

スペクトラム・アナライザの基礎



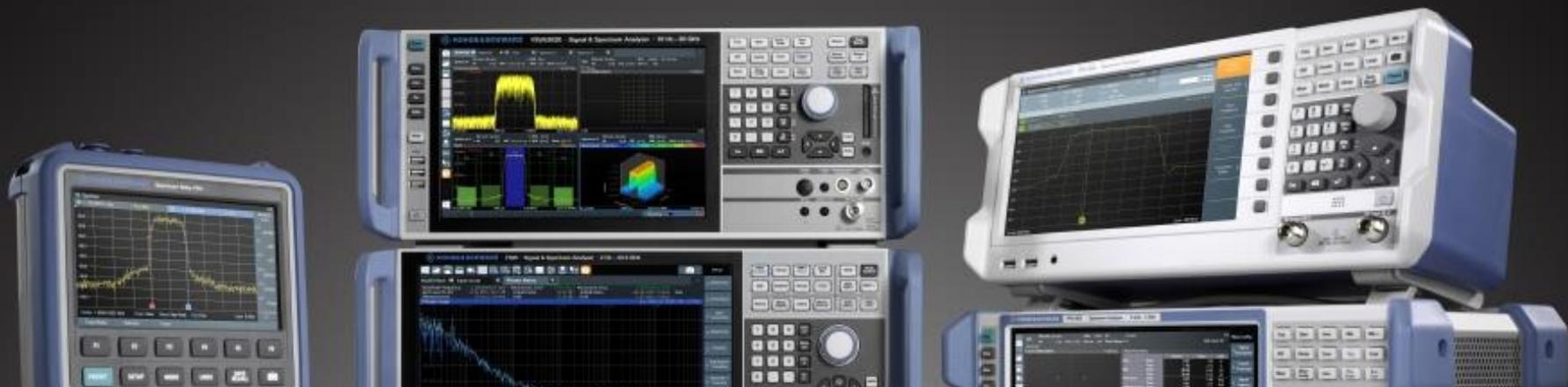
ROHDE & SCHWARZ

Make ideas real



本日のアジェンダ

- ▶ スペクトラム・アナライザの概要
- ▶ デシベルとは
- ▶ スペクトラム・アナライザの構造
- ▶ まとめ
- ▶ ローデ・シュワルツのスペクトラム・アナライザ



スペクトラム・アナライザの概要

スペクトラム・アナライザって何？

▶ 携帯電話、WiFi、Bluetoothなど、電波を使用している製品開発には必ず使用されています

電波を見る測定器

それがスペクトラム・アナライザです！



なぜスペクトラム・アナライザが必要なの？

- ▶ 無線機器から出してはいけない電波の確認！
 - 例：電波法で規制されている違法電波の出力防止
- ▶ 無線機器から規格に通りの信号が出力されているかの確認！
 - 例：発信周波数、変調方式など無線機器間での通信トラブル防止



無線の規格例：

▶ 各国やエリアによって規制があります：

- 欧州電気通信標準化機構：ETSI
- 連邦通信委員会（米国）：FCC
- 総務省（日本）



▶ 無線の規格例：

- 無線LANの周波数と利用可能場所

周波数帯	2.4GHz帯 (2400-2497MHz)	5.2GHz帯 (5150-5250MHz)	5.3GHz帯 (5250-5350MHz)	5.6GHz帯 (5470-5730MHz)
屋外利用	○	○条件付き	X	○（上空を除く）

総務省ホームページ情報を元に作成

どうやって電波を見るの？

- ▶ スペクトラム・アナライザで電波を見る方法は2種類あります！
 - 1つ目は、スペクトラム・アナライザに接続したアンテナで見る方法
 - この場合、電波が外に漏れないように電波暗箱や暗室を使用する必要があります



どうやって電波を見るの？

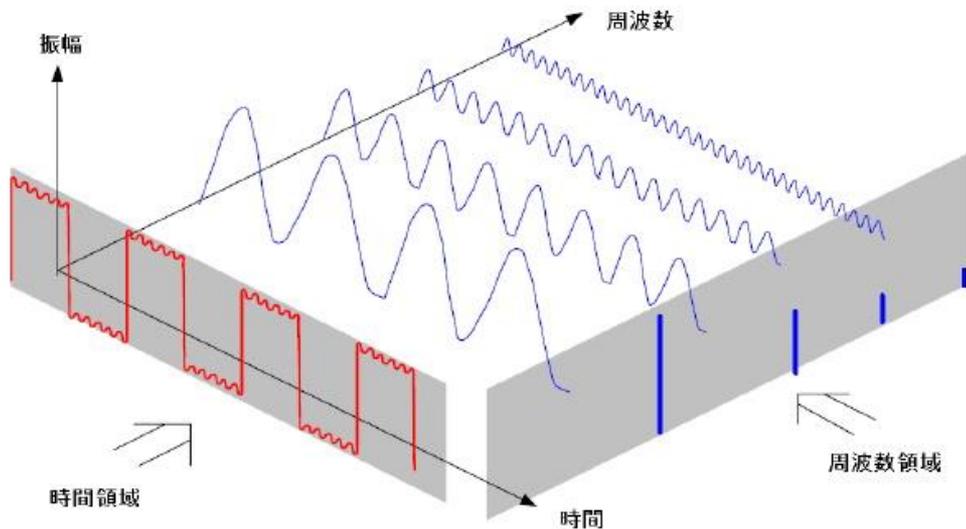
- ▶ スペクトラム・アナライザで電波を見る方法は2種類あります！
 - 2つ目は、スペクトラム・アナライザと送信機を同軸ケーブル接続して見る方法
※同軸ケーブルとは、電気通信に使われる被覆電線の一種です



電波はどのように見えるの？

- ▶ スペクトラム・アナライザで電波を見ると、横軸が周波数、縦軸が電波の振幅として見えます
 - 下の図で示されている周波数領域がスペクトラム・アナライザの表示となります
 - 参考までに時間領域はオシロスコープの表示です

オシロスコープ



スペクトラム・アナライザ

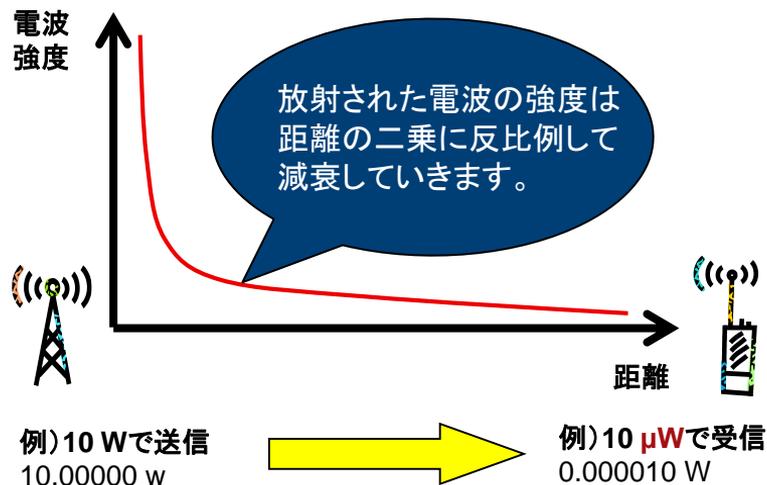
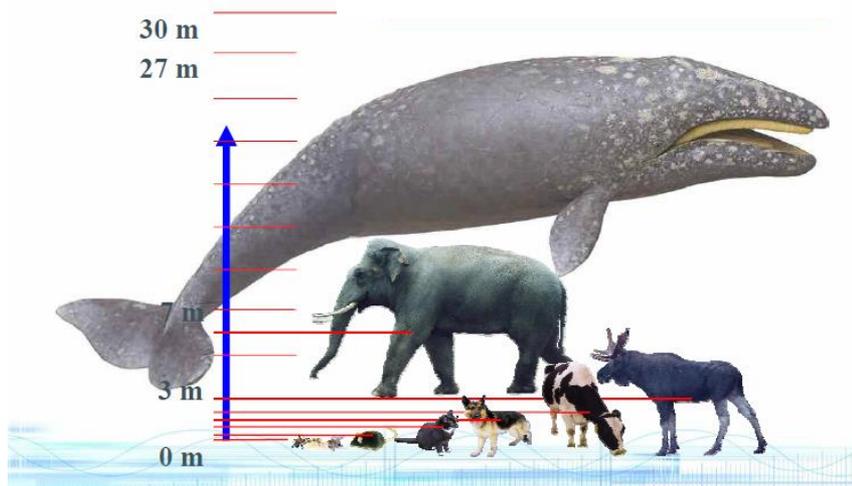




