



## シグナルアナライザ MSA500 シリーズ

### 《リアルタイム方式の基礎知識》

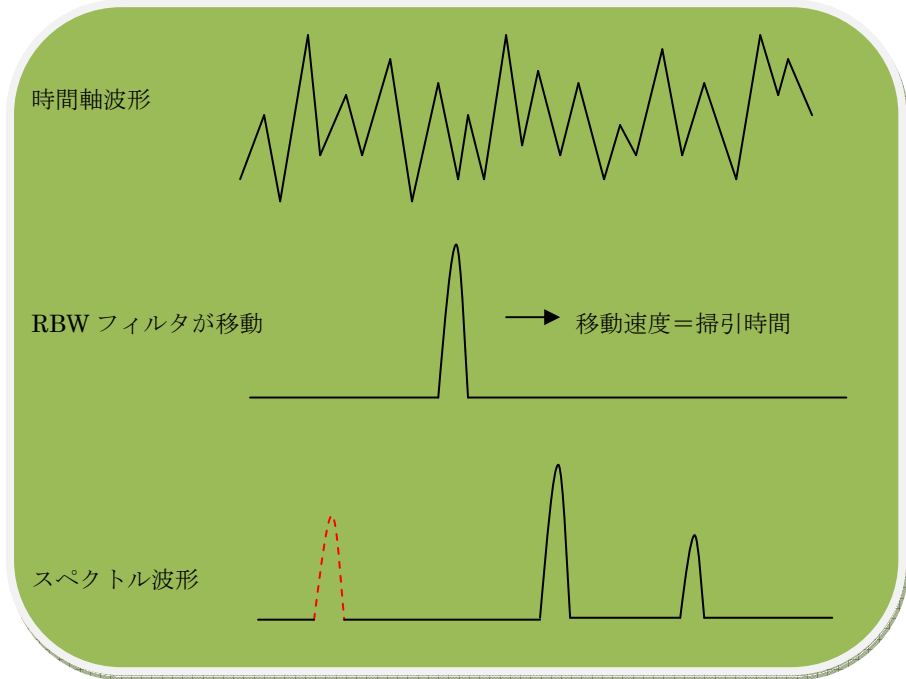


## リアルタイム方式とは

MSA500 シリーズは、掃引方式とリアルタイム方式の2方式を搭載しています。

掃引方式は従来のスペクトラムアナライザの方式です。

### 掃引方式



1 個の RBW フィルタが指定された掃引範囲を**移動して**、スペクトルを表示。

RBW フィルタが移動する速度は、掃引時間で設定。

周波数スペクトルが掃引中に変化していて、RBW フィルタがある位置に来た時  
そのスペクトルが無ければ、**上図の赤い点線**のようにスペクトルは観測されません。



