



無線通信測定の基本Lite

無線通信測定

無線通信は3つの部分(送信部、受信部、伝送路)で構成されています。

測定もその3つの部分に関して行われます。

電波法では、他に迷惑を掛けないためということが目的のために、送信に係る項目だけとなります。

通信が正常に行われるかは、各種認証団体がConformance TestとInteroperability Testを、オペレータがAcceptance試験を行なうことにより保証します。

送信部：電力・周波数・変調

- ・パワーメータ・周波数カウンタ・スペアナ
- ・シグナルアナライザ(SA)

受信部：受信感度・妨害耐力

- ・信号発生器(SG)・誤り率測定器(BERTS)

伝送路：電界強度・干渉

- ・電界強度測定器(エリアテスタ)・アンテナ

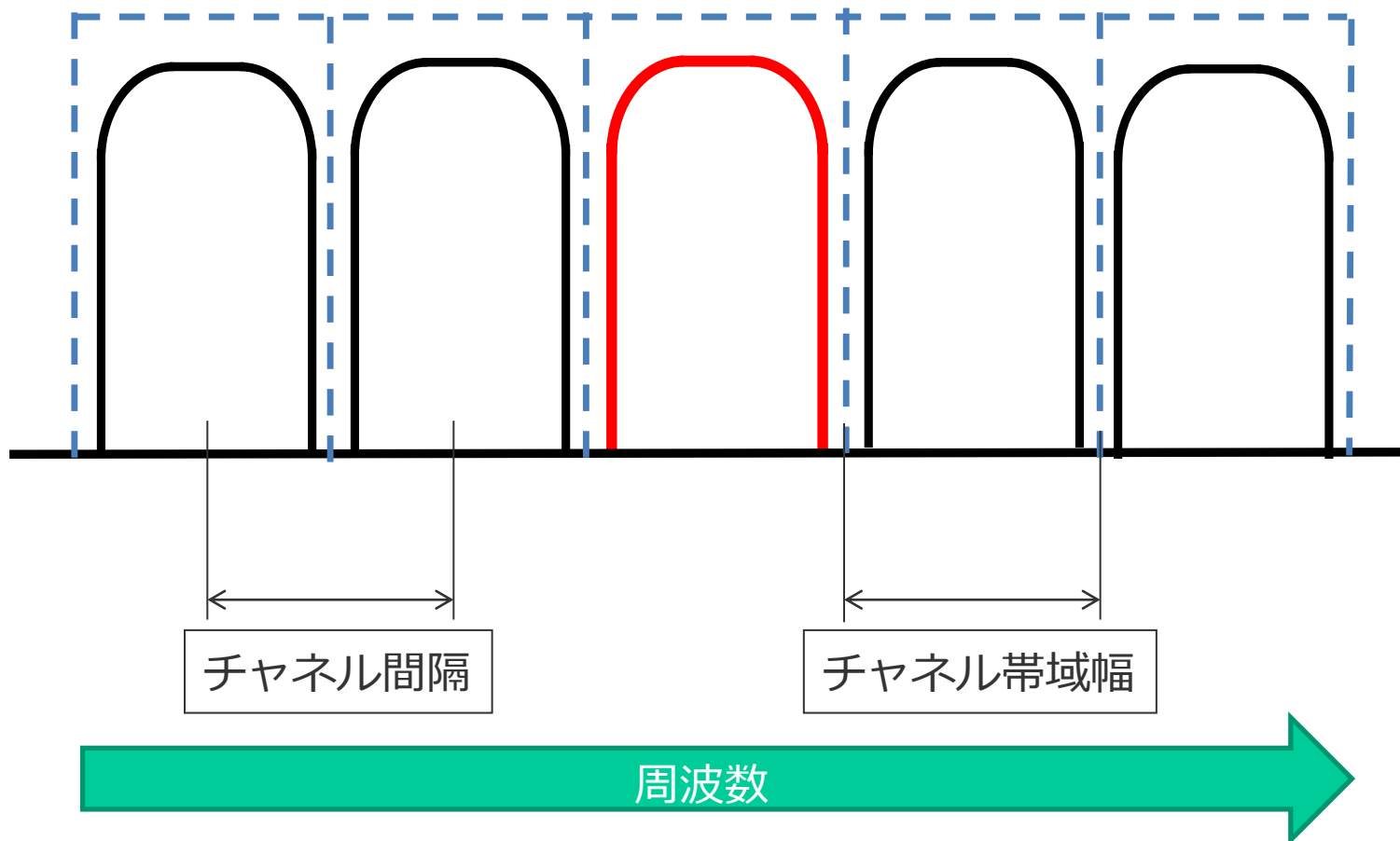
一般にはPHYレイヤをRF試験、MACレイヤ以上をプロトコル試験としています。接続試験も含めたものをInteroperability Test、Acceptance Testがあります。

携帯電話(W-CDMA)のConformance試験項目 例

	3G TS25 141 V3.1.0	技術基準適合試験(電波法)
送信試験	<ol style="list-style-type: none"> 1) 最大送信電力 2) CPICHパワー確度 3) 周波数安定度 4) 電力制御ステップ 5) 電力制御ダイナミックレンジ 6) トータル電力ダイナミックレンジ 7) 占有周波数帯幅 8) スペクトラム・エミッション・マスク 9) 隣接チャネル漏洩電力比 10) スプリアス・エミッション 11) 送信相互変調 12) 変調精度 13) ピークコード・ドメインエラー 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 空中線電力偏差 2) 周波数偏差 3) 占有周波数帯幅 4) 隣接チャネル漏洩電力比 5) スプリアス発射強度
受信試験	<ol style="list-style-type: none"> 1) 受信感度 2) ダイナミックレンジ 3) 隣接チャネル選択度 4) ブロッキング特性 5) スプリアスレスポンス 6) 相互変調特性 7) スプリアス・エミッション 8) 内部BER計算の検証 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 副次発射

無線チャンネル配置

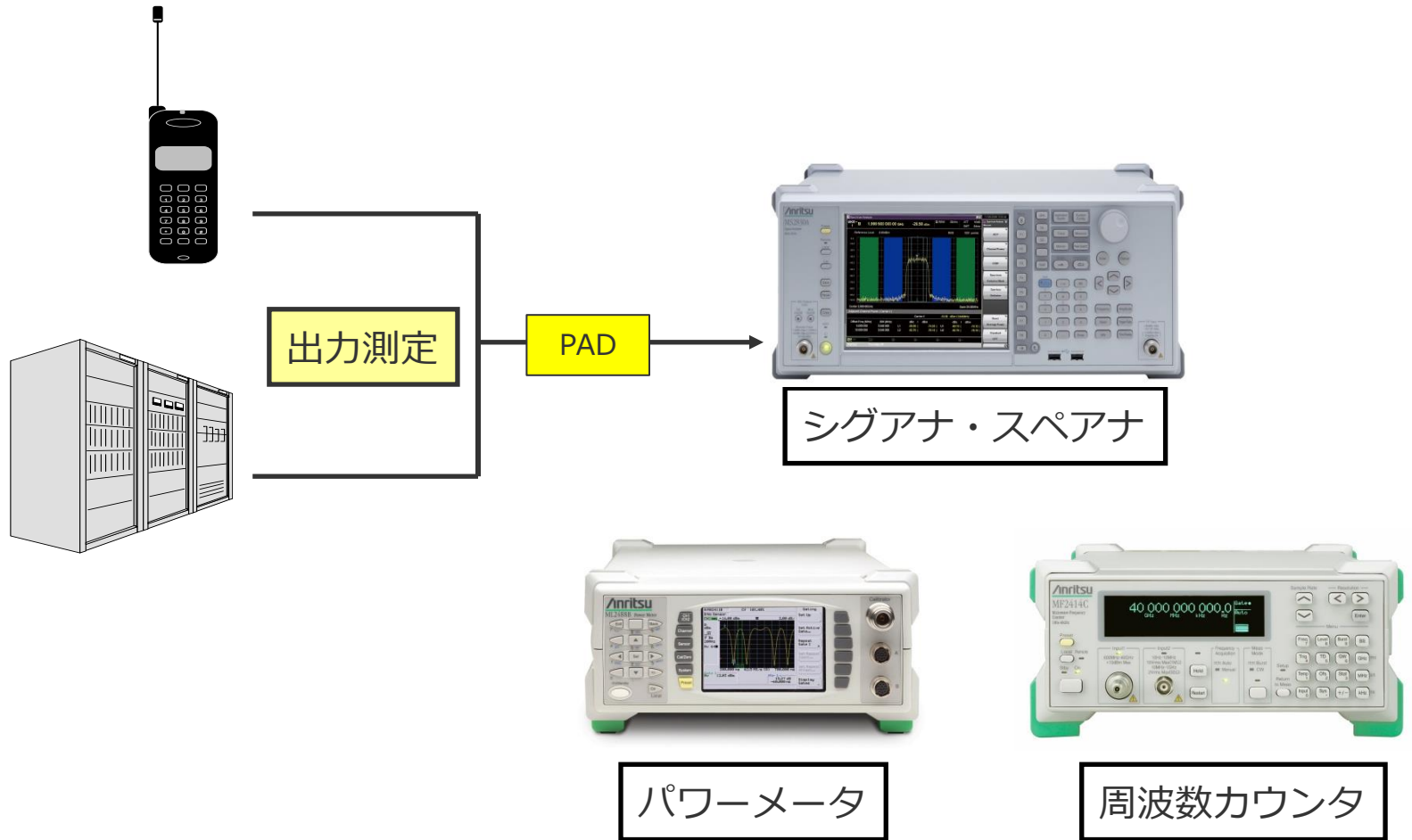
無線通信を行うには、そのシステムに割り当てられた周波数帯域の中で、決められたチャンネル帯域幅、チャンネル間隔で通信を行う必要があります。