デシベルとは？

デシベルとは？

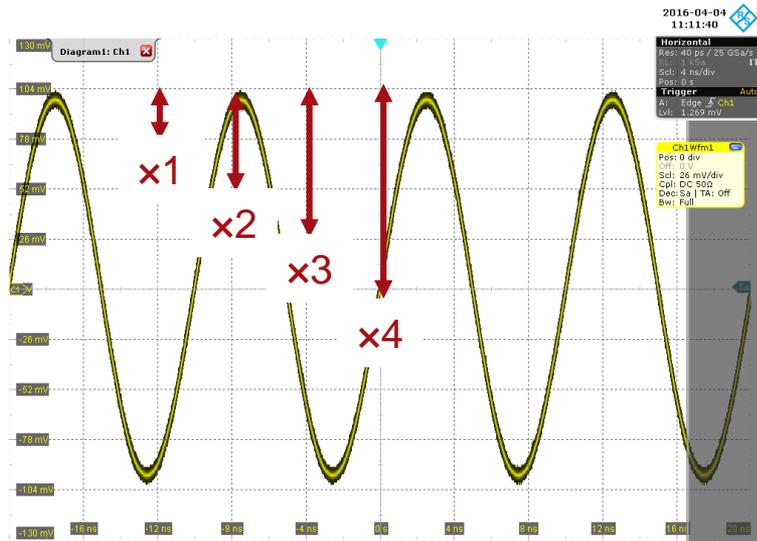
- ▶ アリとクジラの比較を同じグラフで扱うには？ ▶ 電波などの信号についても同様です！
 - 常用対数表示 (ログスケール) が便利です！



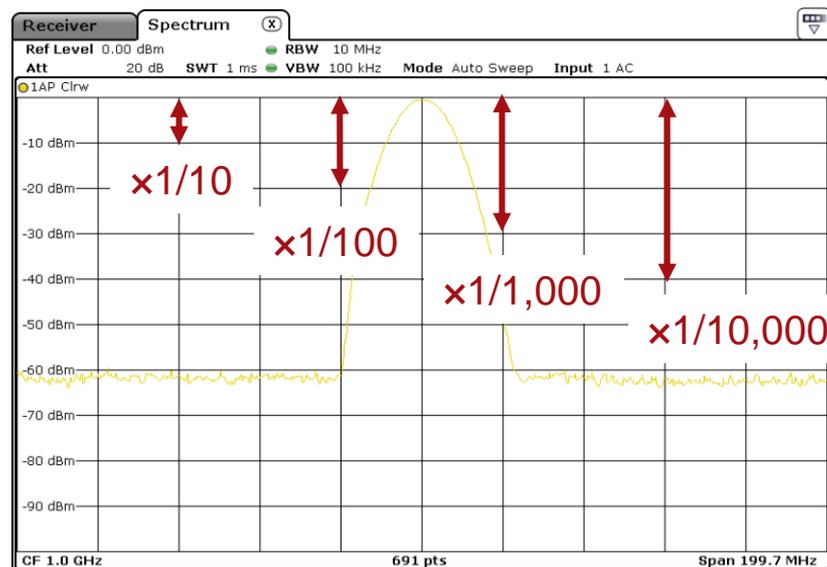
6桁 も違う信号強度 (まさに桁違い) を同時に扱う必要があります

デシベルとは？

- ▶ オシロスコープの縦軸はリニアで信号を表示しています



- ▶ スペクトラム・アナライザの縦軸は対数 (ログ) で信号を表示しています

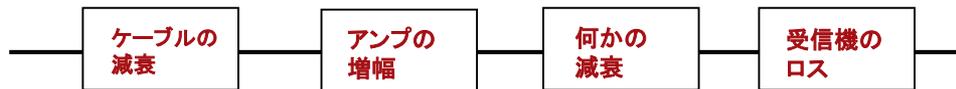


デシベルとは？

▶ 大きな桁の変化を足し算引き算で表現できます

リニアだと...

$$0.5 \times 100 \times 0.1 \times 0.5 = 2.5$$



デシベル
(ログ)だと...

$$-3.0 \text{ dB} + 20 \text{ dB} + -10 \text{ dB} + -3.0 \text{ dB} = +4.0 \text{ dB}$$

相互に変換できます：54 dB がリニアの場合は？

$$54 \text{ dB} = 20 \text{ dB} + 20 \text{ dB} + 20 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - 3 \text{ dB}$$

↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓

$$100 \times 100 \times 100 \div 2 \div 2 = 250,000 \text{ 倍}$$

デシベルとは？

▶ デシベルの種類

– dB

– 電力及び電圧の比を対数で表す**相対値**

$$\begin{aligned} \text{dB} &= 10\log_{10}(P_2/P_1) \\ &= 20\log_{10}(V_2/V_1) \end{aligned}$$

– dBm

– 1 mWを基準とした**絶対**電力値 (0 dBm = 1 mW)

$$\text{dBm} = 10\log_{10}(P_2/1 \text{ mW})$$

– dBV

– 1 Vrmsを基準とした**絶対**電圧値 (0 dBV = 1 Vrms)

$$\text{dB}\mu\text{V} = 20\log_{10}(P_2/1 \text{ Vrms})$$

– dBc

– キャリア信号レベルを基準にしたときの**相対値**

$$\text{dBc} = 10\log_{10}(P_2/\text{キャリア信号レベル})$$

ここでワンポイント！

- ▶ 電力のゲイン係数が10で電圧のゲイン係数が20なのはなぜ？

$$P = VI = I^2R = \frac{V^2}{R} \quad P: \text{電力}, V: \text{電圧}, I: \text{電流}, R: \text{抵抗}$$

- ▶ この式より：

- 電圧Vが2倍になると電力Pは4倍となります

- ▶ これを、ゲインの係数を**共通の10**として計算すると

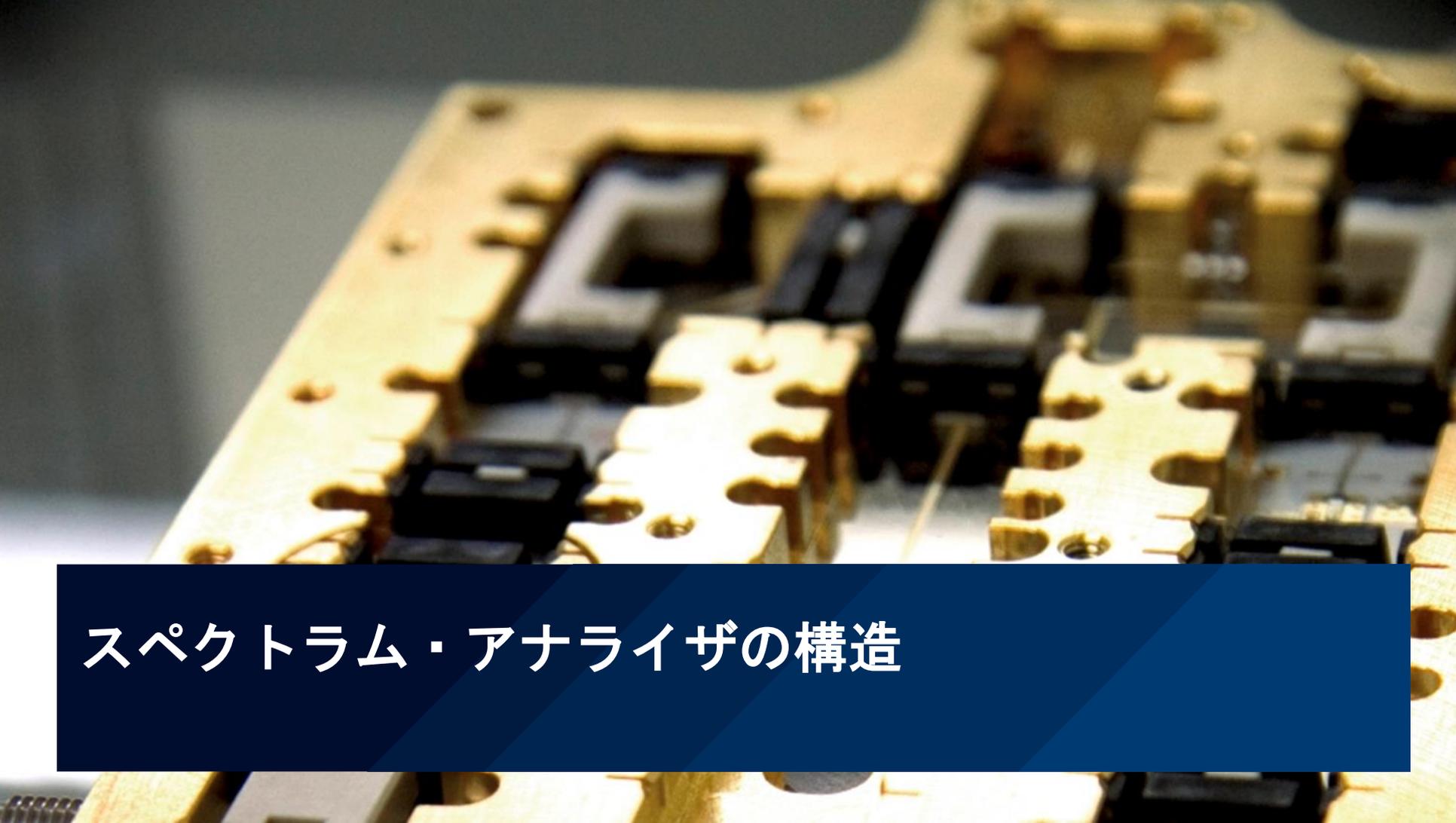
- 電圧Vが2倍(**3 dB**)になると電力Pは4倍(**6 dB**)となり、わかりづらいです