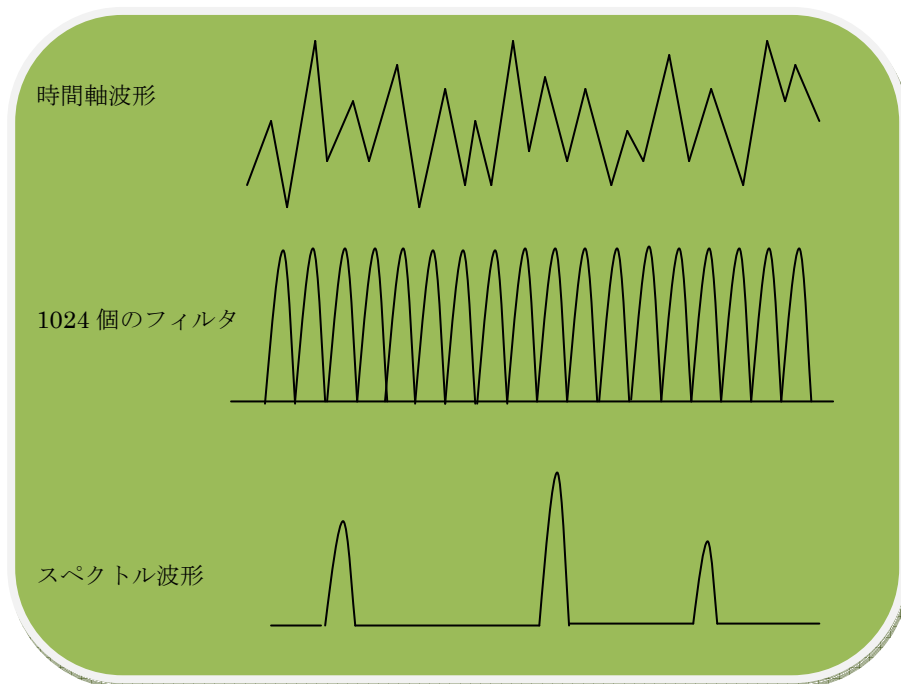
従って、基本的には掃引方式が扱う信号は、スペクトルが時間で変化しない信号

これを「**定常信号**」と言います。

時間と共に変化する信号は「**非定常信号**」です。

代表例は変調信号です。

## リアルタイム方式



沢山のフィルタ（MSA500 では 1024 個）が並列に置かれています。  
従って、ある時間内の信号は同時にスペクトル波形に変換されます。

↓  
リアルタイムと言われる所以

周波数分解能に等しいフィルタが並列に並べられているため、ある時間内の信号は同時処理

↓  
FFT ビンと言う

↓  
スペクトルが時間的に変化しても取りこぼしが出ません。

↓  
変調信号等の「非定常信号」でも扱うことができます。

## 高速フーリエ変換 FFT とは

リアルタイム方式では、フーリエ変換 (Fourier Transform) を用いて時間軸信号から周波数軸信号へ変換します。

時間軸信号  $f(t)$  → 周波数軸信号  $F(\omega)$

変換式

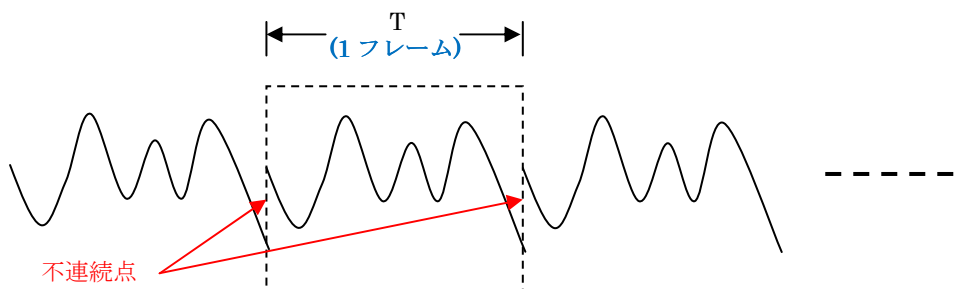
$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{j\omega t} dt$$

$\omega = 2\pi f$  ( $f$ : 周波数)