送信試験項目 例

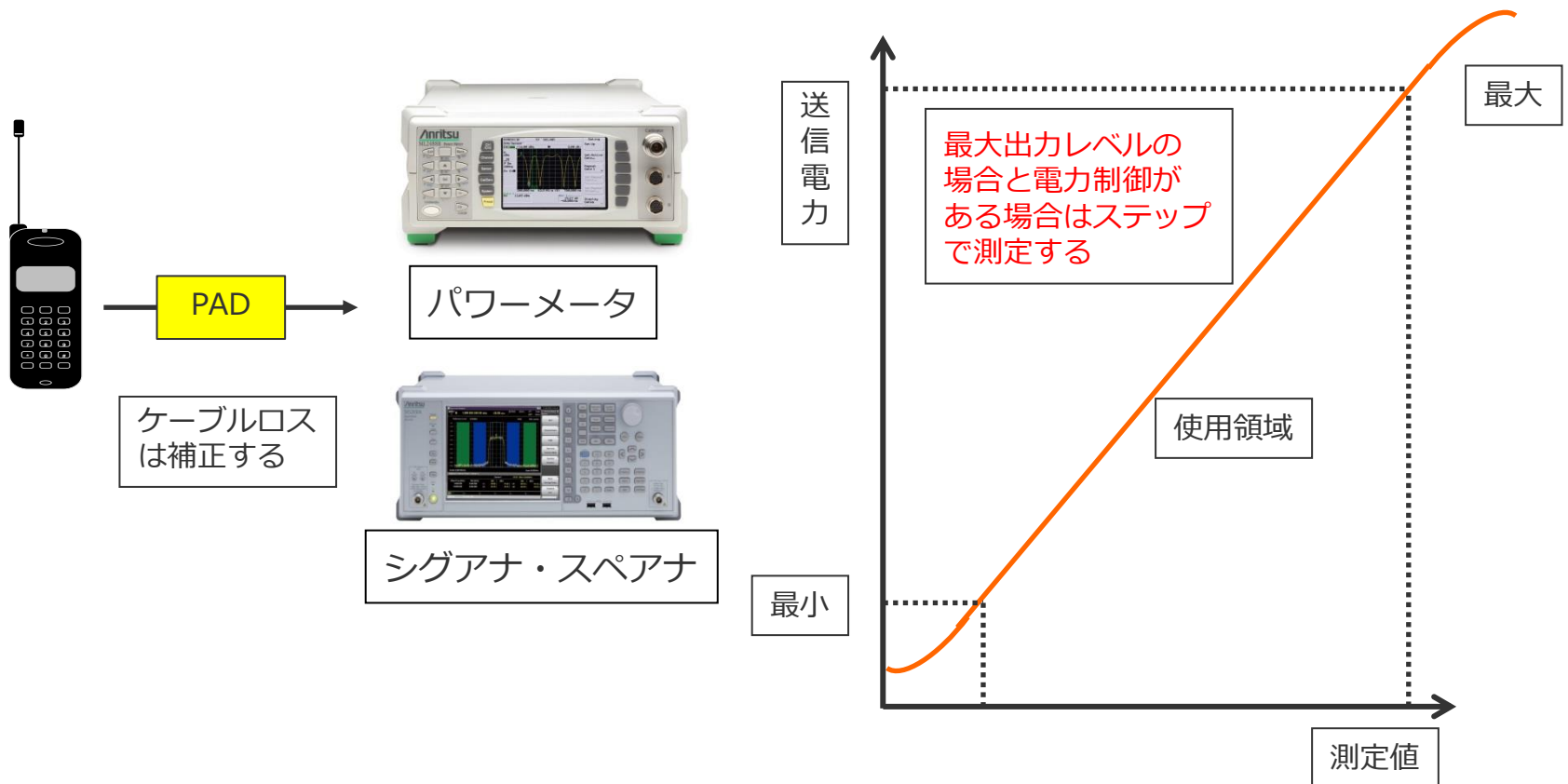
1. 送信電力（空中線電力）
最大送信電力・電力制御
2. 周波数
安定度（周波数偏差）
占有周波数帯幅
隣接チャネル漏洩電力比(ACLR)
スプリアス・エミッション
3. 変調
変調精度

送信試験測定系 例



空中線電力 最大送信電力・電力制御

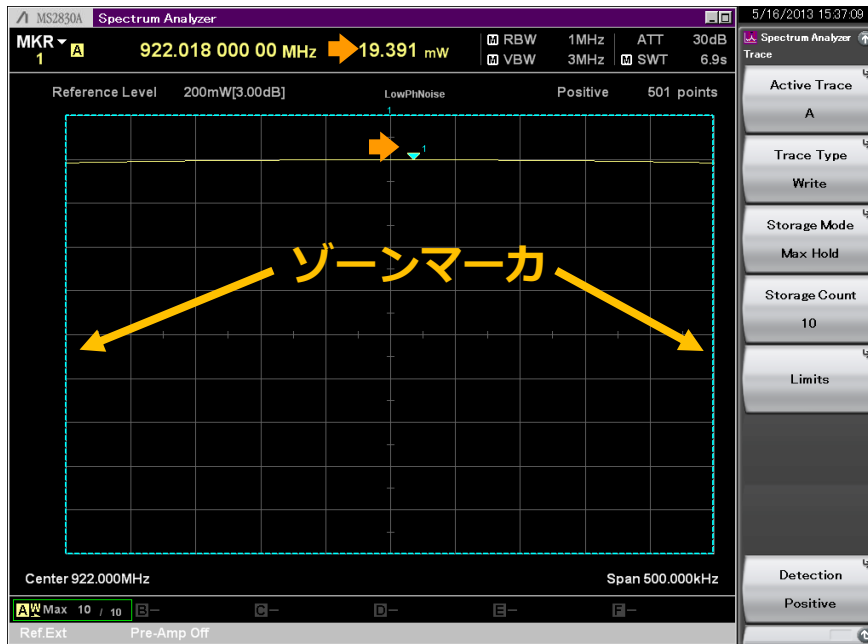
最大送信電力は電波法で定められていますので、必ず測定します。
無線システムによっては電力制御が必要な場合があります。
その際には出力を可変してリニアに変化するかを測定します。



空中線電力 スペアナを用いた測定

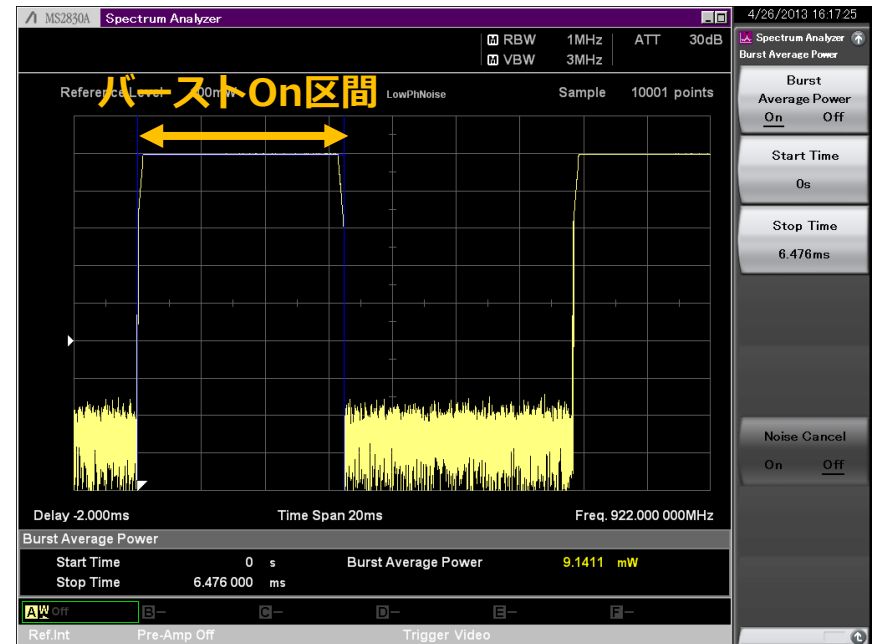
信号が連続して送信される場合 : CW (Continuous Wave)

信号が断続して送信される場合 : バースト (Burst signal)