- ▶ そこで、**電圧のゲイン係数を20、電力のゲイン係数を10**とすると

- 電圧Vが2倍(**6 dB**)になると電力Pは4倍(**6 dB**)と**同じデシベル値**となります

$$\begin{aligned} \text{dB} &= 10\log_{10}(P_2/P_1) \\ &= 10\log_{10}(V_2/V_1) \end{aligned}$$

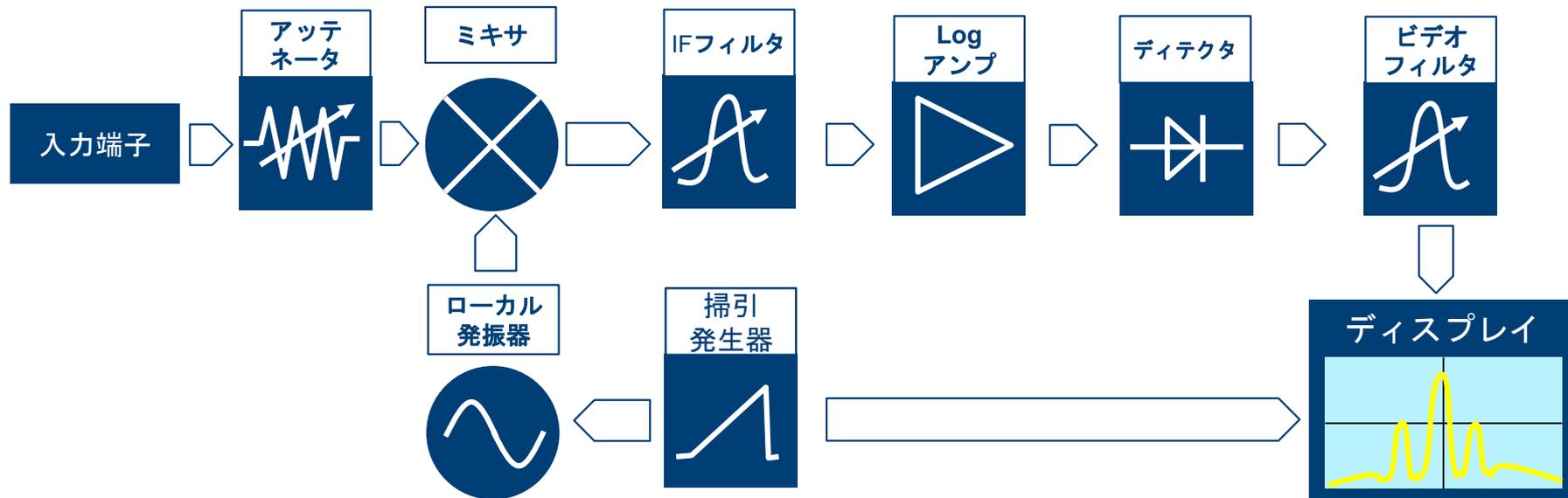
$$\begin{aligned} \text{dB} &= 10\log_{10}(P_2/P_1) \\ &= 20\log_{10}(V_2/V_1) \end{aligned}$$



スペクトラム・アナライザの構造

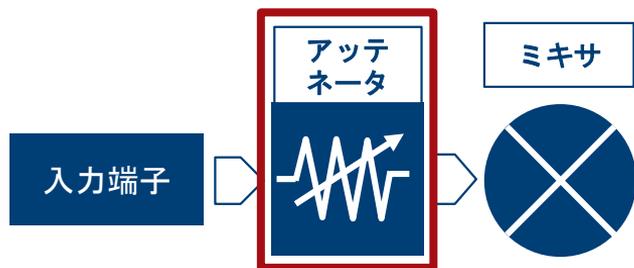
スペクトラム・アナライザの構造とは？

▶ スペクトラム・アナライザのブロック図



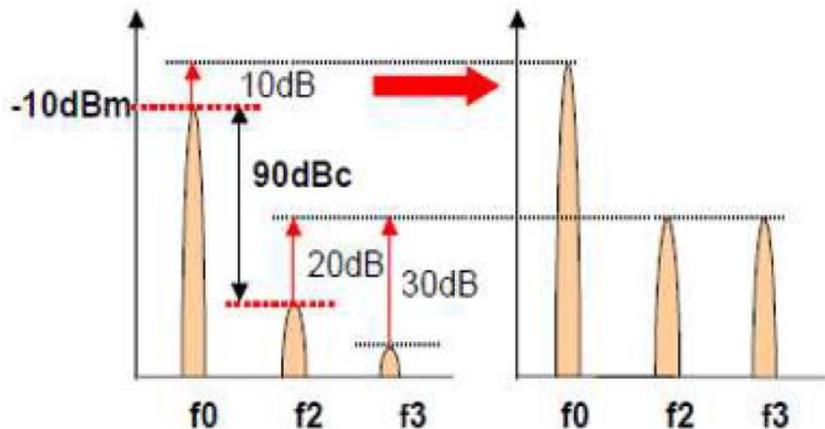
スペクトラム・アナライザの構造とは？

- ▶ ミキサの前段にあるアッテネータの役割を理解することは非常に重要です



- ▶ 高いレベルの信号がミキサに入力されるとミキサに歪みが生じます
 - アッテネータを調整して信号レベルをミキサの適正レベルにする必要があります
 - **適正レベルを超える信号が入力されると、ミキサを破損する恐れがあります**

- ▶ ミキサ歪が生じると高調波が発生します
 - 基本波が10 dB大きくなると、2次高調波歪みは20 dB、3次高調波歪みは30 dB増加します



ここでワンポイント！

- ▶ ミキサ歪みの例を示します：
 - 0 dBmの入力信号に対して5 dBから20 dBまで、5 dBステップでアッテネータを切り替えた場合のミキサ歪みを観測しました

- ▶ ミキサ歪みは、アッテネータを調整することで確認できます
 - 増やしたときにミキサが歪んでいれば、入力信号の測定結果が変化します
 - 測定結果が変化しなければ、ミキサ歪みによるものではなく、測定信号の歪みとなります

- ▶ アッテネータを5 dBにした場合、スペアナの画面にIF Overloadが表示され高周波歪みが発生し、測定値も-3.95 dBmと誤差が生じます



ここでワンポイント！

- ▶ ミキサ歪みの例を示します：
 - 0 dBmの入力信号に対して5 dBから20 dBまで、5 dBステップでアッテネータを切り替えた場合のミキサ歪みを観測しました