高速フーリエ変換 **FFT** (Fast Fourier Transform) とは上式の演算のアルゴリズムを工夫することにより、高速化したものを言います。

### 窓関数

上式では、 $-\infty$ から $\infty$ までの積分となっていますが、現実にはある時間で切り取られた信号を扱います。

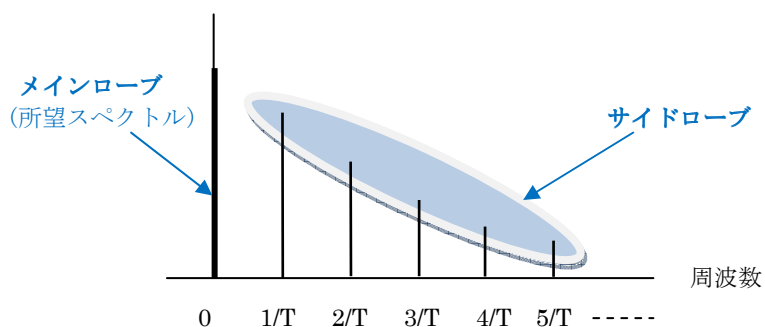


フーリエ変換では、この **T秒間切り取った信号が繰り返される** ものとして演算されます。



すると、上図のように不連続点が出てきます。

この不連続点により、下図のようにスプリアスが発生します → これを**サイドローブ**と言います

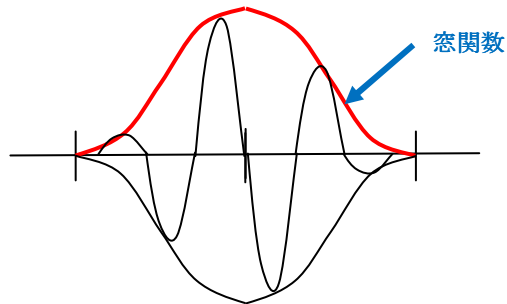


勿論、このサイドローブは邪魔です。

このサイドローブを除去するために窓関数 (Window function) を使います。



不連続点をなくすには切り取った波形の前後で下図のようにゼロになっていればよい訳です。



窓関数は使用目的に応じ、いろいろな種類のものがあります。

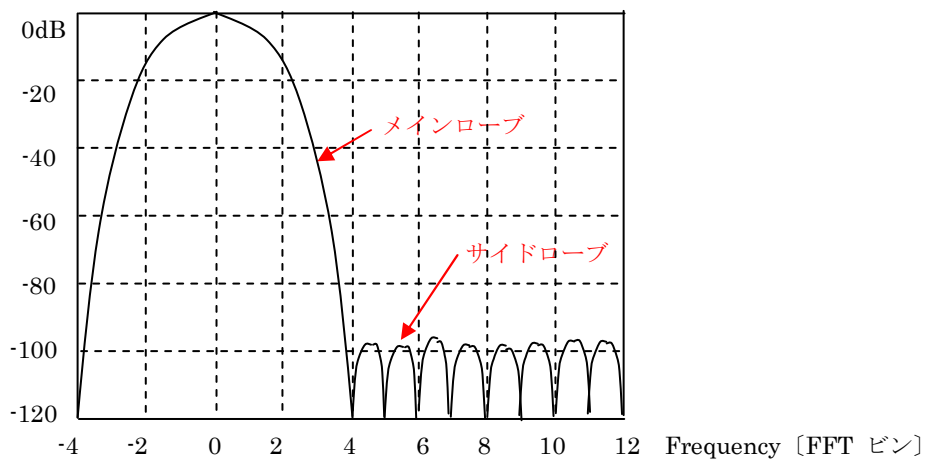
- ・ハニング
- ・ハミング
- ・カイザー・ベッセル

MSA500 では、4項ブラックマン・ハリスを使用しています。



特長

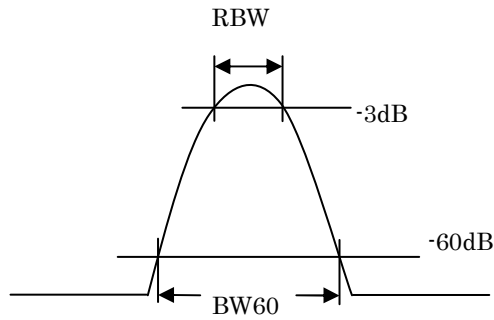
- ・汎用性に優れている
- ・サイドローブ除去が 95dB 程度ある
- ・メインローブの幅も 2 ビン弱と適度である。



## スペクトルの形状

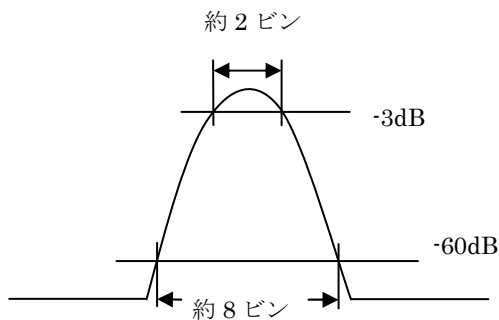
■掃引方式では、スペクトルの形状を下図のように定義します。

- RBW (分解能帯域幅) → 掃引モードでは **300Hz~3MHz** まで設定できます
- シェープファクタ (選択度) → 3dB : 60dB (RBW : BW60)。掃引モードでは RBW に依らず **1 : 4.5**

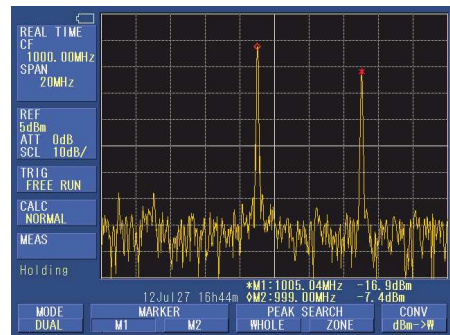


■リアルタイム方式では、RBW 設定は行いません。

前頁の4項ブラックマン・ハリス窓関数のスペクトル図に示したように、どのスパンでもスペクトル形状は同じで下図のようになります。



実波形



ビンとは周波数分解能を表しており、どのスパンでも 602 ビン (1024 ビンの一部) で構成されています。

$$\therefore 3\text{dB 幅} = (2/602) \times (\text{スパン})$$

また、シェープファクタ=1:4 (2 ビン : 8 ビン)

上の画面写真に示したように、画面上ではどのスパンでも同一形状となります

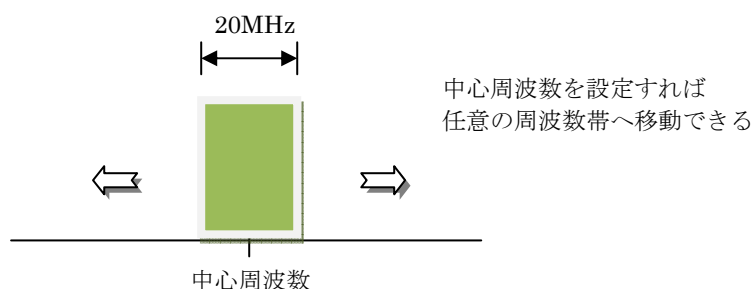
スパン	$\Delta f$ (1 ビン)	3dB 幅 (2 ビン)
20MHz	33.22kHz	66.2kHz
10MHz	16.61kHz	33.2kHz
5MHz	8.31kHz	16.6kHz
2MHz	3.32kHz	6.6kHz
1MHz	1.66kHz	3.3kHz
500kHz	831Hz	1.66kHz
200kHz	332Hz	662Hz
100kHz	166Hz	332Hz
50kHz	83.1Hz	166Hz
20kHz	33.2Hz	66Hz