CW信号の電力測定

周波数



バースト信号の電力測定

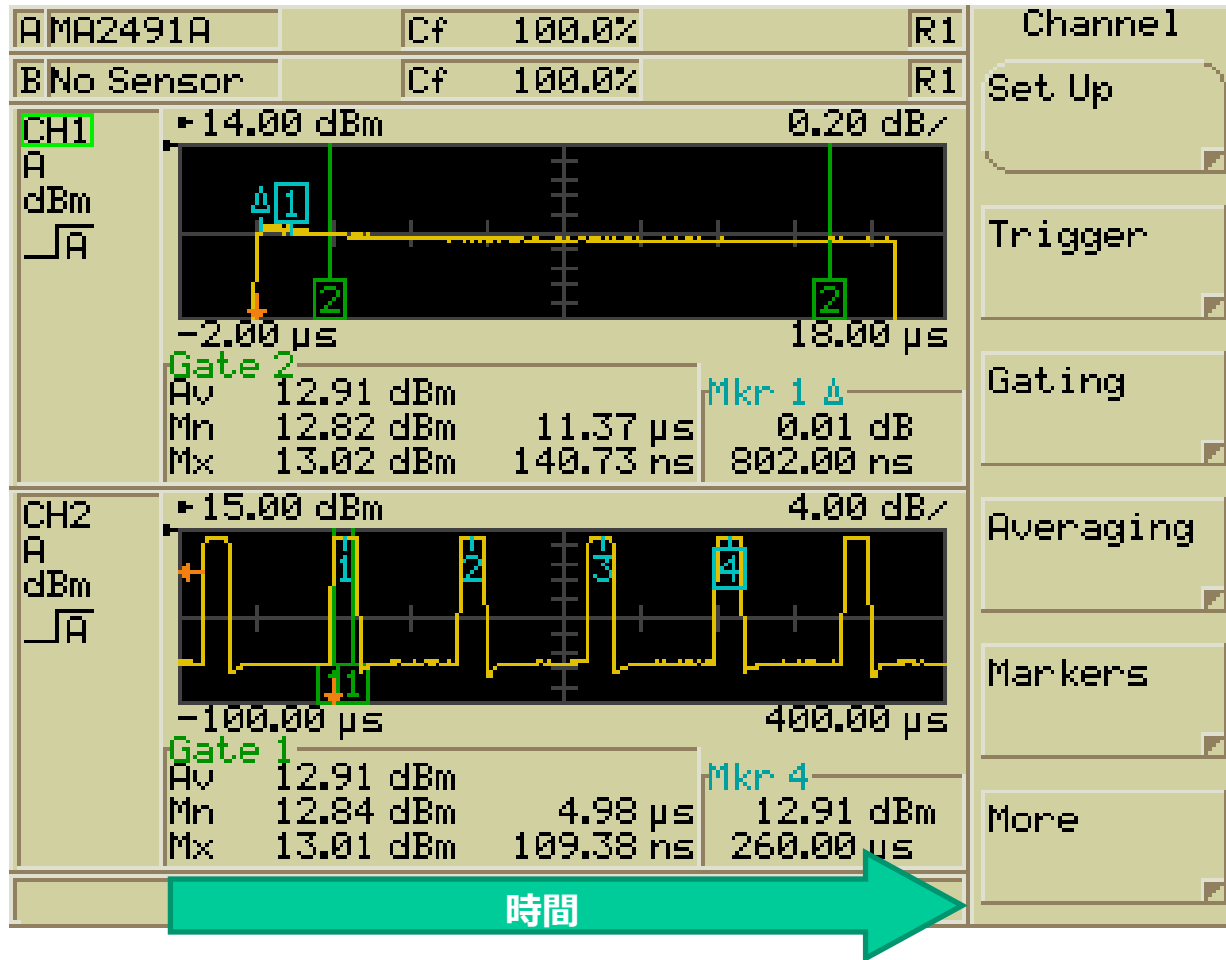
時間

空中線電力 パワーメータを用いた測定

ピークパワーメータではゲート機能でBurst On区間の電力測定が可能

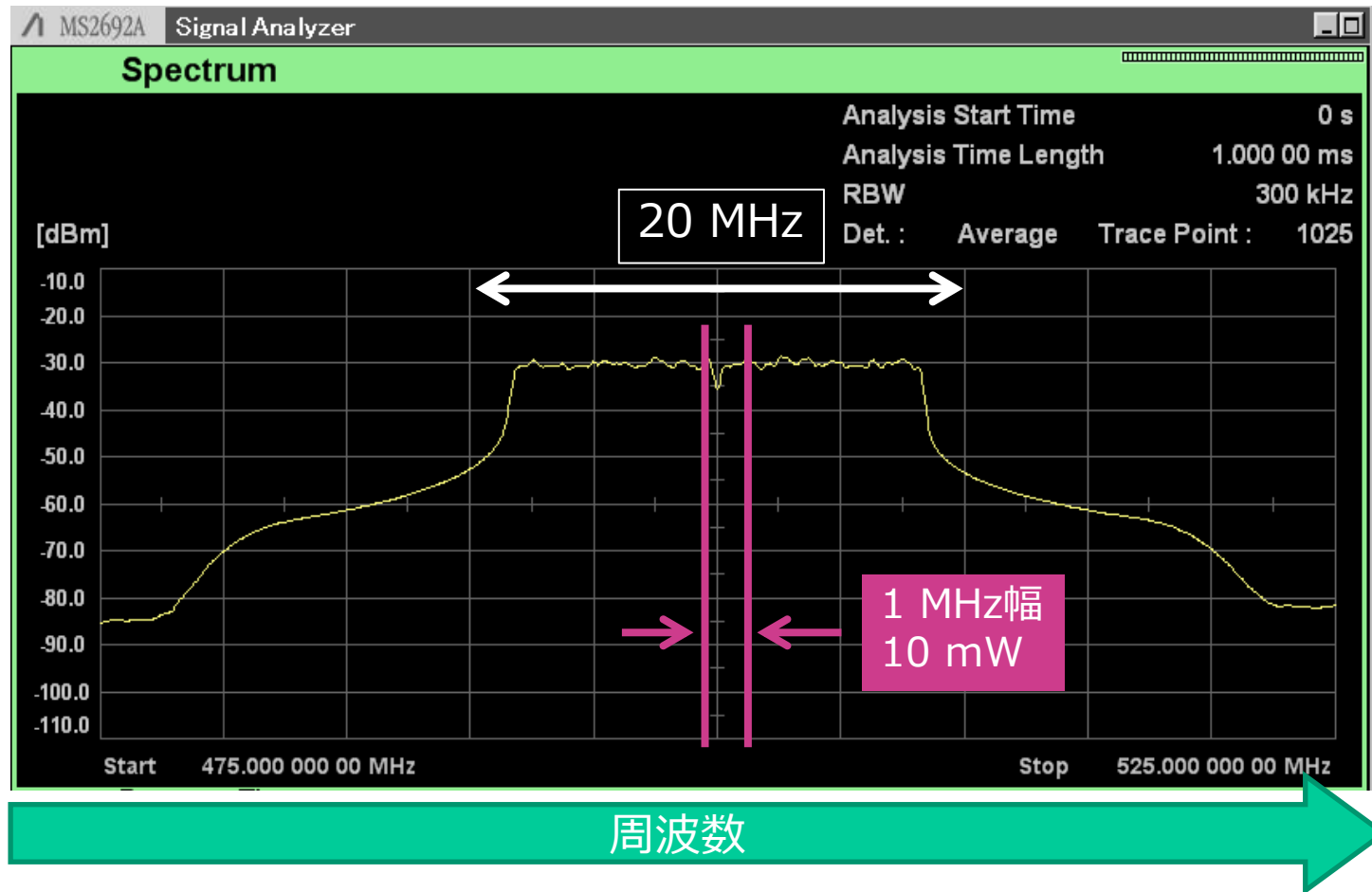
1Burst
拡大

時間軸
表示



空中線電力 スペアナを用いた広帯域信号の電力測定

広帯域の信号は1MHz幅あたりの電力で規定する場合あり
無線LAN等



空中線電力の単位

単位 (Unit)

電力 W、dBm

$$0\text{dBm} = 1\text{mW} \quad \text{dBm} = 10 * \text{Log} (X\text{mw}/1\text{mW})$$

基本的には電力で表現するが受信系の仕事の場合はdB μ Vを使うことが多い

電圧 V、dB μ V、dBmV、dB μ V e.m.f

$$0\text{dB}\mu\text{V} = 1\mu\text{V} \quad \text{dB}\mu\text{V} = 20 * \text{Log} (X\mu\text{V}/1\mu\text{V})$$

電界強度 W/m、dBm/m、dB μ V/m

測定した値にアンテナ係数で補正した値

$$W = V (\text{電圧}) * I (\text{電流}) \quad I = V/R (\text{抵抗}) \quad R : 50\text{オーム}$$