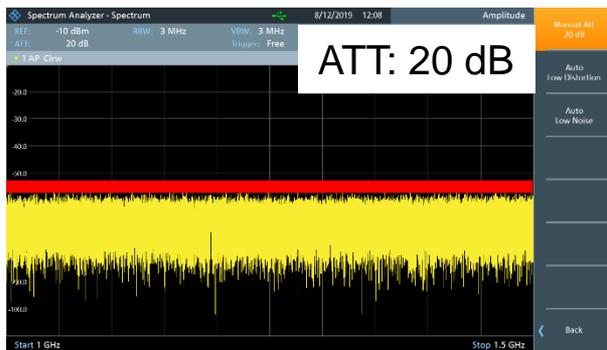
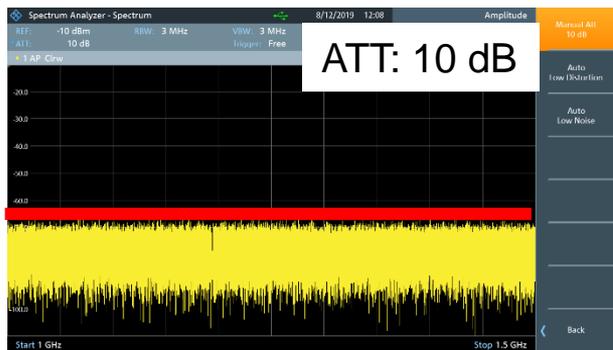
- ▶ ミキサ歪みは、アッテネータを調整することで確認できます
 - 増やしたときにミキサが歪んでいれば、入力信号の測定結果が変化します
 - 測定結果が変化しなければ、ミキサ歪みによるものではなく、測定信号の歪みとなります

- ▶ そこからアッテネータを5 dBステップで増やすとIF Overloadが消えて高周波歪みが減少し、20 dBになると測定値が-0.18 dBm付近で安定します



ここでワンポイント！

- ▶ 但し、アッテネータを増やしすぎるとS/N比が悪化するためノイズフロアが上昇するためミキサに適切なレベルの信号が入力するように調整する必要があります
 - アッテネータを10 dBから30 dBまで、10 dB増える毎にノイズフロアの上昇が観測できます



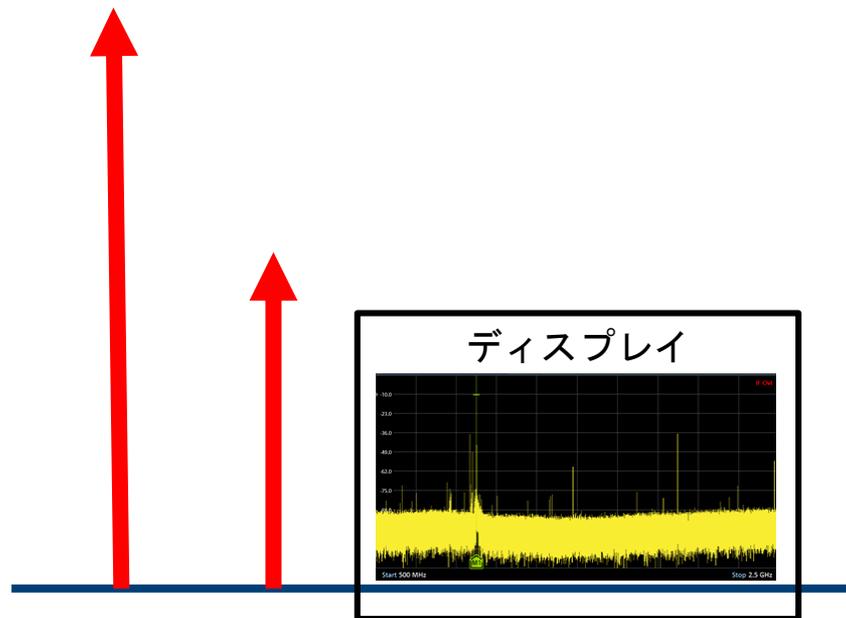
さらにワンポイント！

▶ 測定時の注意点！

- スペアナに入力される信号の全てのエネルギーはアッテネータを通過してミキサに入力されます
- 測定画面から外れていても、エネルギーはミキサに入力されます
- 微小な信号測定のためノイズフロアを下げようとアッテネータを小さくするとミキサが歪み、破損する場合があります

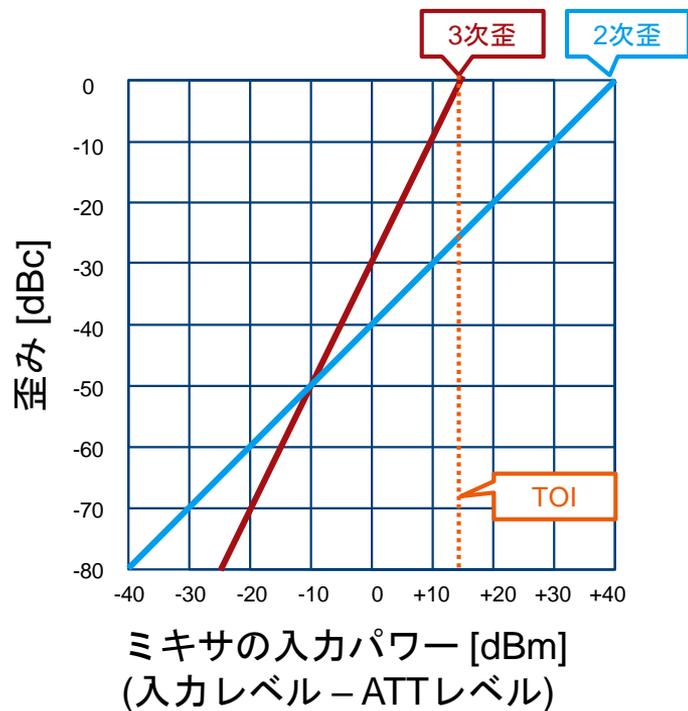
▶ 信号入力前にアッテネータを最大に設定！

- その後に信号を入力して全帯域を観測し、レベルの高い信号がないかを事前に確認することが重要です！



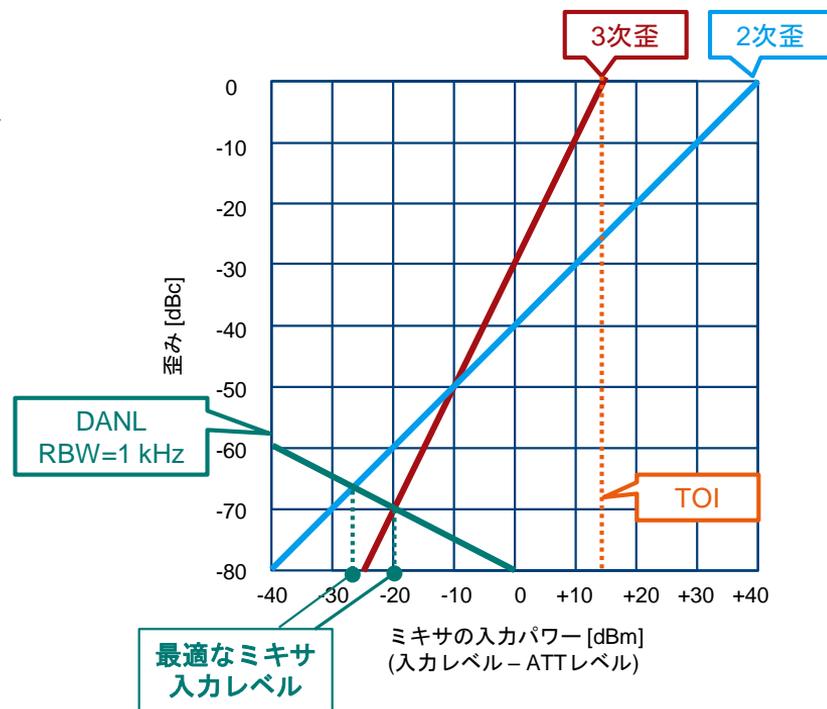
ダイナミックレンジの考え方

- ▶ ミキサ歪みによる2次および3次高調波歪をグラフにプロットすると右図のような関係になります
 - 2次高調波歪の傾きは1となります
 - 3次高調波歪の傾きは2となります
 - TOI (Third Order Intercept point : 3次相互変調歪み) は、3次高調波歪みが基本波パワーに等しくなる(0 dBm)ときの仮想ミキサレベルとなります



