



エレクトロニクスによる物理現象のあぶり出し探求

FFTアナライザの 科学計測応用

第9回 FFT評価特化信号マルチサイン/TSPを音響測定に使ってみる

魚田 隆/魚田 慧 Takashi Uota/Kei Uota

前回、前々回と、FFTに向くさまざまな特徴を持った信号TSP(Time Stretched Pulse, ISOではSwept Sineと呼称する)^(注1)の話の続けてきました。このTSPとマルチサインを実際の音響特性で試してみます。波形のパラメータを示す都合で、使用するTSP信号の定義について以下に示します。

▶改良したTSP

周波数特性 $H(n)$ が次のように定義される。

$$\begin{aligned} H(n) &= \exp(jd^2m\pi n^2/N^2) & 0 \leq n \leq N/d \\ H(n) &= 0 & N/d < n \leq N/2 \\ H(n) &= H(N-n) & N/2 < n \leq N-1 \end{aligned}$$

ただし、 $d: N/d$ が整数になるような実数で $d \geq 2$ 、 m : 時間拡がりを決める整数

含有するスペクトルの上限を $H(N/d)$ に制限でき、時間占有率100%のとき $m = N/d$ になります。

室内音響測定の実験環境

TSPの元来の目的は、室内音響測定でした。室内音響の評価には残響時間という指標があり、これはインパルス応答から2乗積分で求められます。

反射による共振が多い室内の音響測定の場合、スペクトルの狭い純音を使った粗いアナログな測定では、共振を捉えられるとは限らず、適切ではありません。スピーカからの放射を考えると、純インパルス音は試験信号として実用に耐えません。

現在、室内音響の測定に使う試験信号には、国内ではTSP信号、欧米ではM系列疑似ランダム信号が一般的なようです。

● 試験信号のサンプリング周波数や長さを決める

TSPを基準に、信号の詳細を決めていきます。

注1：国内では発明者の青島 伸浩氏に習いTSP(Time Stretched Pulse)と呼びますが、ISOではSwept Sineと呼称するのでご注意ください。TSPという呼称は、その発明動機である「インパルス」に引きずられている感が強く、時間波形を見る限り、Swept Sineの呼称が適切であると思います。

A：サンプリング周波数は一般的なオーディオ装置でも試せるように $F_s = 96$ kHz、信号帯域は18 kHzとします(先の式で $d = 16/3$)。

B：信号継続時間(DFTの窓時間) T_w は1秒以上欲しいので、2の累乗でキリが良い値として $N = 128$ K点($N \geq T_w \times F_s$, $K=1024$)とします。96 kHzサンプリングなので1.37秒程度の信号になります。

C：TSPの時間拡がりを決める整数 m は、時間占有率100%のとき $m = 24 \times 1024 (= N/d)$ となります。

D：時間占有率62.5%時は $m = 24 \times 640$ です。

▶他の信号でもサンプリング周波数や信号継続時間を合わせる

他の信号についても同様に、サンプリング周波数、信号継続時間を合わせます。マルチサインの場合、時間占有率は100%相当です。

● 実験する信号

▶信号①…時間占有率62.5%のTSP

時間占有率62.5%のTSP信号は、 $m = 24 \times 640$ 、周波数が低い状態から高いほうへ上がる方向(TSP-up)、かつ前後に休止期間が来るように時間シフトしました。時間波形(図1)はエンベロープに凹凸が見えます(コラム1参照)。

ここに示した波形は、D-Aコンバータの入力データを表示したものです。FFTアナライザの任意信号発生器出力はローパス・フィルタを通すことになるので、実際の波形は少し異なります。

▶信号②…時間占有率100%のTSP

比較のために、時間占有率100%近いTSP信号も用意しました(図2)。 $m = 24 \times 1024$ となります。休止期間が必要なのか否かをはっきりさせるのが目的です。

▶信号③…マルチサイン

マルチサインは時間占有率100%になります。前々回解説したように、マルチサインの生成にはクレスト・ファクタ(CF)が小さくなる初期位相を探す必要があります。128 K点とデータが大きいので、初期位相を探し出すために半日ほどパソコンを稼働させ、40