
計測コラム emm81 号用

デジタル計測の基礎 – 第9回「いろいろな時間波形とスペクトル」

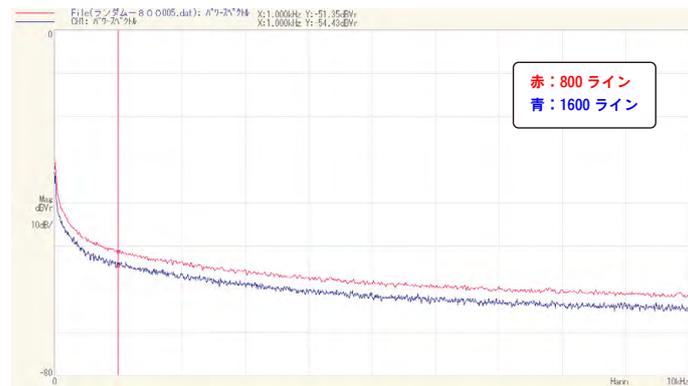
今回は、FFT 分析をしたスペクトル値が、周波数分解能によってどのように変わるか、更に、時間波形によって、分析したスペクトル値をどう読み取ったらよいかについて、お話しします。

前回の「時間窓長とスペクトル分解能」で説明したように、FFTアナライザでの周波数スペクトルは、ビン (bin) と呼ばれるある幅を持ったフィルタ群を通過した交流信号のパワー (2乗平均値) を求めることとなります。このスペクトルを**パワースペクトル**と呼ぶことにします。正弦波などのような周期的な信号のスペクトルは、ライン (線) スペクトルとなりますので、そのラインスペクトルがビンの幅に入っておれば、幅に関係なくそのパワー値は変わりません。パワースペクトルの物理単位は、 V^2 (または、 EU^2) となります。

それに対して、アンプのノイズのような周期性のない不規則な時間波形 (ランダム信号) のスペクトルは周波数の連続関数となることから、連続スペクトルとなります。このようなランダム信号のスペクトルのパワー値は、通過するパワー値がビンの幅 Δf に依存しますので、FFTアナライザの分析ライン数 (ビンの数) によって、変化します。

例えば、分析ライン数が 800 ラインと 1600 ラインで分析して、2つのパワースペクトルの同じ周波数バンドのパワー値を比較した場合、800 ラインの方が平均的な意味で約 2 倍パワー値が大きくなります。このような分析幅の違いによるパワー値の差を小さくするために、パワー値を分析帯域幅 Δf で規格化します。この単位周波数 (1Hz) 当たりのスペクトルを、**パワースペクトル密度関数 (以下、PSD)** と呼びます。すなわち、パワースペクトルを $P(f)$ とすると、 $PSD = P(f) / \Delta f$ と計算できます。PSDの物理単位は、 V^2/Hz (または、 EU^2/Hz) となります。

パワースペクトル



パワースペクトル密度関数 (PSD)

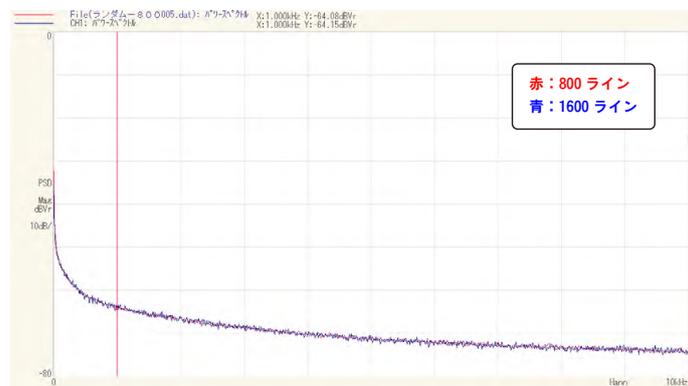


図 1 ピンクノイズを 800 ラインと 1600 ラインで分析した例

上記の 2 種類の時間波形（周期的信号とランダム信号）は、いわゆる定常的な信号なので、そのスペクトルは FFT の時間窓による時間平均に無関係となりますが、衝撃波などの過渡信号の場合は、エネルギー値が有限となるので、パワースペクトルは、時間窓長に大きく依存します。例えば、0.5 秒持続する過渡信号を 1 秒間と 2 秒間の時間窓で分析した場合、そのパワー値は 1 秒間の方が、2 倍大きくなります。もちろん、この場合も、非周期信号ですので、スペクトルは、連続となります。