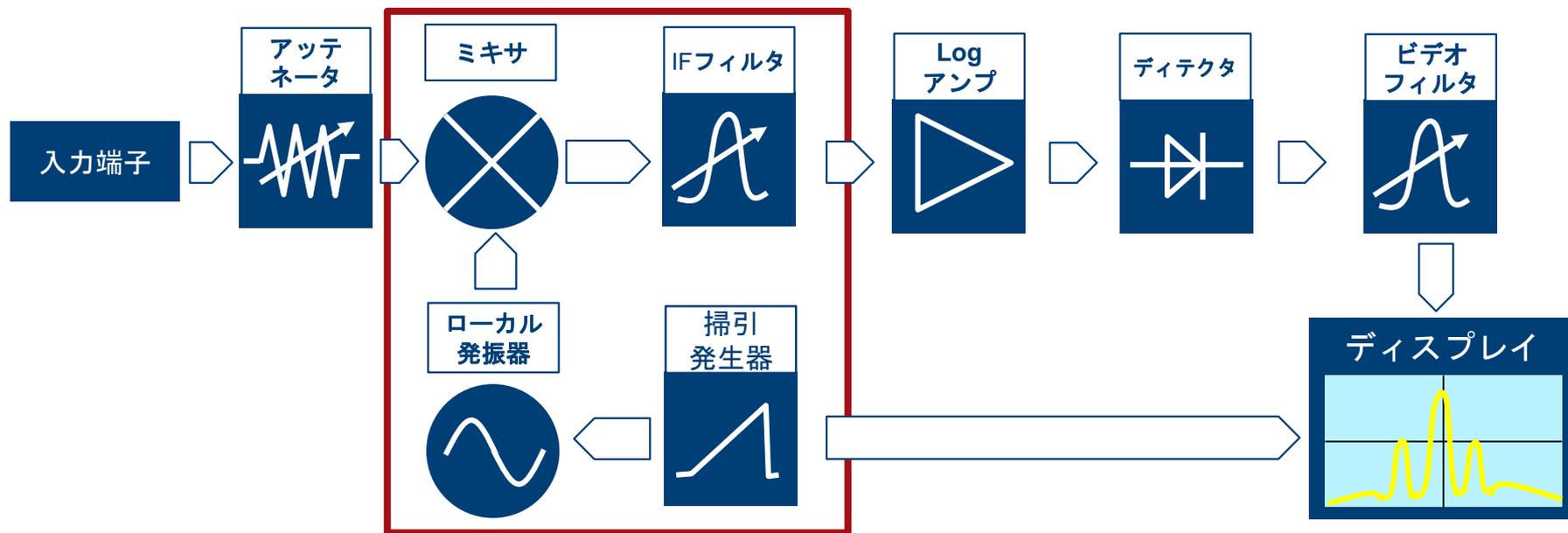
ダイナミックレンジの考え方 - 続き

- ▶ ミキサ歪みによる2次および3次高調波歪をプロットしたグラフに、S/N比のグラフを追記します
 - 例：RBW = 1 kHzにおける表示平均ノイズレベル (DANL: Displayed Average Noise Level) をプロットします
 - 2次および3次歪のグラフと交差するポイントが、それぞれの最適なミキサ入力レベルで、それぞれ2次/3次の最大ダイナミックレンジを示します
 - このケースではミキサの入力パワーを-30 dBm近くに設定することで、最大ダイナミックレンジを得ることができます



スペクトラム・アナライザの構造とは？

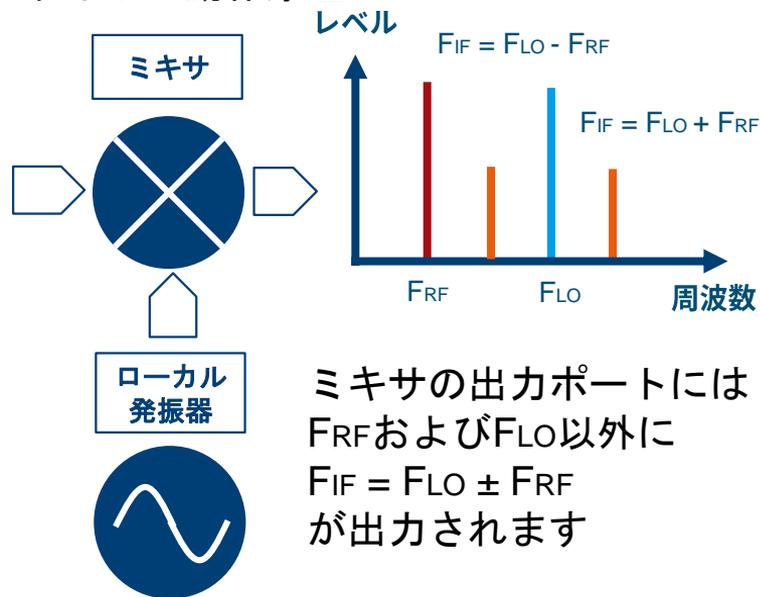
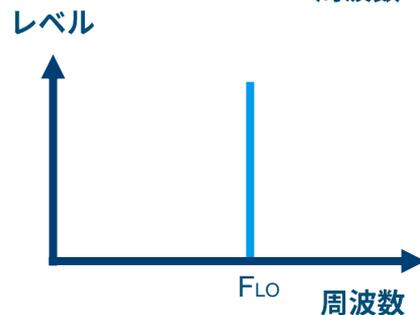
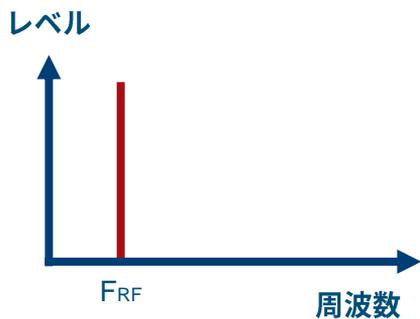
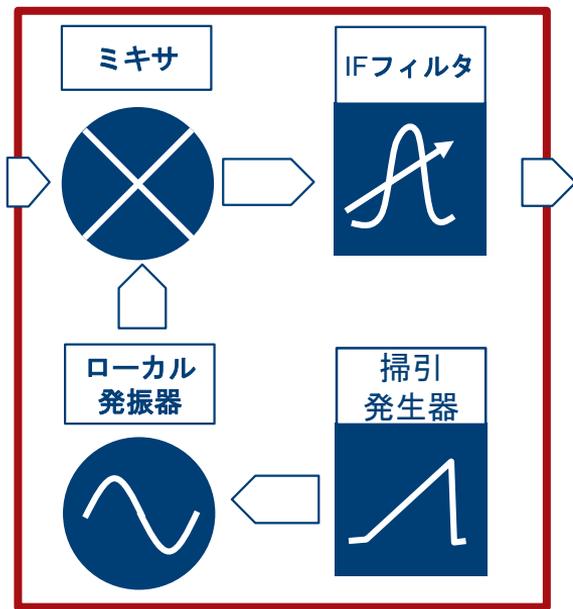
▶ スーパーヘテロダイン方式によるスペクトラム・アナライザの動作原理を説明します