## リアルタイム方式と掃引方式の特長

リアルタイム方式	掃引方式
<p><b>長所</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>①突発信号やバースト信号あるいはノイズの様な非常信号のスペクトル解析を行うことができます。</li><li>②パワー対時間,周波数対時間,位相対時間,IQ 対時間, Q 対 I のタイムドメイン解析ができます。</li><li>③トリガ機能が充実しているので希に発生するスペクトルでも確実に観測することができます。</li><li>④掃引モードのオーバーライト機能に比べ、スペクトルの抜けの確率が格段に低くなっています。特に 200kHz より狭いスパンでは抜けは生じません。</li><li>⑤スペクトログラム解析により、スペクトルの周波数とパワーの時間的変化を観測することができます。</li><li>⑥I と Q データに分離しているため、位相変調波などの複雑な信号の変調解析を行うことができます。</li><li>⑦全画面±0.5ppm± 1 ドットの高い周波数精度です。</li></ul> <p><b>短所</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>①周波数スパンが最大でも 20MHz と狭いです。</li></ul>	<p><b>長所</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>①周波数スパンが広いので、広い周波数レンジを一挙に観測することができます。</li><li>②トラッキングジェネレータ機能があります。</li><li>③EMI 測定機能があります。</li><li>④従来のスペクトラムアナライザの方式であるため使い慣れており、アプリケーションも豊富です。</li></ul> <p><b>短所</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>①非常信号を観測することが難しく、Max ホールド機能を使用することにより観測することができる場合でも測定に時間がかかります。</li><li>②タイムドメインでの解析は「ゼロスパン」のみです。</li><li>③変調解析ができません。</li><li>④画面上の周波数精度はリアルタイムモードに比べ劣ります。</li></ul>