$$W = (V * V) / 50$$

$$V = \sqrt{W * 50}$$

周波数偏差

周波数の割当は電波法で定められていますので、必ず測定します。



PAD



周波数カウンタ



シグアナ・スペアナ

= 例 =

設定値 : 922.5MHz

偏差 Hz : 3771.57Hz

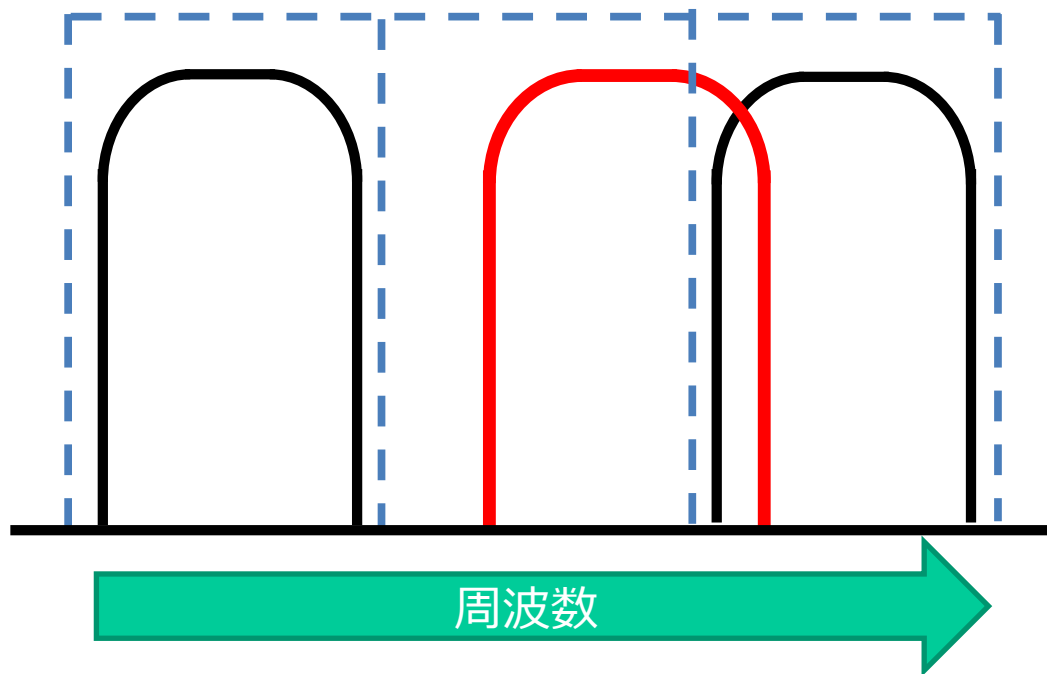
偏差 ppm : 4.088428ppm

設定した周波数との差を Hz・ppmで表します。

ppm : Part per million 百万分の一 単位

周波数偏差 周波数がずれた場合

周波数が定められた値ではなくずれていると、隣のchに混信してしまいます。

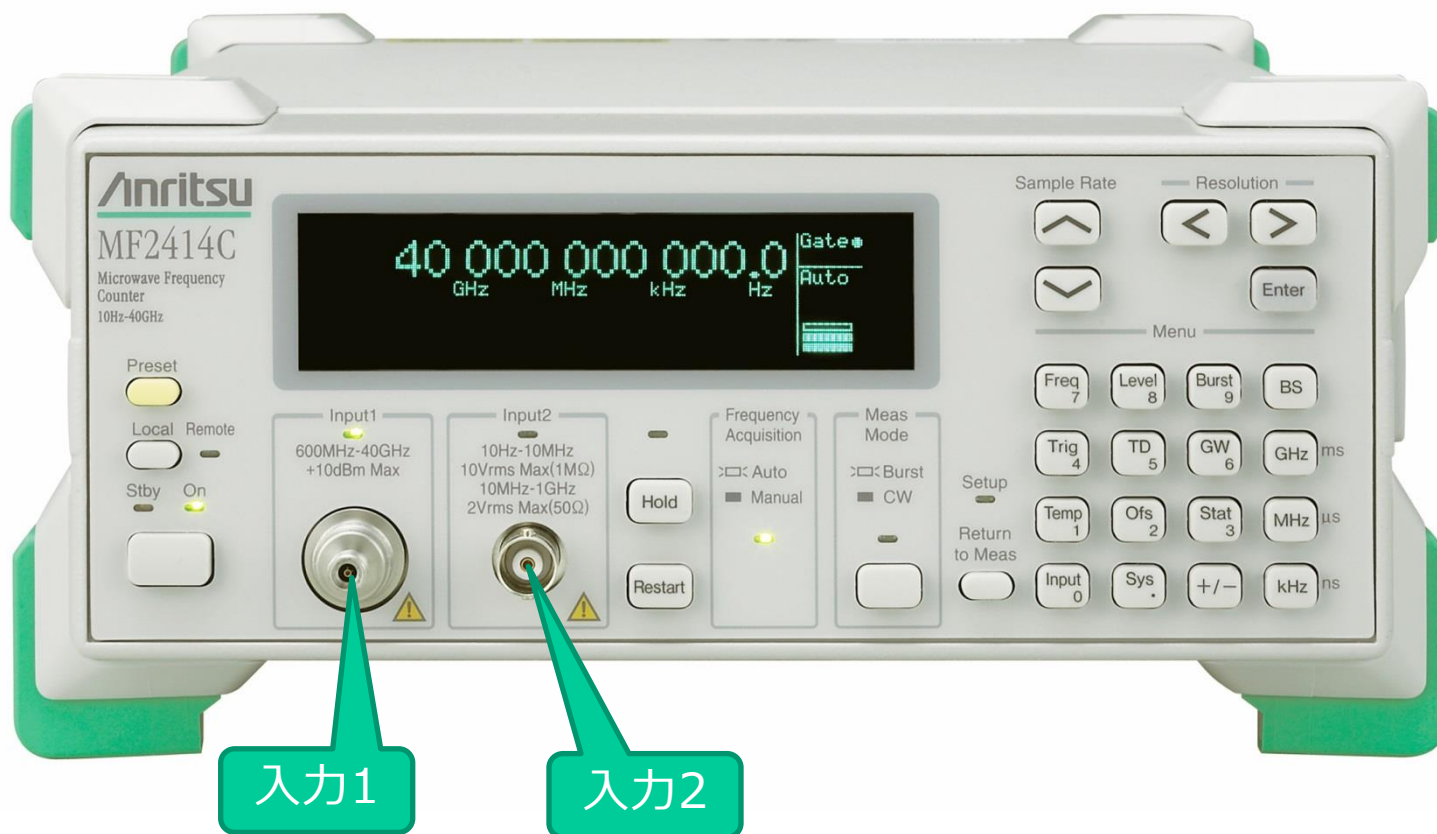


周波数偏差 周波数カウンタで測定