スペクトラム・アナライザの構造とは？

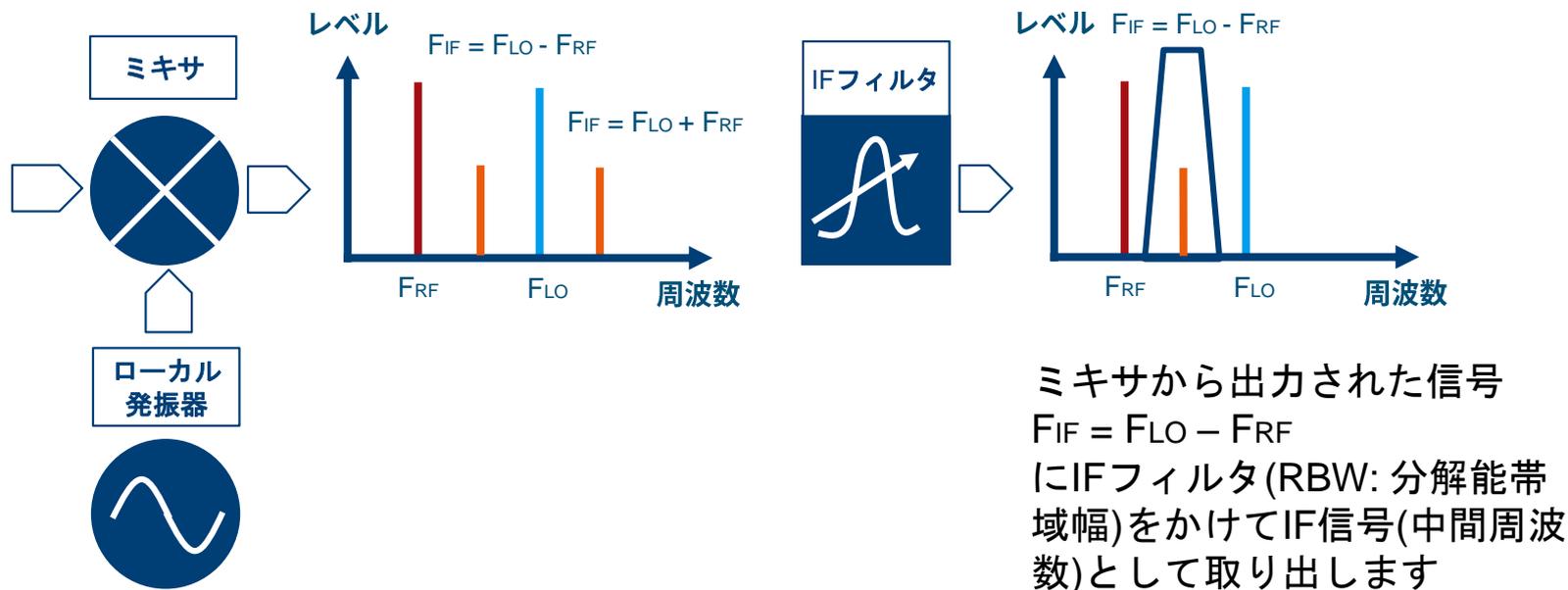
▶ スペクトラム・アナライザのブロック図

– スーパーヘテロダイン方式によるスペクトラム・アナライザの動作原理



ミキサの出力ポートには
 F_{RF} および F_{LO} 以外に
 $F_{IF} = F_{LO} \pm F_{RF}$
が出力されます

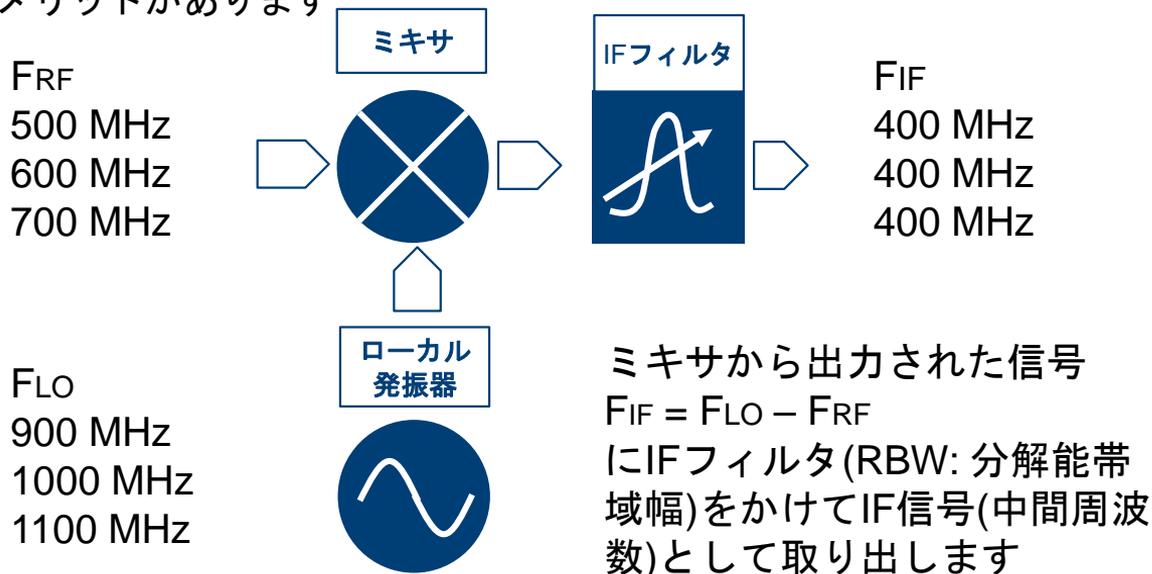
スペクトラム・アナライザの構造とは？



ミキサから出力された信号
 $F_{IF} = F_{LO} - F_{RF}$
にIFフィルタ(RBW: 分解能帯
域幅)をかけてIF信号(中間周波
数)として取り出します

スペクトラム・アナライザの構造とは？

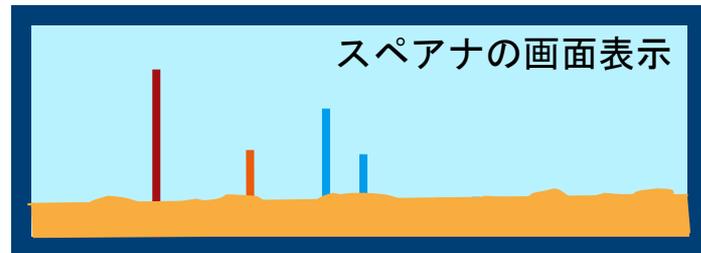
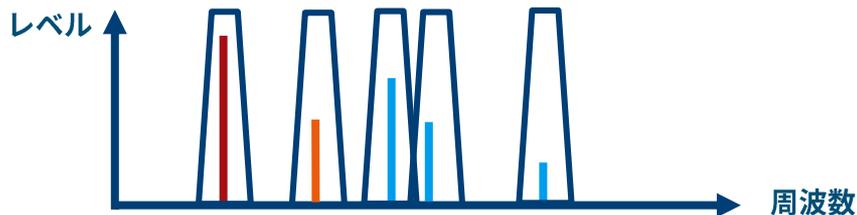
- ▶ スーパーヘテロダイン方式では、入力周波数(FRF)が固定のIF周波数(FIF)として処理されます
- ▶ IF周波数にすることでフィルタや信号処理用ADCに高性能な製品が使用できるため、ダイナミックレンジを拡大できるなどのメリットがあります