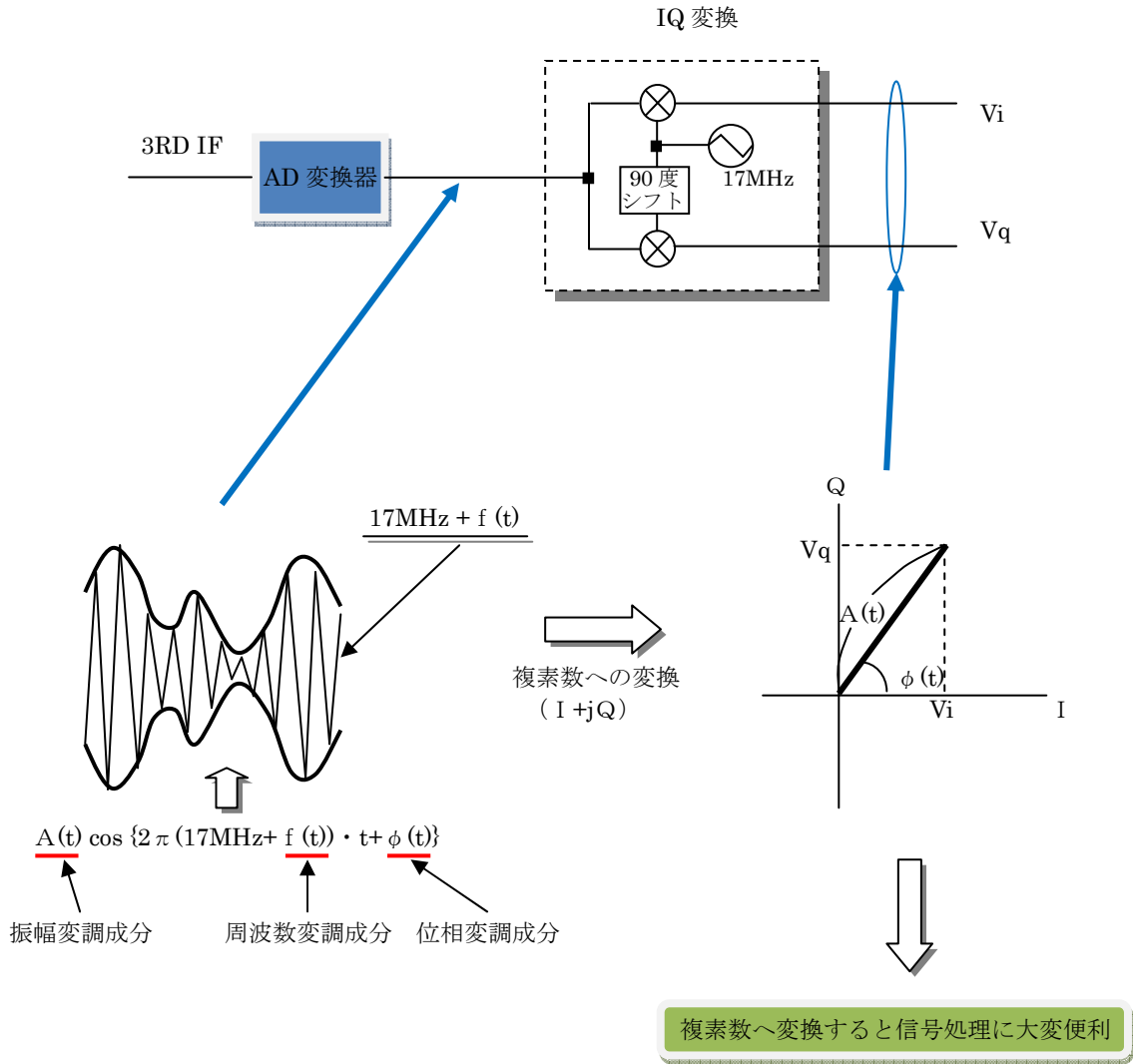
### 最大スパン 20MHz

掃引方式の最大スパンは 3.3GHz@MSA538/538TG/538E、8.5GHz@MSA558/558E と非常に広いですが、リアルタイム方式での最大スパンは 20MHz です。これは 3RD IF 周波数と AD 変換器のサンプリングレートで決まります。但し、無線通信系、特に変調解析ではほとんどのシステムで許容帯域幅が 20MHz 以下ですので問題ないと思います。



# I, Qとは何ですか

次頁の全体ブロック図を参照して下さい。下図は、その中の 3RD IF から IQ 変換までを示しています。



## 利点

- ① 信号処理で掛け算をしますが、その時イメージが発生しません。
  - 実数での掛け算 ( $f_A \times f_B$ ) → 結果:  $f_A + f_B$  と  $f_A - f_B$  (イメージ)
  - 複素数での掛け算 ( $f_A \times f_B$ ) → 結果:  $f_A + f_B$
- ② 次頁で述べるように簡単な計算で時間解析ができます。
  - 《パワー対時間》、《周波数対時間》、《位相対時間》、《I,Q 対時間》、《Q 対 I》
- ③ 入力信号が変調波であれば、I と Q データから EVM やコンスタレーションを求められる。

## 豆知識

I → In-phase (同相)      Q → Quadrature (直交位相)

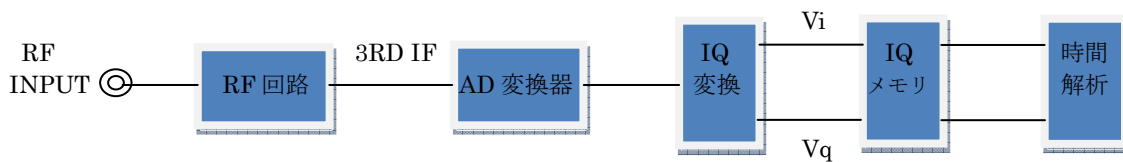


# リアルタイム方式はこんな事も得意

## ① 時間解析

リアルタイムモードでは、アナログ信号である 3RD IF が AD 変換器でデジタル化され、その後 I、Q 分離されていますのでいろいろな時間解析ができます。

$$\text{サンプリング周波数 } f_s = 34\text{MHz} \times (\text{指定スパン}/20\text{MHz})$$

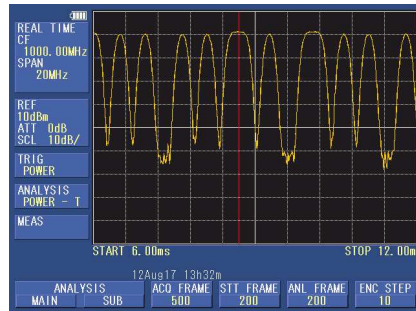


### ① パワー対時間解析

$$\text{パワー} = (V_i^2 + V_q^2) / 50$$

バースト的に現れ、デジタル的に変調された ASK 変調波などを測定できます。

ETC の ASK 変調波 ⇒



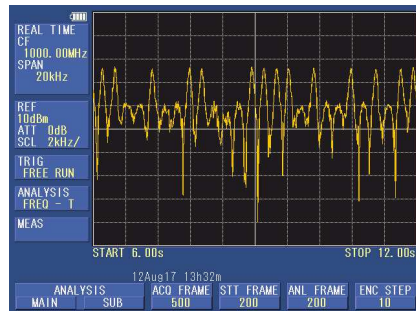
### ③ 周波数対時間

$$\text{周波数} = (\phi_n - \phi_{n-1}) / 360T_s$$

FM 変調された信号を観測できます。

- $\phi_n$  : 現時点での位相
- $\phi_{n-1}$  : 1つ前のサンプルの位相
- $T_s$  : サンプリングレート ( $1/f_s$ )