周波数カウンタに直接信号を入力します。

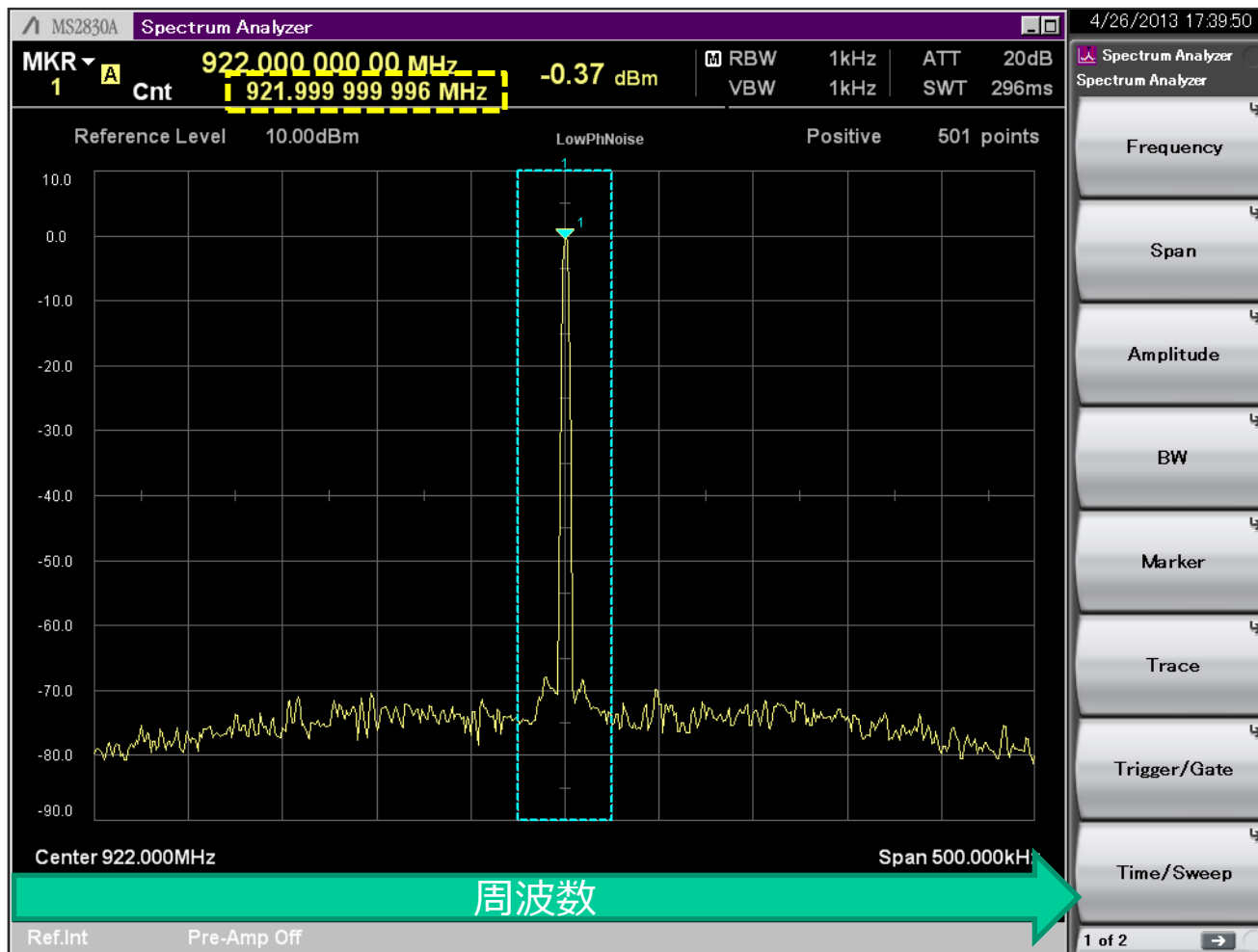
無変調状態で測定を行います。

広帯域測定可能な場合には周波数範囲により入力部が異なります。



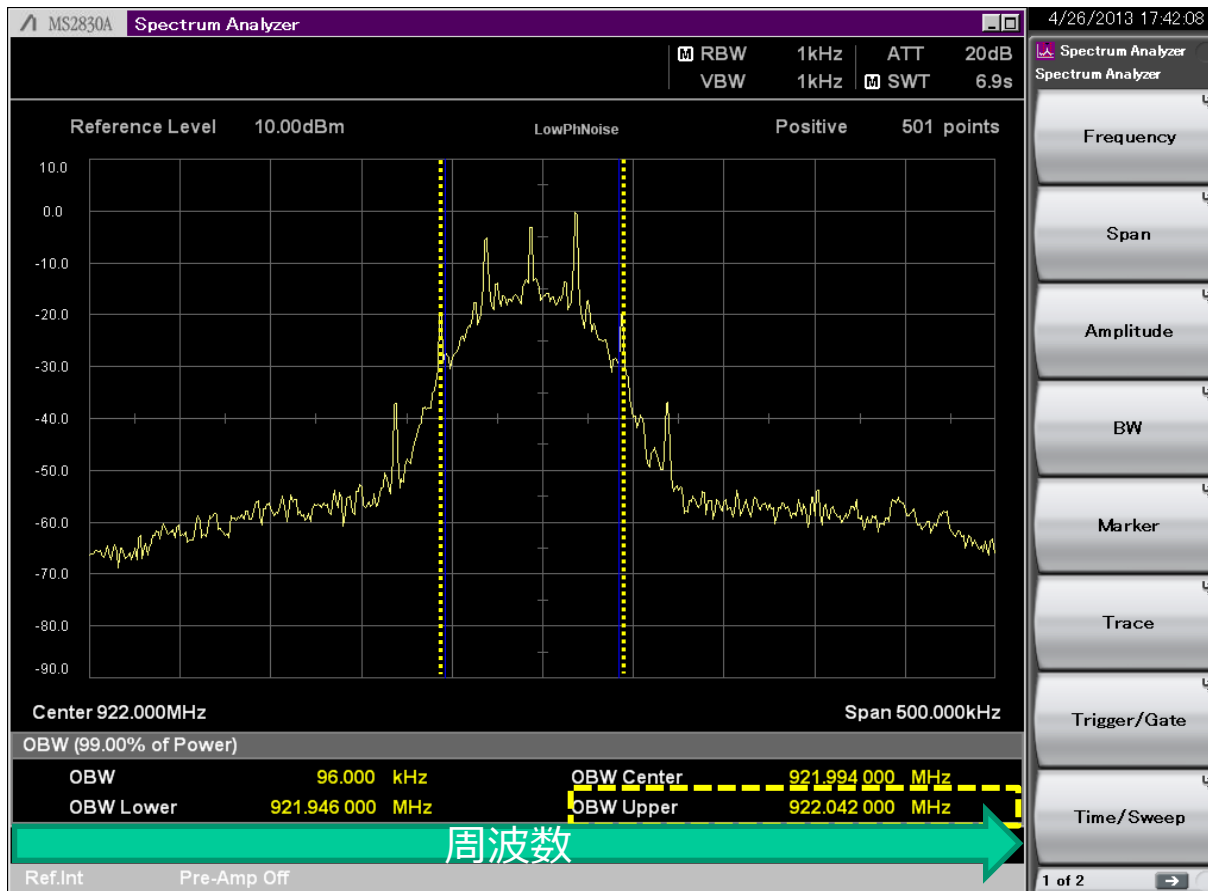
周波数偏差 スペクトラムアナライザで測定

変調をOffにできる場合は無変調で測定

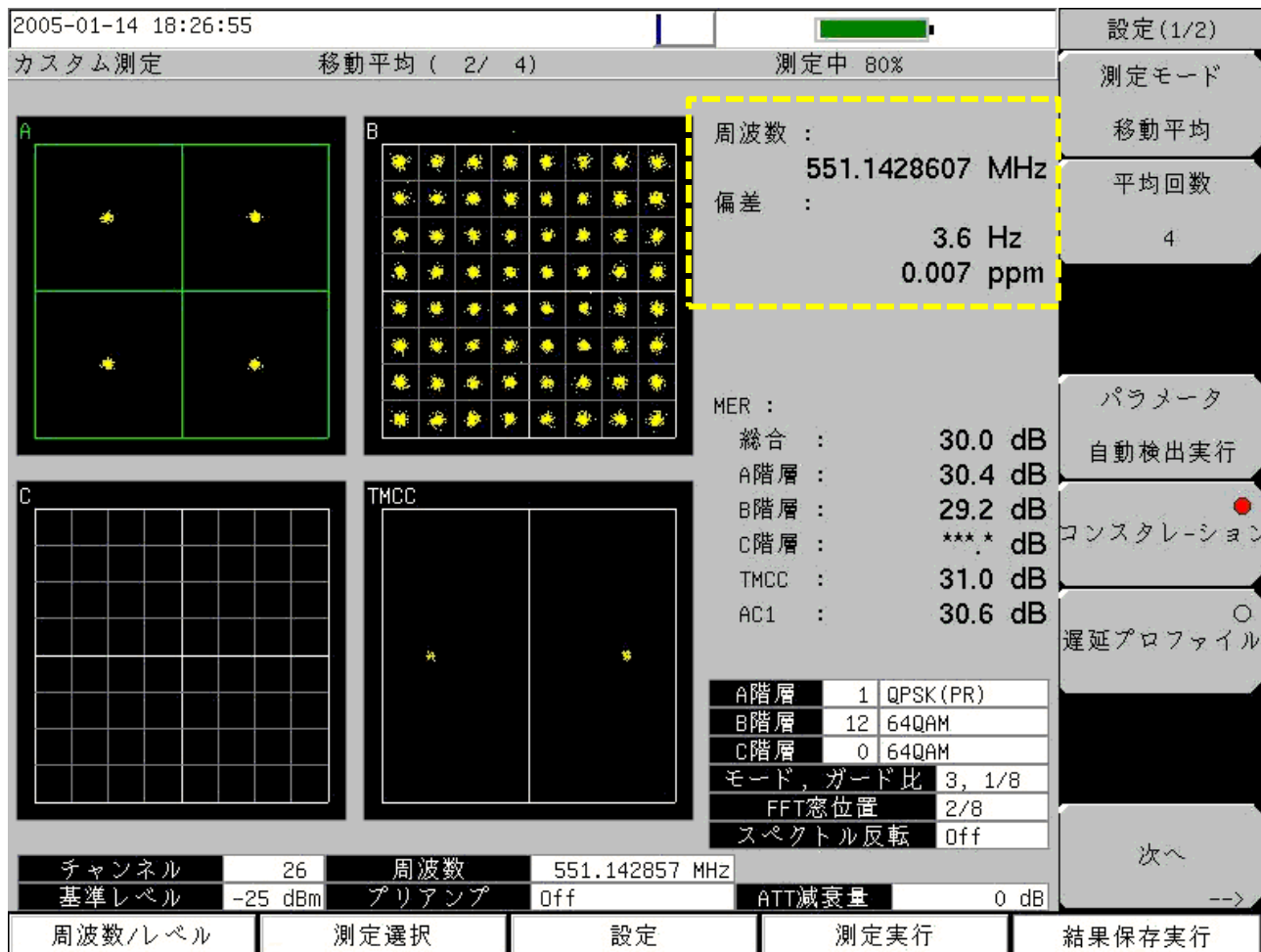


周波数偏差 占有帯域幅測定から周波数を求める場合

FSK変調の場合にはOBWを測定して、OBW(占有帯域幅)の中心周波数を測定値とすることも認められている。

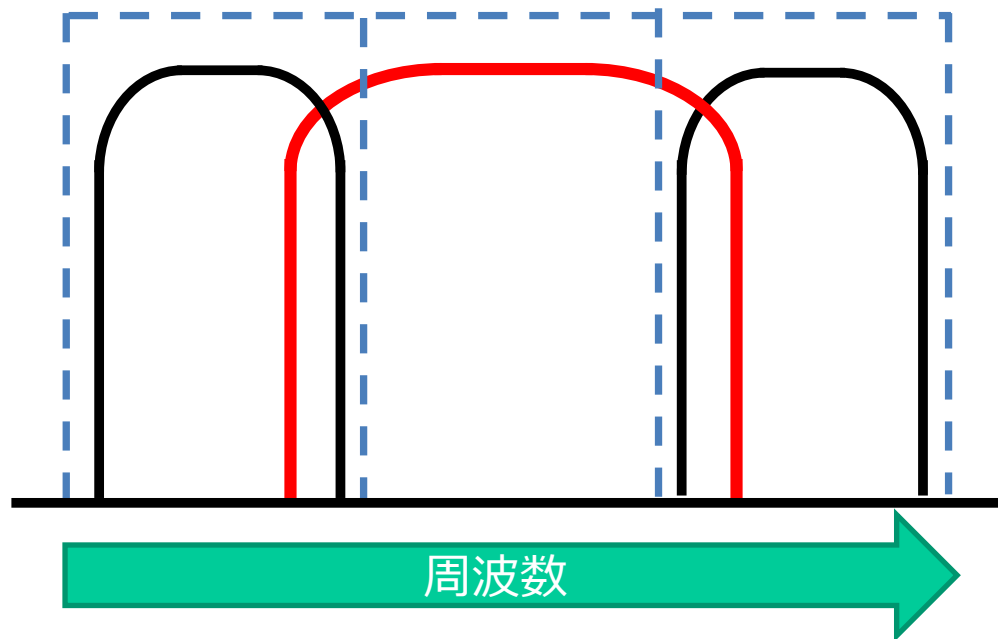


周波数偏差 変調状態での測定(変調解析ソフトを用いた場合)