ここでワンポイント！

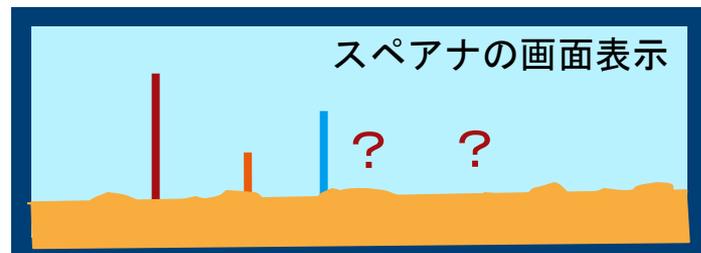
▶ 分解能帯域幅（RBW）の設定について

- RBWの帯域幅を狭く設定した場合
- 掃引時間が長くなる反面、周波数選択度が高まり、ノイズフロアも改善します



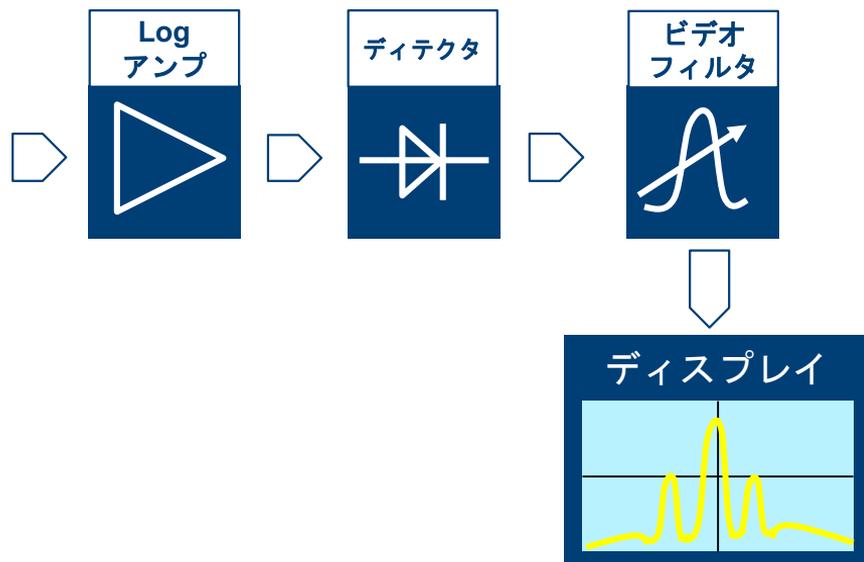
- RBWの帯域幅を広く設定した場合

- 掃引時間が短くなる反面、周波数選択度が低下し、ノイズフロアが悪化します



スペクトラム・アナライザの構造とは？

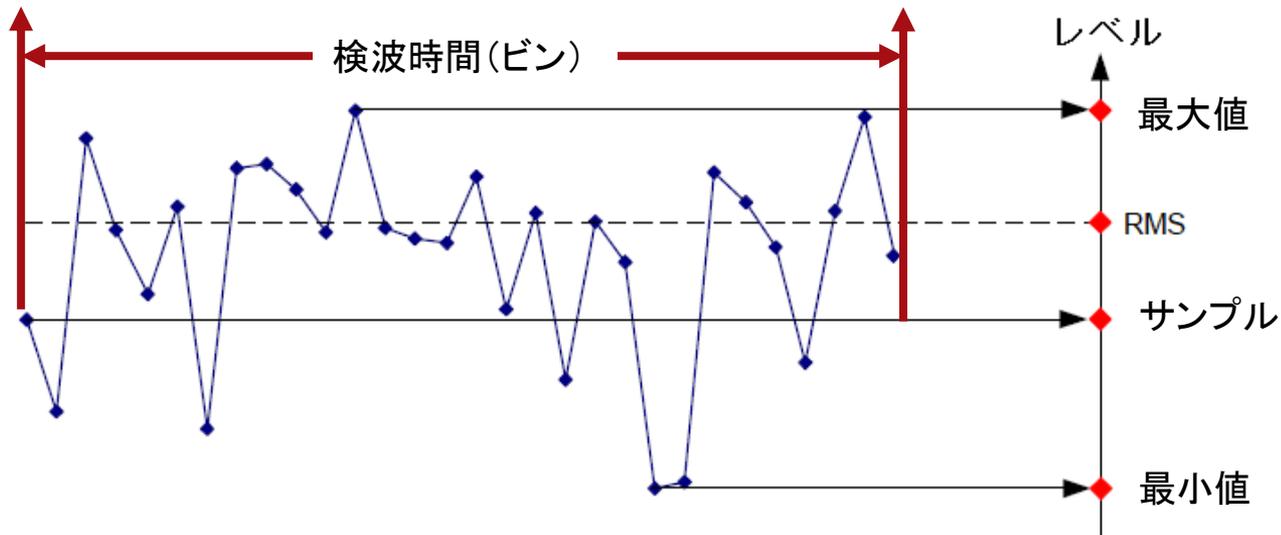
- ▶ IFフィルタ(RBW)で選択された信号は、Logアンプで増幅された後に、ディテクタ(包絡線検波器)で検波され、ビデオフィルタを通じてディスプレイに波形が表示されます



スペクトラム・アナライザの構造とは？

▶ ディテクタ（検波器）の役割について

- スペクトラム・アナライザの掃引時間を検波時間(ビン)に分けて、各ビン内の最大値、最小値、RMS、あるいはサンプルの各値を検出して画面に表示します

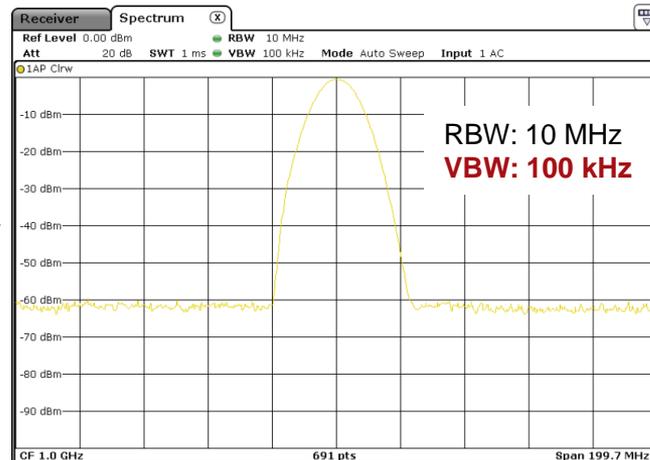
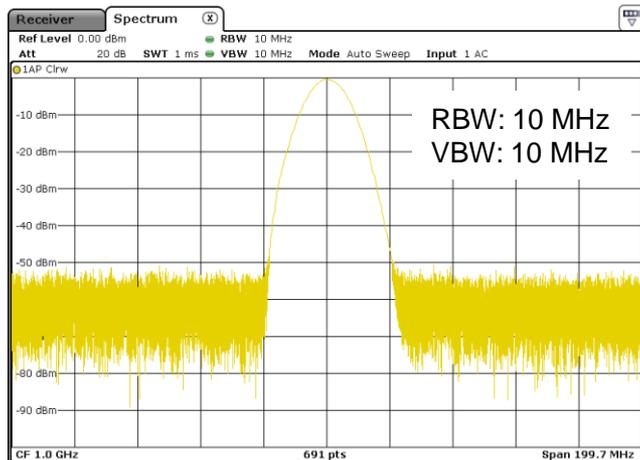


検波モードの種類

- ▶ Auto Peak
 - サンプルしたデータから最大値と最小値を表示します
- ▶ Positive Peak (最大値)
 - サンプルしたデータから最大値を表示し、EMC (ノイズ測定) やスプリアス測定に適します
- ▶ Negative Peak (最小値)
 - サンプルしたデータから最小値を表示し、表示雑音を大きく抑えることができます
- ▶ Sample (サンプル)
 - サンプルした各ビンのランダム値が表示され、ランダムなノイズレベル測定に適します
- ▶ RMS
 - サンプルした各ビンのデータから実効値を計算し、周波数スパン内のパワーを表示します

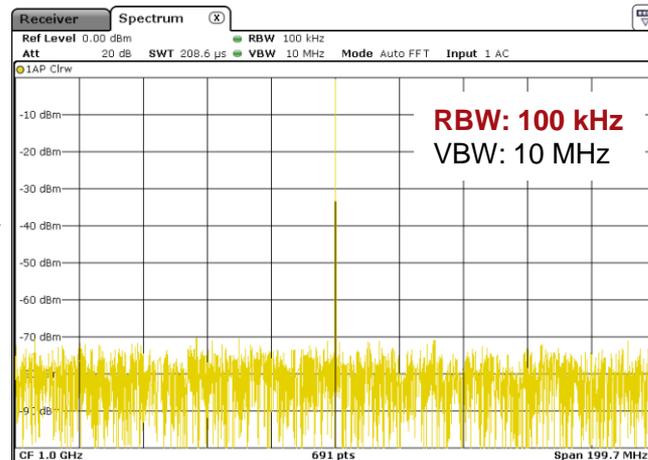
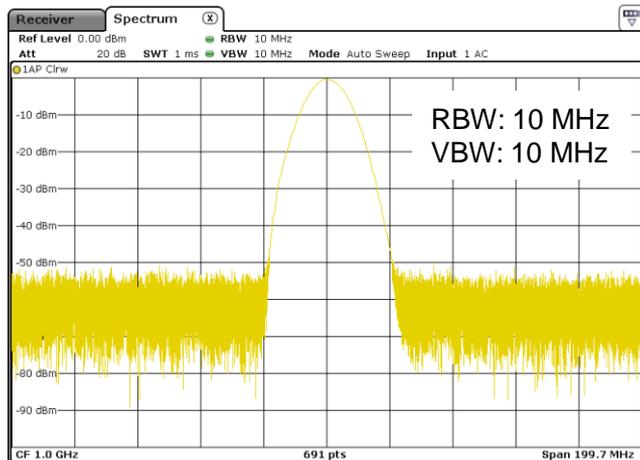
スペクトラム・アナライザの構造とは？

- ▶ ビデオフィルタ (VBW) の役割について
 - 画面に表示されるトレースをスムージング(平滑化)します
 - IFフィルタ (RBW) を狭くすると、周波数選択度とノイズフロアが下がります
 - ビデオフィルタ (VBW) を狭くしても、トレースがスムージングされるだけです