FM 変調波 ⇒

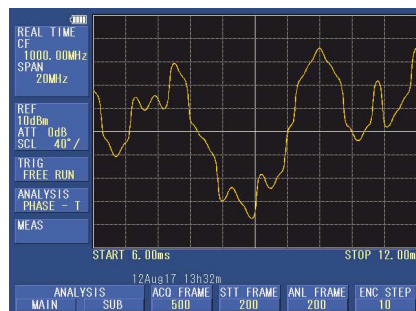


### ② 位相対時間

$$\text{位相} = \tan^{-1}(V_q/V_i)$$

QPSK 変調波の位相が、時間的にどのように変化しているか観測できます。

QPSK 位相波形 ⇒

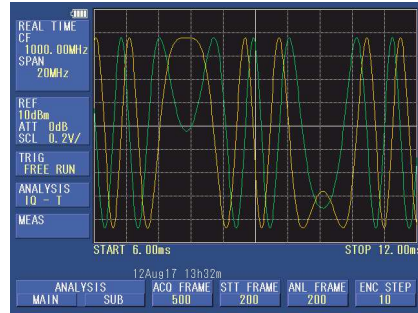


④ I,Q 対時間

縦軸：Vi 及び Vq、横軸：時間

QPSK など位相変調の I と Q の時間波形を直接観測できます。Vi と Vq の 2 波形表示です。

QPSK の I,Q 波形 ⇨

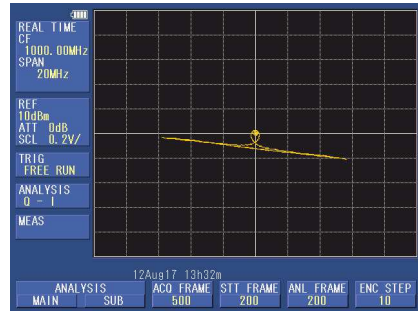


⑤ Q 対 I

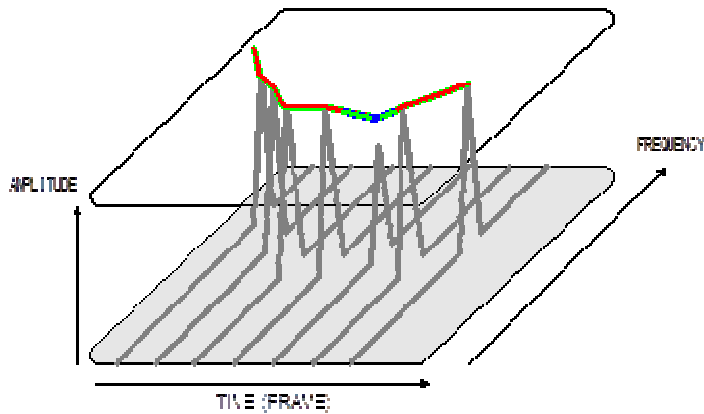
縦軸：Vq、横軸：Vi

デジタル位相変調の初期位相補正なし、かつ周波数補正なしの生のコンスタレーション波形を観測できます。

BPSK のコンスタレーション ⇨



② スペクトログラム解析

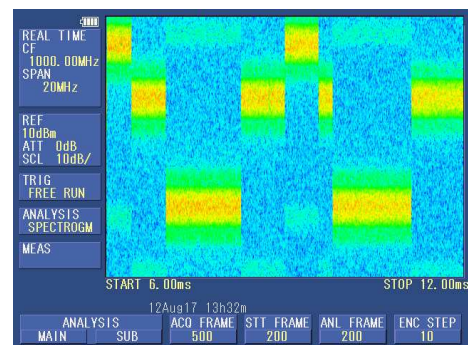


スペクトログラムは、周波数の時間的変化を X-Y 軸で、パワーの時間的変化を X-Z 軸で観測することができます。Z 軸の大きさは色で表示されます。

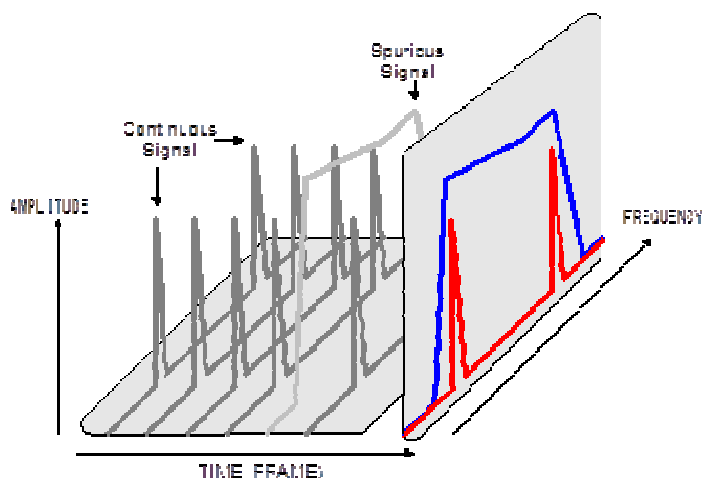
掃引方式は、元來定常信号を扱う方式ですから「スペクトルの時間的変化」という概念がありません。従って、スペクトログラム解析はできませんでした。