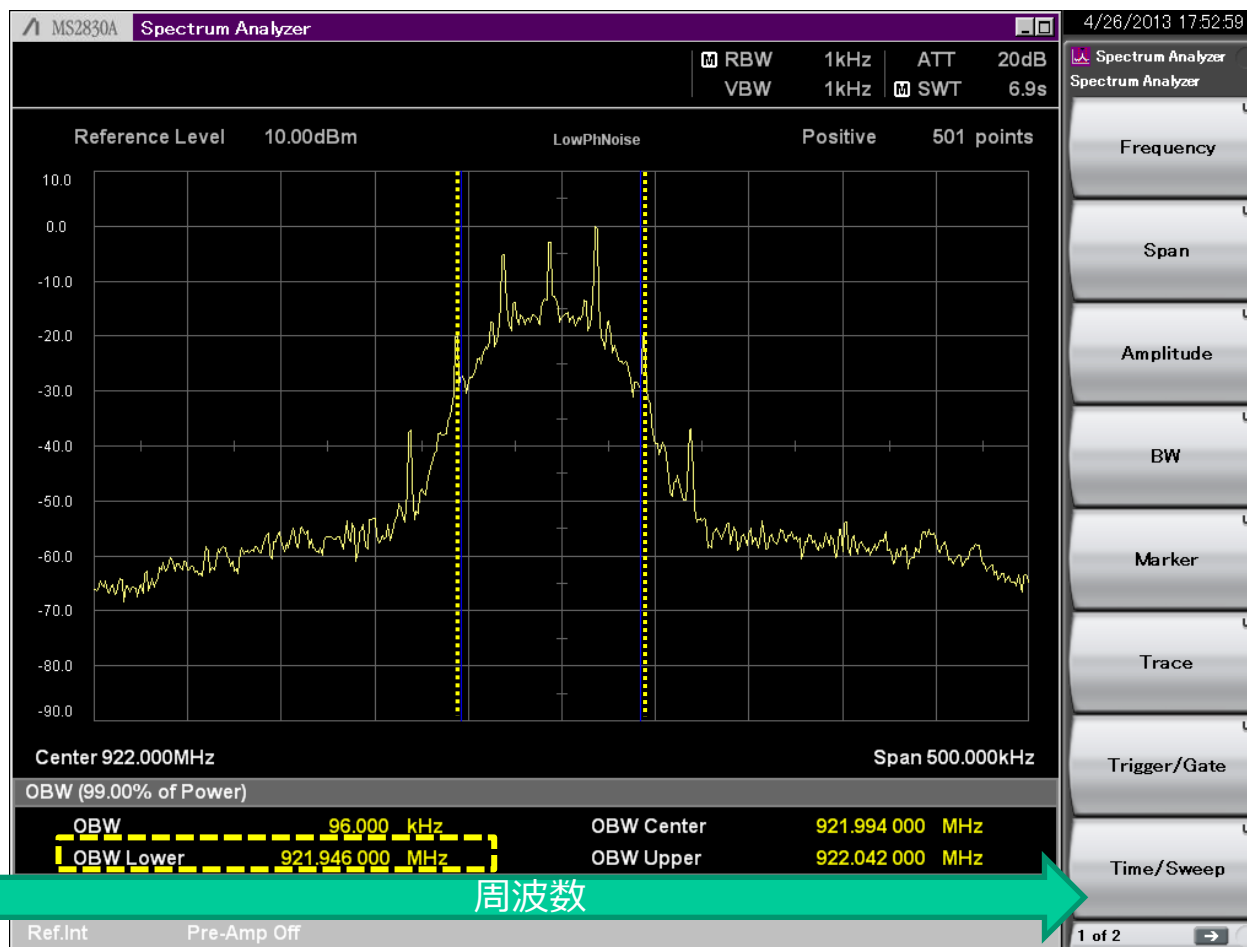
占有帯域幅

周波数が合っていても、変調された帯域幅が広いと隣のchに混信してしまいます。



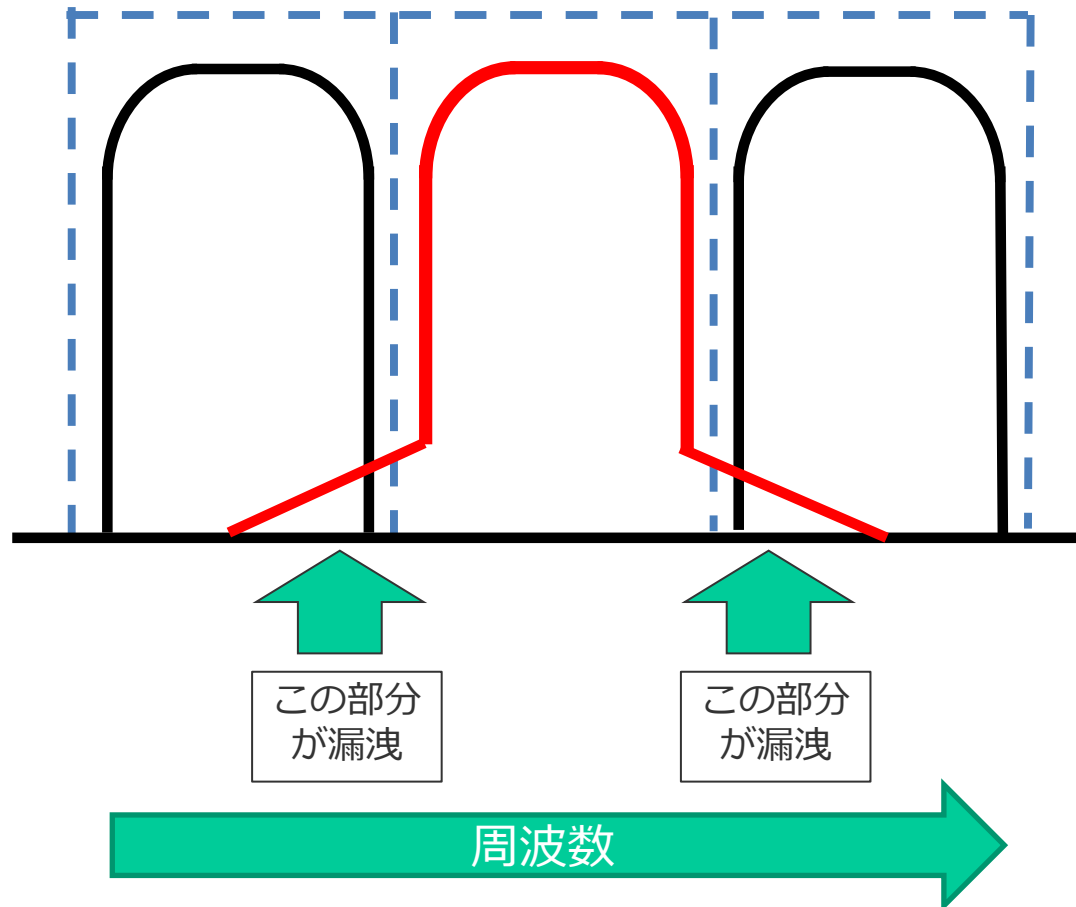
占有帯域幅

周波数が合っていても、変調された帯域幅が広いと隣のchに混信してしまいます。



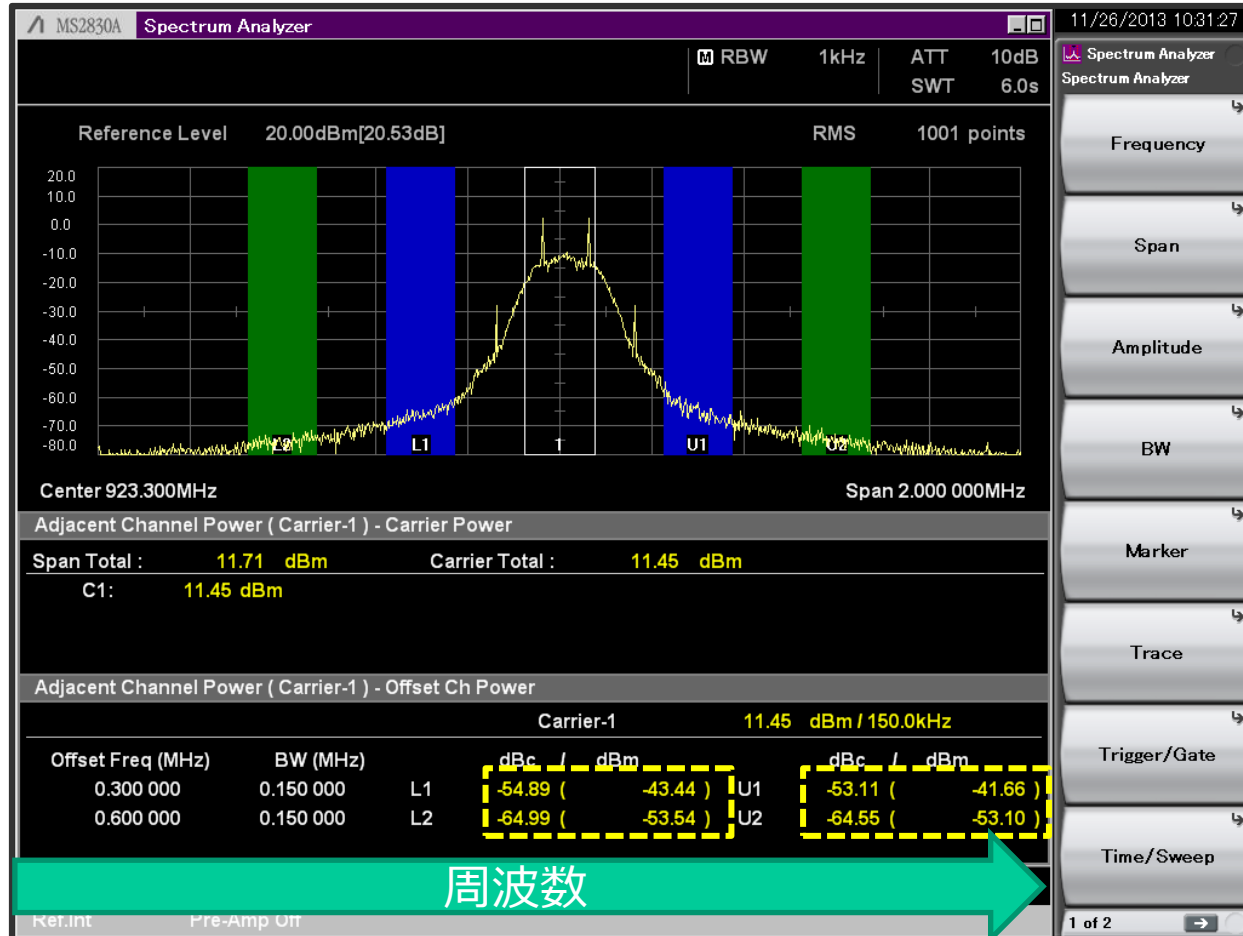
隣接チャネル漏洩電力

周波数・占有帯域幅が規格に入っているにもかかわらず、無線性能が悪く信号の裾が持ち上がっていると隣のchに妨害となります。



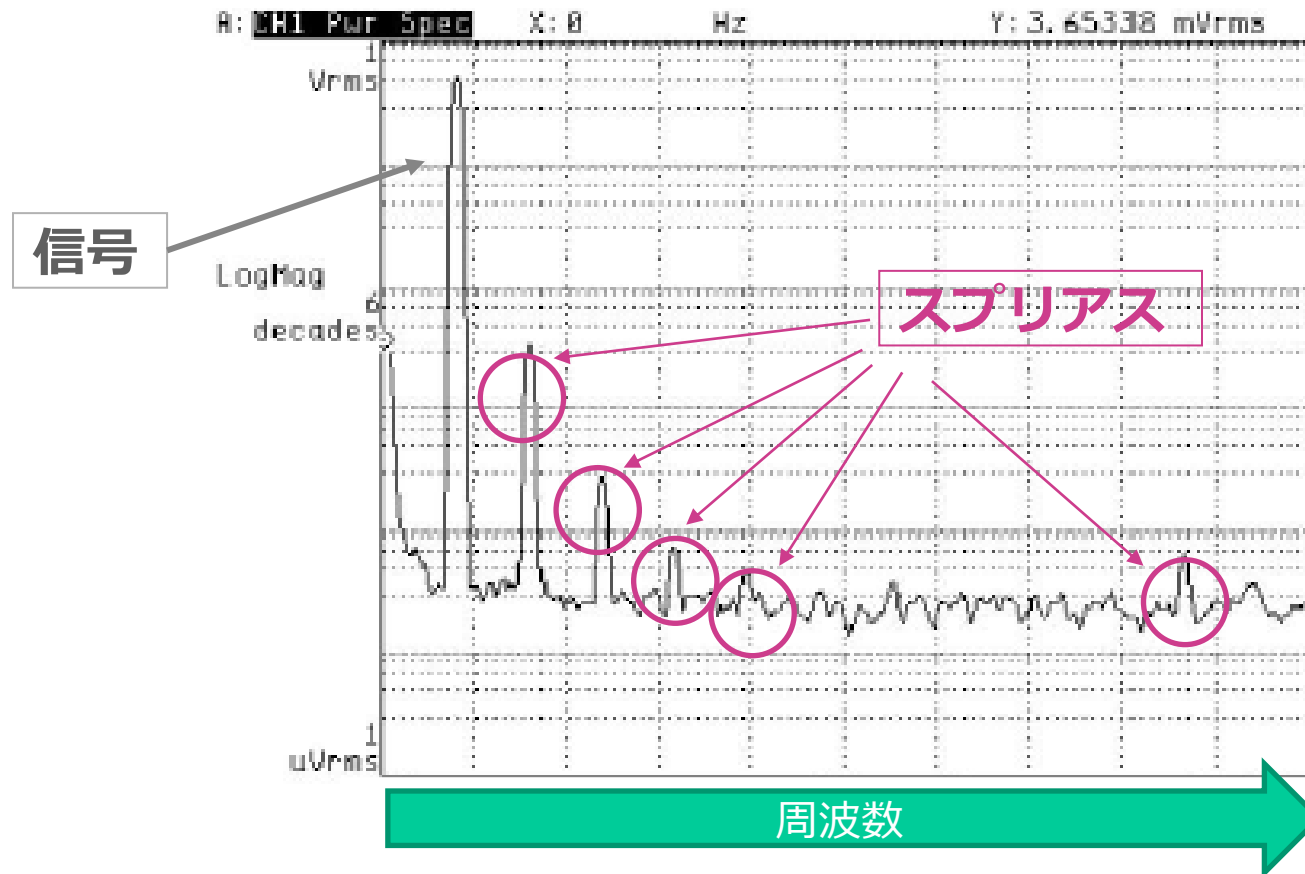
隣接チャネル漏洩電力

