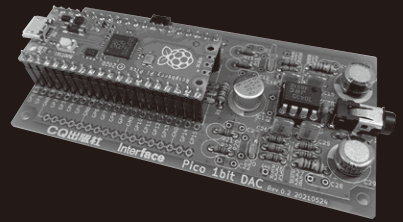


サンプリング・レートの切り替えからノイズ低減、ハイレゾ対応まで!

# ラズパイPico DAC [完全版]の製作



第8回 オーバサンプリング処理の高精度化

geachlab

表1 改善ポイントごとの新旧信号処理の比較

改善ポイント	旧処理 (pico_1bit_dac_hr.uf2)	新処理 (pico_1bit_dac_hr2.uf2)
音量処理最適化	音量の分解能不足 (91 ステップ) 高負荷 = 低速 (64 ビット乗算 & シフト処理) 100% 音量でビット落ち発生	高分解能化 (1441 ステップ) 低負荷 = 高速 (32 ビット乗算 & シフト演算) 100% 音量ビット・パーフェクト化
オーバサンプリング	64 倍 2 次曲線補間 + 9 ~ 13 タップ補正フィルタ	連結ハーフバンド・フィルタによる 高精度オーバサンプリング
$\Delta\Sigma$ 変調	3 次 $\Delta\Sigma$ + 4 ビット PWM	4 次 $\Delta\Sigma$ + 5 ビット PWM

本誌2021年8月号の特集 第6部 第1章(以降、初出記事)で、ラズベリー・パイPicoを使ったUSBオーディオDAC「ラズパイPico DAC」の製作記事を掲載しました。

初出記事では、USBオーディオDACの原理実装に注力したので、機能や性能は限定的でした。サンプリング・レート/分解能は48kHz/16ビットの一枚で、簡易な $\Delta\Sigma$ 変調による可聴帯域の残留ノイズや、電源構造由来の残留ノイズなどの課題も残っています。本連載では、これらの課題を解決してラズパイPico DACを進化させる方法を紹介します。(編集部)

## ● 今回やること…オーバサンプリングの高精度化

今回は、表1に示すオーバサンプリング高精度化について紹介します。

### ▶ 従来はCore1に処理が集中していた

図1は、表1の旧処理→新処理改善内容をRP2040内のCore0、Core1処理分担視点で示したものです。図1(a)の通り、初出記事(2021年8月号)<sup>(3)</sup>では、FIR補正フィルタ、2次曲線補間によるオーバサンプリング、2次 $\Delta\Sigma$ 、1ビットPDM変換は全てCore1内で処理していました。

図1(b)に示すのは、旧処理(2021年12月号の3次元 $\Delta\Sigma$ 化、2022年3~4月号のハイレゾ対応)<sup>(5)</sup>の処理分担です。ハイレゾ対応と3次元 $\Delta\Sigma$ 化により、Core1の処理量が増加して処理が間に合わなくなったので、FIR補正フィルタ処理をCore0に移動しています。それでもCore1の空き時間はわずか数%しかなく、4次元 $\Delta\Sigma$ などの高度な処理に発展させることが困難でした。

### ▶ Core0の空き時間で処理を高度化

その後の調査でCore0にはまだ60%程度の空き時間があり、Core0、Core1の処理分担を見直せば、もっと高度な処理ができることが判明しました。

図1(c)に示すのが、新処理の機能改善内容と処理分担です。

- ① Core0の空き時間を有効活用し、FIRフィルタによる高精度オーバサンプリングを行う
- ② Core0からCore1に渡すデータの $f_s$ (サンプリング・レート)を統一する。これにより、Core1で行っていた $f_s$ 切り替え処理と、可変オーバサンプリング処理を排し、Core1の負荷を軽減する
- ③ Core1では簡易な8倍オーバサンプリングのみを行い、Core1の負荷を軽減する
- ④ Core1の負荷が軽減されて生まれた空き時間を活用し、高度な4次元5ビット $\Delta\Sigma$ 処理を行う

以上のようなCore0、Core1処理分担の見直しにより、より高度なオーバサンプリングとPDM変換を実現します。

## 1 オーバサンプリング処理の改良

### ■ (1) 復習と課題

#### ● オーバサンプリングとは

ラズパイPico DACは、USBから入力されたPCM(Pulse Code Modulation)信号をPDM(Pulse Density Modulation)/PWM(Pulse Width Modulation)信号に変換し、後段のアナログ回路に渡しています。これ