応用 ZigBee の周波数ホッピング波形の観測

ホッピングした周波数の安定までの時間とパワーの安定までの時間を観測することができます。



### 3 オーバーライト解析



オーバーライトは、1フレーム毎のスペクトル波形を重ね書きして表示する機能です。

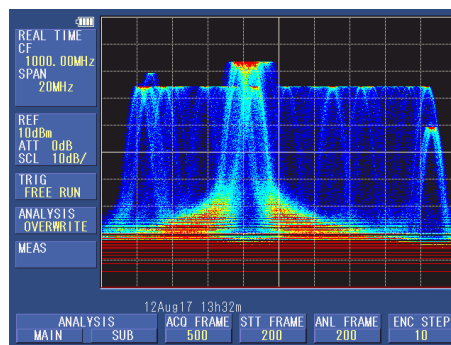
毎秒720画面の速度でスペクトル波形を連続的に蓄積することができます。発生頻度は色で表示されます。

#### 《掃引方式のオーバーライトとの違い》

掃引方式では蓄積速度が非常に遅い。例えば掃引速度 100ms の時の蓄積速度は毎秒5画面。

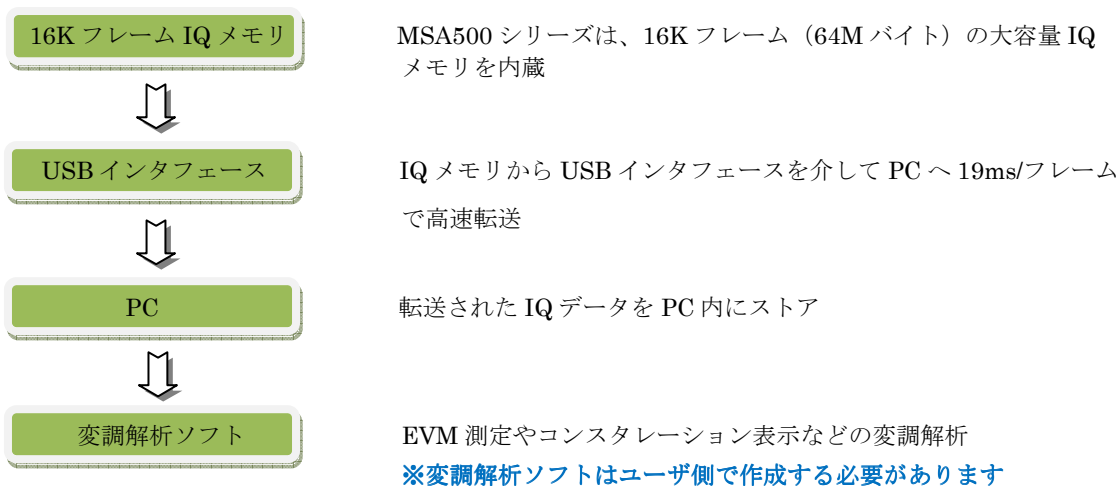
#### 応用 希に出る不要スペクトルの観測

通信系を乱す不要スペクトル（スプリアス）が希に現れることがあります。リアルタイムモードでもスパンが広い場合は抜けが生じますが、蓄積時間を長く設定することにより、スプリアスを捉える確率が上がります。