周波数・占有帯域幅が規格に入っているも、無線性能が悪く信号の裾が持ち上がっていると隣のchに妨害となります。



スプリアス (Spurious Emission)

無線通信機器の内部では、多くの発振器を使用しています。
そのため、規格は意図しない電波が外部へ出ていないか規定しています。
スプリアス（意図しない電波）が規格以下であることを確認します。

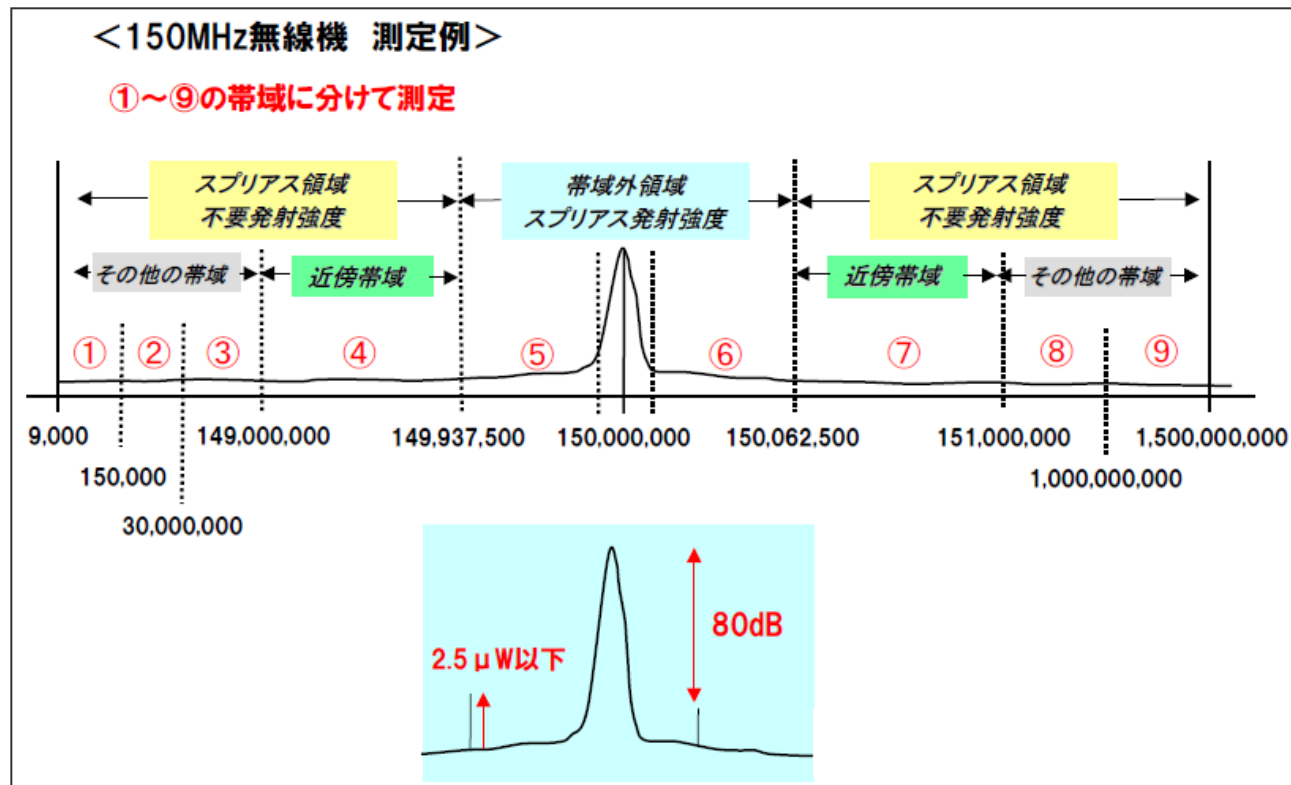


スプリアス (Spurious Emission) 新しいスプリアス測定とは？

電波法の改正でスプリアスの定義が変更されました。

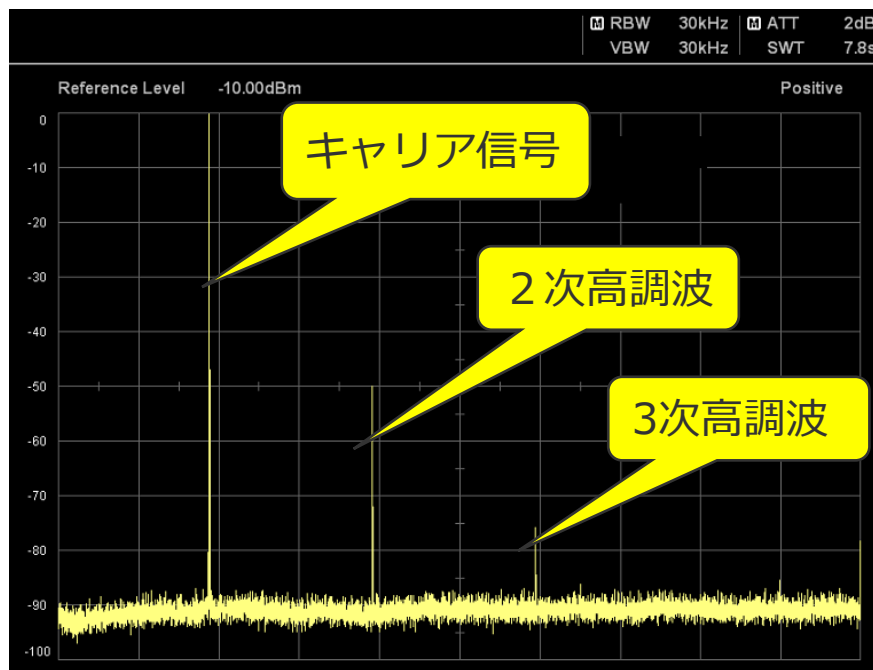
(無変調で測定する帯域外領域が追加。)