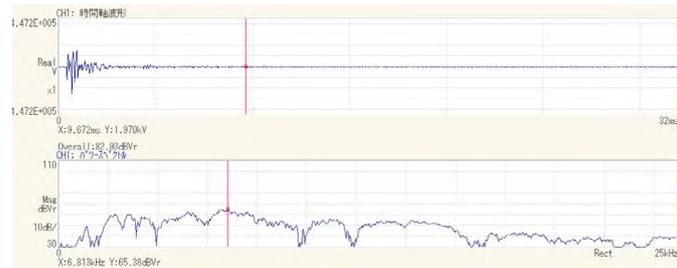
過渡信号の場合は、パワーでなく、エネルギーの単位でスペクトル量を求めます。これを、**エネルギースペクトル密度関数（以下、ESD）**と呼び、 $ESD = PSD \cdot T$ （TはFFTの時間窓長）として求めることができます。ESDの物理単位は、 V^2s/Hz （または、 EU^2s/Hz ）となります。

(注)

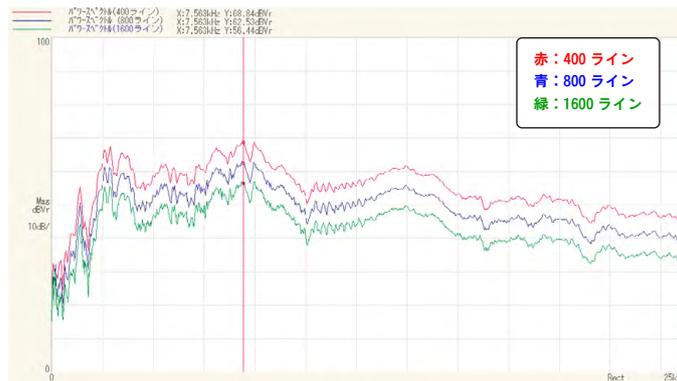
PSDとESDの関係は、騒音測定で用いられる時間平均音圧レベル (L_T) と音響暴露レベル (L_E) と同様で；

$$L_E = L_T + 10 \log_{10} T$$

；の関係になります。



パワースペクトル



パワースペクトル密度関数 (PSD)



エネルギースペクトル密度関数 (ESD)

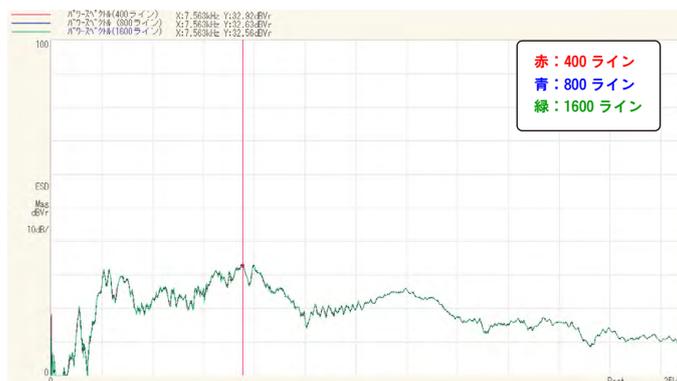


図2 過渡音を400ライン、800ラインと1600ラインで分析した例

FFTアナライザで分析対象となる時間波形としては、これまで述べたようにおおざっぱに分類すると、周期信号、ランダム信号、過渡信号となりますが、スペクトルの読み方を整理すると、表1ようになります。

	周期信号	ランダム信号	過渡信号
時間信号の持続	無限	無限	有限
パワー	有限	有限	有限
エネルギー	無限	無限	有限
スペクトルの形	線スペクトル	連続スペクトル	連続スペクトル
スペクトル評価関数	パワースペクトル	パワースペクトル密度	エネルギースペクトル密度
上記の単位	EU^2	EU^2/Hz	$EU^2 \cdot s/Hz$
計算方法	$P(f)$	$P(F)/\Delta f$	$(P(F)/\Delta f) \cdot T$

(注)

EU は、工学単位 (Engineering Unit) の略で、任意の物理量単位を表します。

以上