

音声帯域9 kHzまで完全フラット！  
スプリアス抑圧比80 dB！

## デジタル信号処理実験キットで作る 高音質 & 高効率SSB信号発生器

後編 ヒルベルト・フィルタとアップ・サンプリング

小川 一郎(おじさん工房)

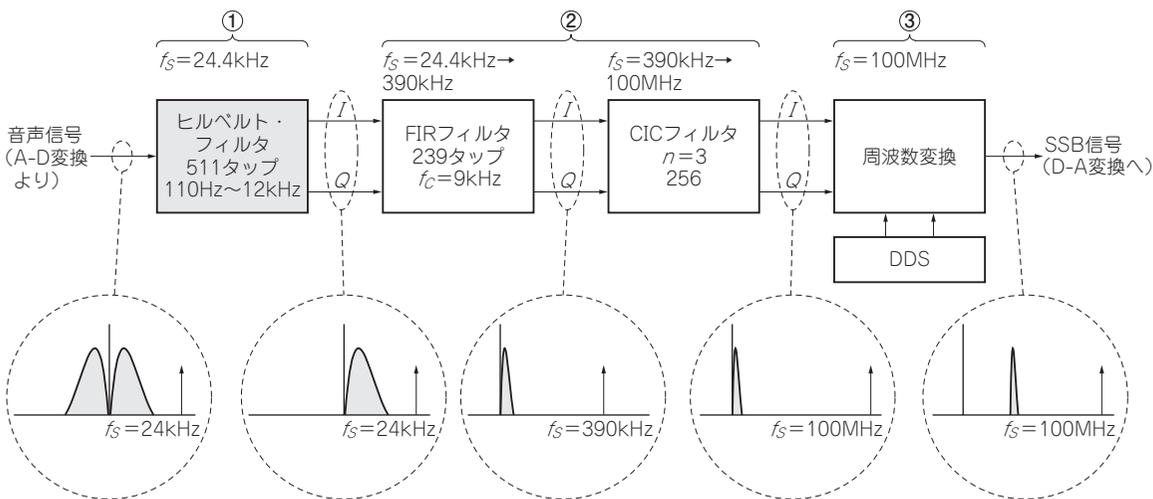


図8 FPGAに作り込んだSSB信号発生回路の全体ブロック構成(再掲)

SSB信号発生器の全体ブロック構成を図8に再掲します。この全体ブロック図での信号処理の順番にそって、各ブロックの詳細説明をしていきます。各ブロックでの処理がなぜ必要なのかに気を付けて読んでいただけると、理解が深まると思います。

### ① 音声信号を正の周波数だけにする

#### ● ヒルベルト・フィルタの作成

ヒルベルト・フィルタはFIR(Finite Impulse Response；有限インパルス応答)の一種で、位相は $-90^\circ$ 一定で、振幅特性はバンド・パス・フィルタになります。ヒルベルト・フィルタの係数設計は、参考文献(3)で紹介されている“FIRtool”を使いました。設計は、タップ数と通過帯域幅、リップルのトレードオフになります。

ここでは、VHDLの必要ハードウェア規模から最初に511タップと決め、あとは逆サイド抑圧比(リップル)が80 dB程度になるように帯域幅を決めました。ここで使ったVHDLで作ったFIRフィルタ・プログラム

は、データ、係数が18ビットなので、80 dB以上の逆サイド・バンド特性にしようとしても量子化誤差があるので無駄です。そのぶんを帯域幅に振り分けれます。

図9に、今回使ったヒルベルト・フィルタの係数を示します。この図を見るとわかるように、ヒルベルトフィルタの係数は、奇対称でしかも一つおきにほとんどゼロになる、という特徴があります。このことを利用してフィルタの計算量を削減することができます。

以前に作ったAVRマイコンでSSB復調する際<sup>(4)</sup>にはずいぶん高速化できました。今回も計算量を削減してタップ数を増やせないか検討してみました。そのぶんバッファ・メモリも増やさなくてはならず、またタップ数511で十分な特性が得られましたので、今回は普通のFIRのままです。FPGAなので、演算クロック数さえ足りれば、なにもわざわざ面倒なことはいなくてもよいということもあります。

図10に、ヒルベルト・フィルタの周波数特性を示します。音声サンプリング周波数が24.4 kHzなので、ナイquist周波数12.2 kHzの1/2の6.1 kHzを中心周波数とした周波数対称形バンド・パス・フィルタの形