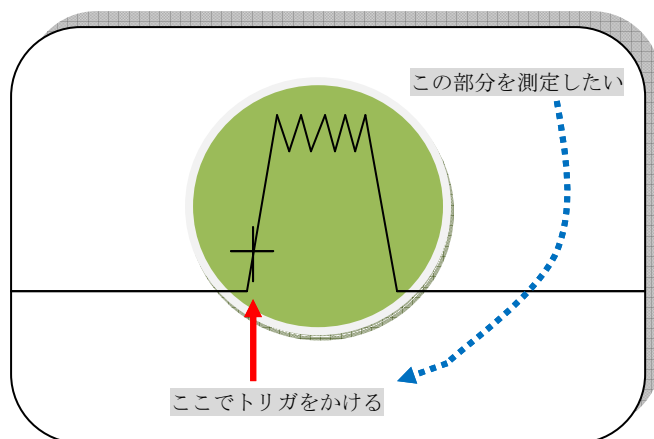
### 4 変調解析

MSA500 シリーズは、I、Q 分離されたデータを使って変調解析を行うことができます。

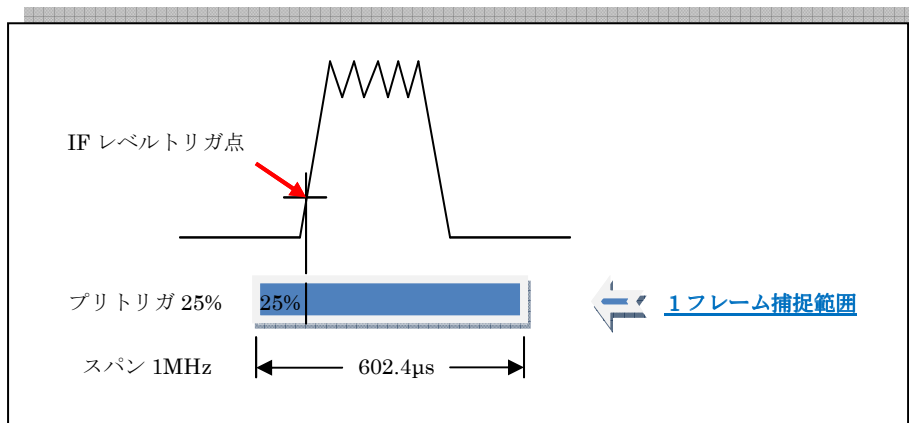


## トリガという概念

掃引方式では、基本的にトリガという概念がありません。定常信号を扱うことが根底にあるからです。しかし、リアルタイム方式では時間軸で捉えた信号に対して FFT 処理を行っています。つまり、捉えたい所でトリガをかけることができます。バースト的に発生する変調波などの非定常信号の測定には最適です。

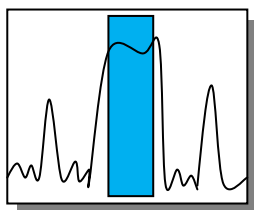


波形の捕捉範囲はトリガ、プリトリガ、スパンで決まる。



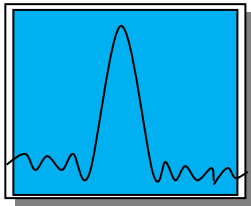
### 1 トリガ

#### ① チャンネルパワートリガ



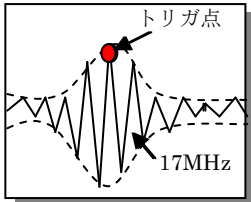
スパン内を 5 チャンネルに分割 (CH1~CH5) し、その中の指定されたチャンネルの全パワーの瞬時値がトリガ設定値を横切る時、トリガが発生します。立上り/立下りのスロープ設定もできます。バースト信号を捉える時に便利です。

② パワートリガ



表示画面内の全パワーの瞬時値がトリガ設定値を横切る時、トリガが発生します。立上り/立下りのスロープ設定もできます。

③ IF レベルトリガ



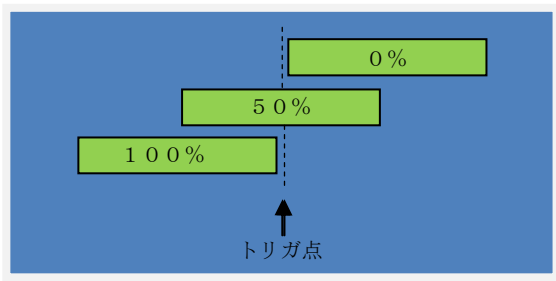
IF 信号（17MHz で変調されている）のレベルがトリガ設定値を横切る時、トリガが発生します。立上り/立下りのスロープ設定はできません。

④ 外部トリガ

EXT TRIG コネクタに入力された外部信号でトリガが発生します。入力電圧範囲は 1~10Vp-p、周波数範囲は DC~5MHz です。立上り/立下りのスロープ設定もできます。

② プリトリガ

プリトリガの設定により、トリガ点以前の信号を解析することができます。プリトリガが 0%のときはトリガ点以後の信号、50%のときはトリガ点以前が半分、以後が半分の信号、100%のときはすべてトリガ点以前の信号が解析されます。25%ステップで 5 ポジションを設定することができます。



③ スパン

フレーム時間は、スパンで決まります。

スパン	サンプリングレート	フレーム時間
20MHz	34MHz	30.12μs
10MHz	17MHz	60.24μs
5MHz	8.5MHz	120.5μs
2MHz	3.4MHz	301.2μs
1MHz	1.7MHz	602.4μs
500kHz	850kHz	1.205ms
200kHz	340kHz	3.012ms
100kHz	170kHz	6.024ms
50kHz	85kHz	12.05ms
20kHz	34kHz	30.12ms

**MICRONIX**

取扱店

**マイクロニクス株式会社**

〒193-0934 東京都八王子市小比企町 2987-2

TEL.042(637)3667 FAX.042(637)0227

URL : <http://www.micronix-jp.com> E-mail : [micronix\\_j@micronix-jp.com](mailto:micronix_j@micronix-jp.com)