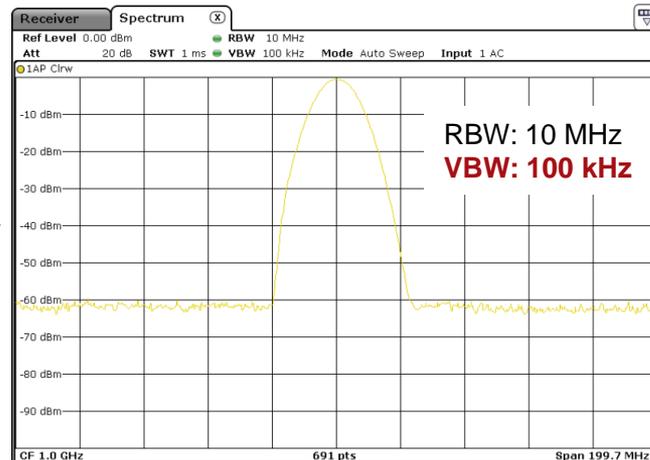
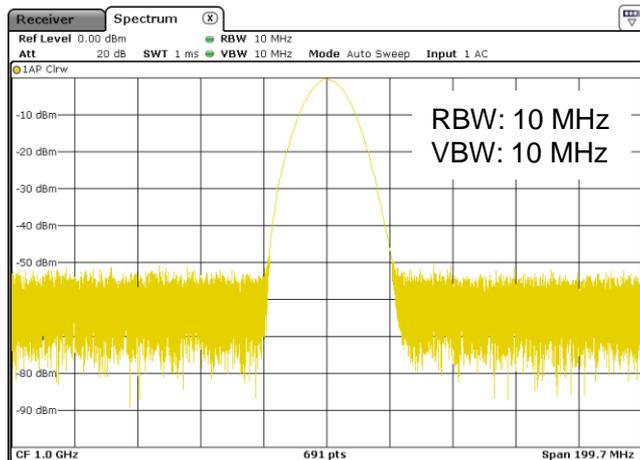
スペクトラム・アナライザの構造とは？

- ▶ ビデオフィルタ(VBW)の役割について
 - 画面に表示されるトレースをスムージング(平滑化)します
 - IFフィルタ(RBW)を狭くすると、周波数選択度とノイズフロアが下がります



スペクトラム・アナライザの構造とは？

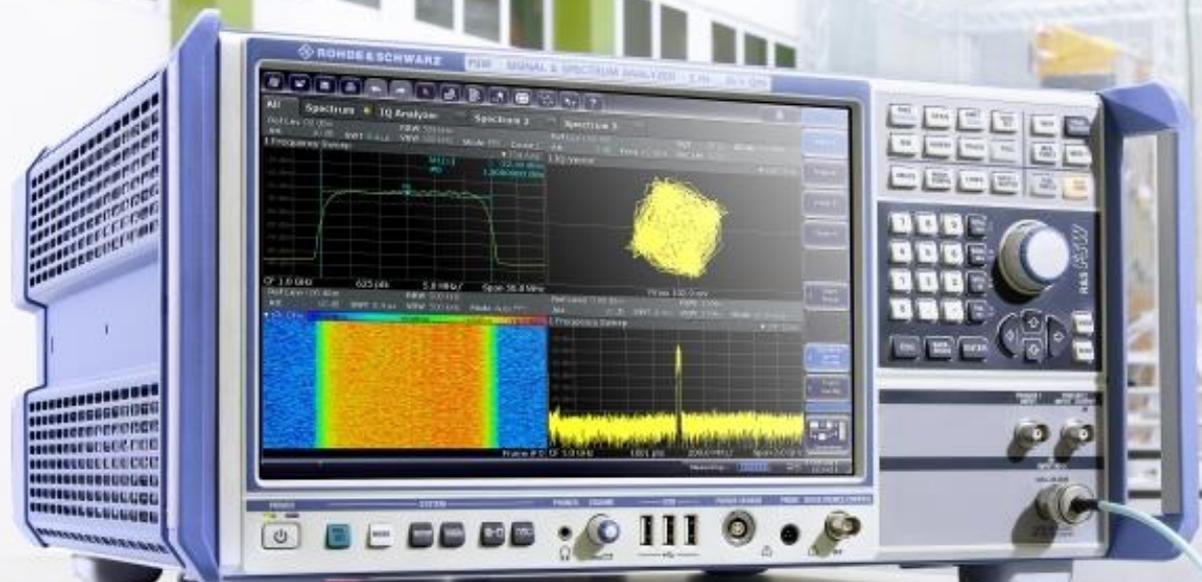
- ▶ ビデオフィルタ (VBW) の役割について
 - ビデオフィルタ (VBW) を狭くしても、トレースがスムージングされるだけです



ポイントのまとめ



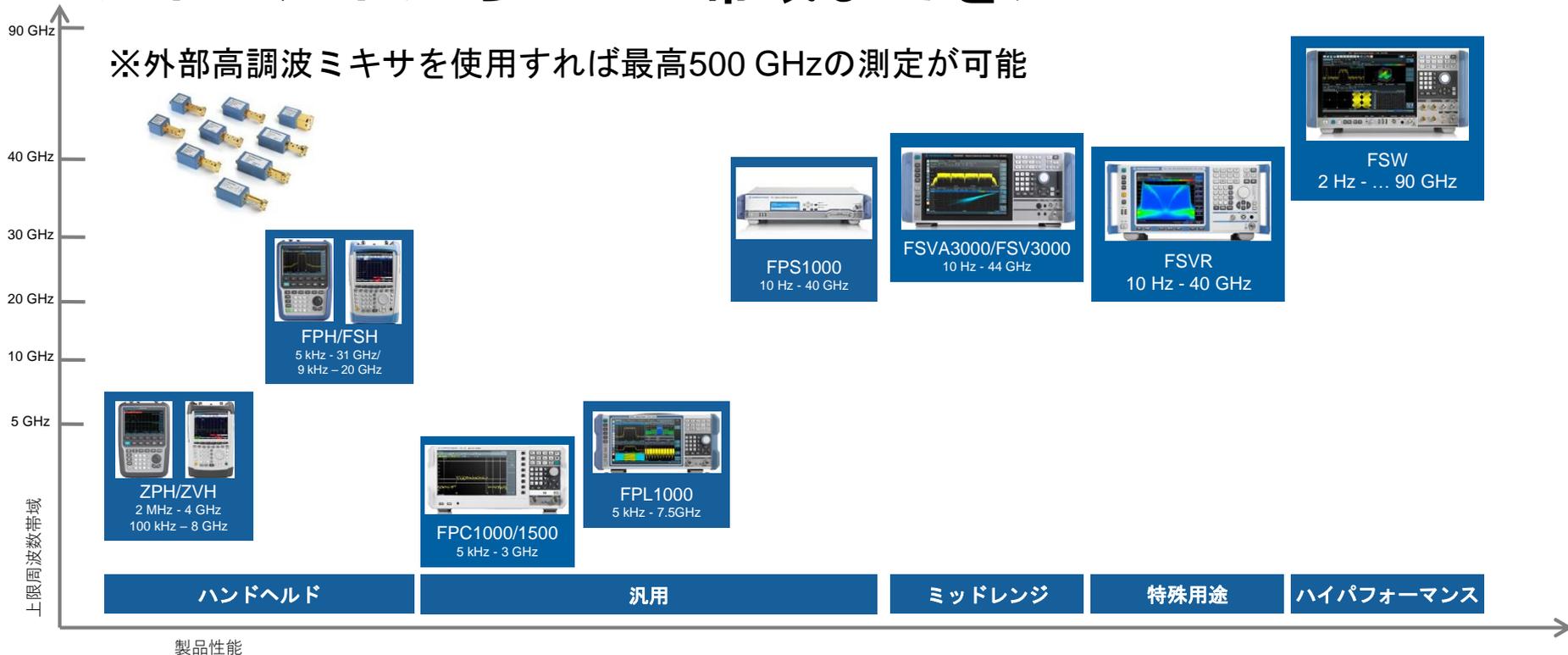
- ▶ 入力信号のパワーが高すぎるとミキサを破損する可能性があるので注意が必要
- ▶ ミキサ歪みは、アッテネータを調整することで確認が可能
- ▶ アッテネータを入れるとノイズフロアが上昇するため、ミキサ入力レベルとのバランスが重要
- ▶ 信号入力前にはアッテネータを入れて過入力を防ぐ
 - 特に画面に表示されていない信号にも注意を払うことが重要
- ▶ 分解能帯域幅（RBW）を狭くすれば周波数選択度が高まりノイズフロアが低下するが、掃引時間が長くなり、広くすればその逆となる
- ▶ 検波モードは、観測したい測定結果に応じて適宜選択する
- ▶ ビデオフィルタ（VBW）を狭くすればトレースがスムージングされるがノイズフロアは変わらない



ローデ・シュワルツのスペクトラム・アナライザ

最新のスペクトラム・アナライザ・ポートフォリオ ハンドヘルドから90 GHz帯域までをカバー！

※外部高調波ミキサを使用すれば最高500 GHzの測定が可能



Thank
you

