウェアを中田が作りなおす
- マイコン基板のI/O仕様は以下とする
  - 入力はクロック信号 (3.3V CMOSロジック) とUSB接続のみ
  - 出力は $\Delta\Sigma$ 信号 (3.3V差動ロジック 2ch × 2本)
- マザーボードは、山崎先生の研究用と中田のテスト用の2種類を作成する

# 完成したマイコン

- 山崎先生のマザーボードは第14回1ビット研究会に間に合わず
- パソコンとのUSB通信は
  - ブロック転送
  - USBオーディオクラス2転送(ただしDoPではなく、チャンネル毎に連続した32サンプルの1bitデータを32bit PCMに見せかけて伝送している)

の両方で、2.8/5.6/11.2MHzfsのステレオ $\Delta\Sigma$ 転送に成功した。

- 再生クロックを外部入力にした場合、マイコンに再生クロックを決めるための分周比を渡さなくてはならない。USBオーディオクラスのプロトコルで制御できなくなるため、バルク転送となる。バルク転送でも11.2MHzfsまでの再生を確認した。
- 22.5MHzの転送について
  - 以前中田がUSB DACを自作した時は独自方式で22.5MHzステレオの伝送に成功していた
  - 今回は出力信号線が差動で4本になったため、処理が間に合わない
  - 出力を2本に戻して、外付け回路(74AC74など)で差動に変換すれば間に合うと思われる
- 45MHzfsの転送についてはステレオ転送レートが90Mbpsとなり、USBの規格上別の壁がある。USBオーディオクラス2には、以下の制限がある。
  - 転送周期が1秒間に最大8000回
  - パケット最大長が1KB

そのため、64Mbpsを超えると1周期に2個以上のパケットを送る必要がある(規格上は1周期に3個まで送ることが許されている)。送り出しのLinuxと受け側のマイコンで1周期に2個扱えるかどうか確認が必要。しかも某OSを送り出しに選ぶと、1周期に1個までしか送れないと数年前に資料で読んだ。某OSの詳細は、NDAがあるので語れない。

# USB転送プロトコルの問題

- bulk転送でオーディオデータを送る時の問題

バッファ溢れを防ぐフロー制御を行うと、連続送信と一時停止を繰り返すことになる。Linuxのデバイスドライバ内で、CPUパワーをカーネルの他のモジュールに明け渡しながら一時停止する標準的な時間制御単位(Jiffy)は100Hzとか200Hzで、長すぎる。もっと短い割り込みタイミングは、CPU依存で移植性が低い。

結局11.2MHzの $\Delta\Sigma$ を送ろうとすると、CPUのコア(ハイパースレッドが有効ならば片方のスレッド)が負荷100%に張り付いてしまう。

- USB転送で $\Delta\Sigma$ をPCMに偽装するときの問題

ALSAは曲を再生する前後に、デバイスへ連続したデータ0を送る。PCMならばデータ0は無音だが、 $\Delta\Sigma$ では負の最大振幅に張り付いて、都合が悪い。

- DoPの問題

今回使用したマイコン基板では、DoPの解釈をファームウェアで行わなければならないため、出力線を4本に増やすなど機能追加すると、処理が間に合わなくなる。

# D/A変換回路

- 回路図は、別ファイルのPDFを参照
  - LPF特性を計算したところ、カットオフ100kHz、-6dB/Octだった
  - 高域ノイズの多い $\Delta\Sigma$ をまともに再生するには、LPFのカーブが緩やかすぎる
    - アナログ増幅するアンプに悪影響が出るかもしれない
    - ハイレゾが好きな人は、超音波帯域のノイズを聴けて嬉しいかも（ここは皮肉）
    - ヘッドフォンやスピーカーなど、振動板を電磁石で動かすときに、MHz帯域のノイズは再生できないはず
      - スピーカー自身が強力なLPFになる
- MHz帯域のエネルギーは熱に変わるのだろうか？それとも出力段に帰ってくる？



# 追加情報

- つい最近(2016年12月4日)に、中田の自作したフル・デジタル・アンプ 1W+1Wで、 $\Delta\Sigma$ を直接電力増幅することに成功した。今回の会場には持ち込んでいない。
- 試作品が動作したけれども、大メーカーが同様に $\Delta\Sigma$ の直接変換を作成して商品化するためには技術的ハードルがある。
  - 2.8MHzでスイッチングする信号は、信号が通るプリント基板やケーブルなどあちこちから不要な輻射電波を放出している。オシロスコープの電源を入れると、プローブをつなぐ前から2.8MHzが観測できるくらい。

伝送途中で高域のノイズ成分が回路から飛び出して減るのは嬉しいが、製品として売するためには輻射電波対策を徹底的に行う必要が出てくると思われる。

山崎先生には反対されているが、中田の思いついた追加変調でノイズ成分を減らせるかも。

  - 1W+1Wの試作品動作には成功したが、10W+10Wやそれ以上の電力をMHz帯域でスイッチングさせるには、最終増幅段の半導体をうまく選択しなくてはならない。

# 展示物2

## 中田式D/A変換 第9試作

- 機材
  - Linuxパソコン
  - USB DAC(入力はPCM専用)
    - 44.1/48/88.2/96/176.4/192/352.8/384kHzfsの切替
    - 16bit
    - 2ch
  - ヘッドフォンアンプ
    - CQ出版社 『理解しながら作るヘッドフォンアンプ』の付録基板に部品を実装したもの(部品には特別高価なものを使用していないのが中田の趣味)
  - ヘッドフォン
    - audio-technica ATH-AD900X

# 展示物2

## 中田式D/A変換 第9試作

- PCM専用USB DACとして設計、実装した
- 普通にLinuxのALSAから再生可能
- 中田式D/A変換を実現する再生アプリケーションも用意した
  - CDDAを8191タップのFIRでx8オーバーサンプリングしている
  - 約1.5GFLOPS
  - オーバーサンプリング結果を16bitにするときはノイズシェーピングを実施
- $\Delta\Sigma$ データもPCMに変換して再生可能
  - FIRで352.8kHzfs 16bitのPCMに変換している
  - 11.2MHzfsの $\Delta\Sigma$ 処理で8191タップ約700MFLOPS
- FIRの計算量が理論値よりも少ないのは、計算速度にこだわる中田の設計による
  - ここだけの話、デバッグは大変だった
  - GCCのIntrinsic (トラ技2016年6月号で説明)のおかげでSSEやNEONなどSIMD命令が容易に扱えるようになったのは嬉しいけど、Visual C++ではいまだにアセンブラでSIMD命令を書いている。最近のVisual C++は買っていないので知らないが、書きやすくなっているだろうか？