

## 第1章

WAVEファイルのサンプリング・レートを48kHzから44.1kHzに変換して性能検証, まずはC言語でやってみる

## サンプリング・レート変換プログラムをWindowsアプリケーションで作る

岩田 利王 Toshio Iwata

サンプリング周波数 $f_s = 48\text{kHz}$ のデジタル・オーディオを,  $f_s = 44.1\text{kHz}$ に変換するにはどうすればよいでしょうか? ここではまず, サンプリング周波数をどのように変換するかアルゴリズムを考え, C言語でプログラムを作成します. そしてWindows上で実際にWAVEファイルを変換し, その動作を確認します. さらに, 演算負荷を軽くするために固定小数点演算に置き換えてみるまでを解説します.

### 1. レート変換のしくみ~オーバ・サンプリングとダウン・サンプリングを繰り返す

- 一気に441倍オーバ・サンプリングは困難なので分割して行う

サンプリング周波数の変換前と変換後の比は,

$$44100 : 48000 = 441 : 480$$

ですから, サンプリング・レート( $f_s$ ) 48kHzのWAVEファイルを441倍オーバ・サンプリングした後, 1/480倍ダウン・サンプリングすれば変換後のサンプリング・レート $f_s$ は44.1kHzになります.

一般的にオーバ・サンプリングの倍数が増えると, それに必要なデジタル・フィルタの係数には高い精度が求められるようになり, 特に今回のようにFPGA化を考える場合, その実装には困難を伴います.

- 441と480を素因数分解して共通な約数は消す  
そこで, 441倍を分割して行うことを考えます. 441という数字は一見キリが悪そうですが,

$$441 = 3 \times 3 \times 7 \times 7$$

というように素因数分解できます. また480も,

$$480 = 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 3 \times 5$$

と分解できます. 最大公約数3を消して比率を求めると,

$$441 : 480 = 7 \times 7 \times 3 : 5 \times 4 \times 8$$

となります.

- オーバ・サンプリングとダウン・サンプリングを交互に繰り返す

この比率を鑑みると,

$$48\text{kHz} \times 7 \times 7 \times 3/5/4/8 = 44.1\text{kHz}$$

で変換できます. しかしこの場合, 途中でサンプリング・レートが高くなり過ぎてデジタル・フィルタの演算が間に合わなくなる恐れがあります. したがって順番を入れ替え,

$$48\text{kHz} \times 7/5 \times 7/4 \times 3/8 = 44.1\text{kHz}$$

のように変換することを考えます. すなわち,

- (1) サンプリング・レート( $f_s$ ) 48kHzの音声を7倍オーバ・サンプリングする( $f_s = 336\text{kHz}$ )
- (2)  $f_s = 336\text{kHz}$ の音声を1/5倍ダウン・サンプリングする( $f_s = 67.2\text{kHz}$ )
- (3)  $f_s = 67.2\text{kHz}$ の音声を7倍オーバ・サンプリングする( $f_s = 470.4\text{kHz}$ )
- (4)  $f_s = 470.4\text{kHz}$ の音声を1/4倍ダウン・サンプリングする( $f_s = 117.6\text{kHz}$ )
- (5)  $f_s = 117.6\text{kHz}$ の音声を3倍オーバ・サンプリングする( $f_s = 352.8\text{kHz}$ )
- (6)  $f_s = 352.8\text{kHz}$ の音声を1/8倍ダウン・サンプリングする( $f_s = 44.1\text{kHz}$ )

これらの操作により48kHz→44.1kHzのサンプリング・レート変換が可能になります.

### 2. オーバ・サンプリングとダウン・サンプリング, 時間軸と周波数軸で考えよう

- サンプリング変換の動作

上述の(1)と(2)(7/5倍レート変換)を行う様子を図1に示します. 図1(a)は時間軸, 図1(b)は周波数軸のイメージです. 一番上の段はアナログ音声信号です. その周波数帯域はナイキスト周波数(サンプリング・レートの半分)以下に制限される必要がありますが, ここでは20kHz以下に制限されているものとします(それ以上の周波数は人間には聞こえないので).

- アナログ信号をサンプリングしてパルス列にする  
アナログ音声を48kHzでサンプリングすると, 図1の2段目左のようにパルス列となります. するとスペクトル(周波数成分)は2段目右のように,  $f_s$ の間隔で無限大の周波数まで繰り返します. この際, 元のアナログ信号が帯域制限されているおかげで, スペクトルは重なり合うことはありません(8kHzの隙間が空く).

- サンプリング・レートを上げるための「ゼロ挿入」という概念

ここで各パルスの間に振幅がゼロのパルスを6個ず