2017年11月30日以降は旧規格の無線機を使って開設、増設、変更ができなくなります。現在、免許を受けている旧規格の無線機は免許を更新する事により2022年11月30日迄は使うことができます



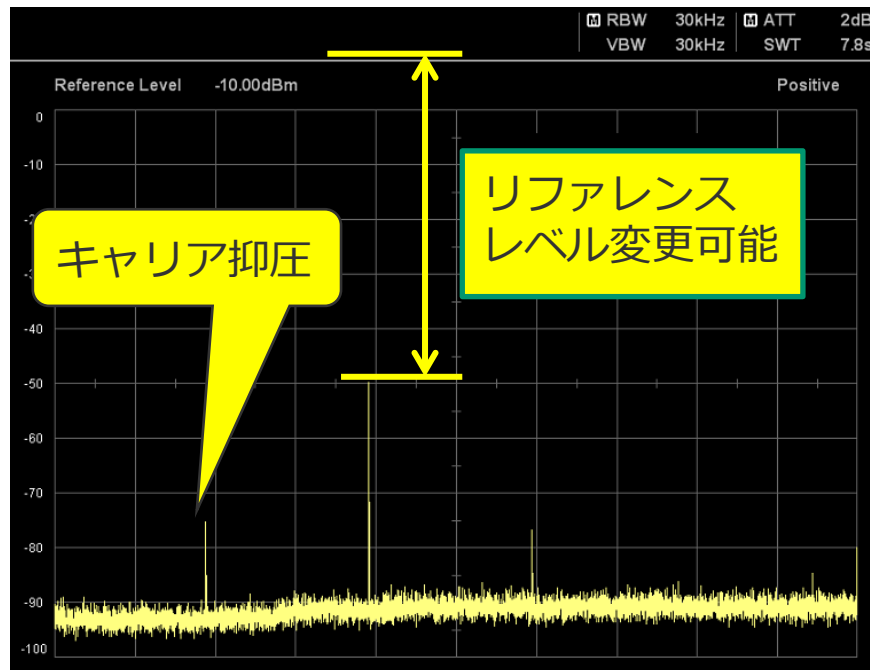
スプリアス 搬送波抑圧フィルタの必要性

大電力の搬送波の場合、スプリアス測定時にキャリア信号を搬送波抑圧フィルタで除去することにより、リファレンスレベルを低くしてより低レベル信号を測定可能になり、かつ、過入力による測定器内部でのスプリアス発生を防止することができるため、低いレベルのスプリアス信号を測定することが可能になります。



搬送波抑圧フィルタ使用前

周波数



搬送波抑圧フィルタ使用后

周波数

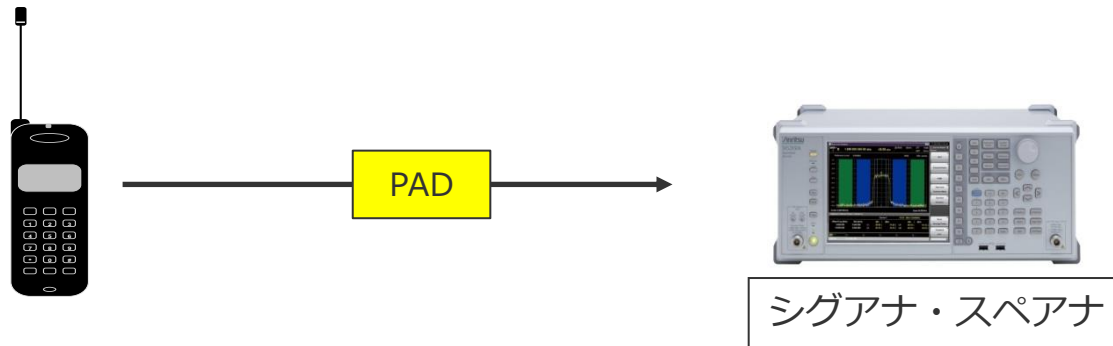
変調精度測定項目 例

1. 変調精度
 - RMS変調精度
 - CH区分別変調精度
 - 最大変調精度

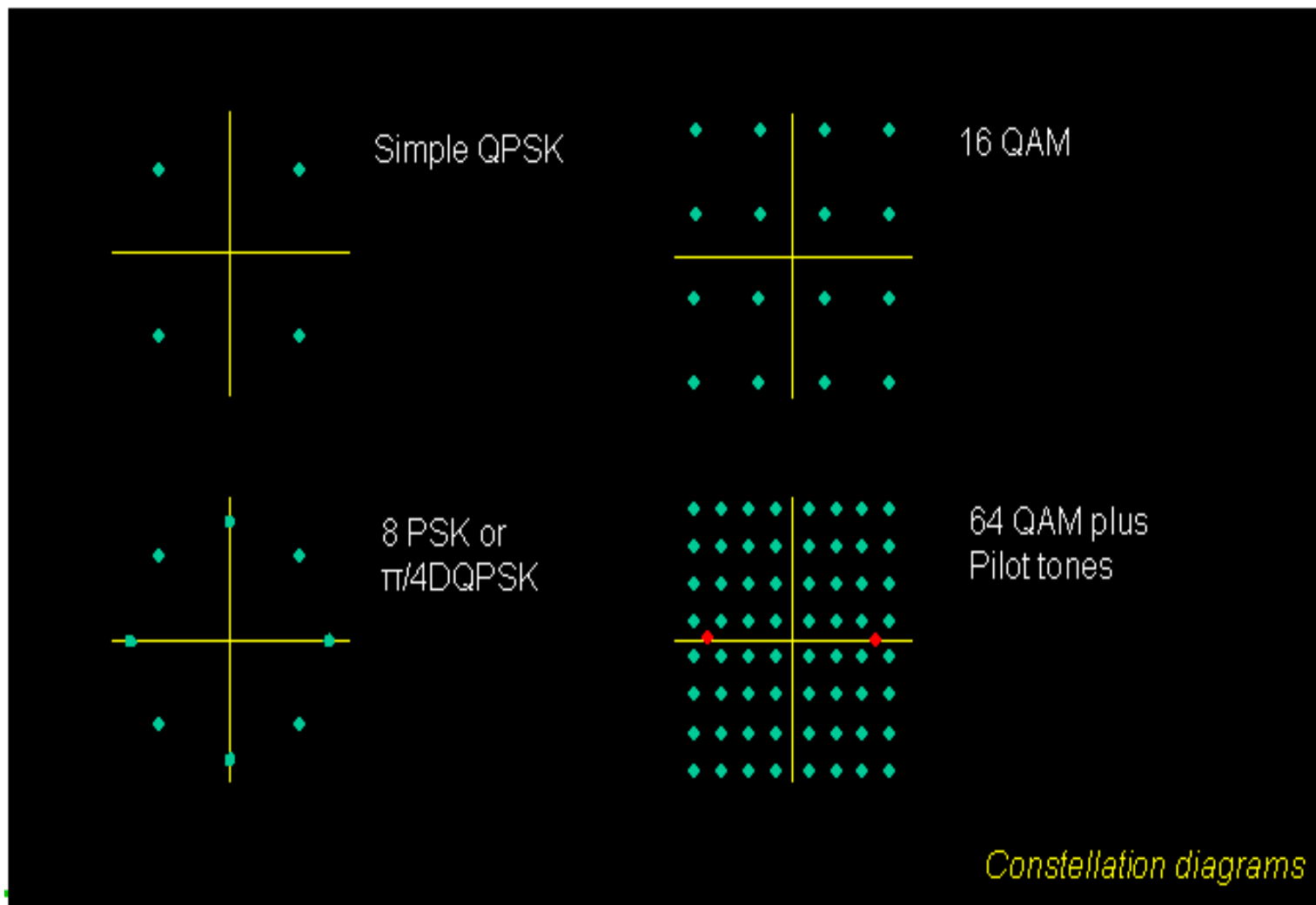
変調精度 (Modulation Accuracy)

電波法の対象外ですが、システムとして通信が成立するためには変調精度が規格以下の必要があります。

通信では通常EVM (Error Vector Modulation) が使われますが、放送では、逆数のMER (Modulation Error Ratio) が使われます。



変調精度 コンスタレーション表示



変調精度 地上デジタル放送

2005-01-14 18:26:55

カスタム測定 移動平均 (2 / 4) 測定中 80%

A

B

C

TMCC

周波数 : 551.1428607 MHz

偏差 : 3.6 Hz
0.007 ppm

MER :

総合	30.0 dB
A階層	30.4 dB
B階層	29.2 dB
C階層	*** dB
TMCC	31.0 dB
AC1	30.6 dB

A階層	1	QPSK(PR)
B階層	12	64QAM
C階層	0	64QAM
モード, ガード比	3, 1/8	
FFT窓位置	2/8	
スペクトル反転	Off	

チャンネル	26	周波数	551.142857 MHz
基準レベル	-25 dBm	アリアンプ	Off
ATT減衰量	0 dB		

周波数/レベル

測定選択

設定

測定実行

結果保存実行

設定 (1/2)

測定モード

移動平均

平均回数
4

パラメータ

自動検出実行

コンスタレーション

遅延プロファイル

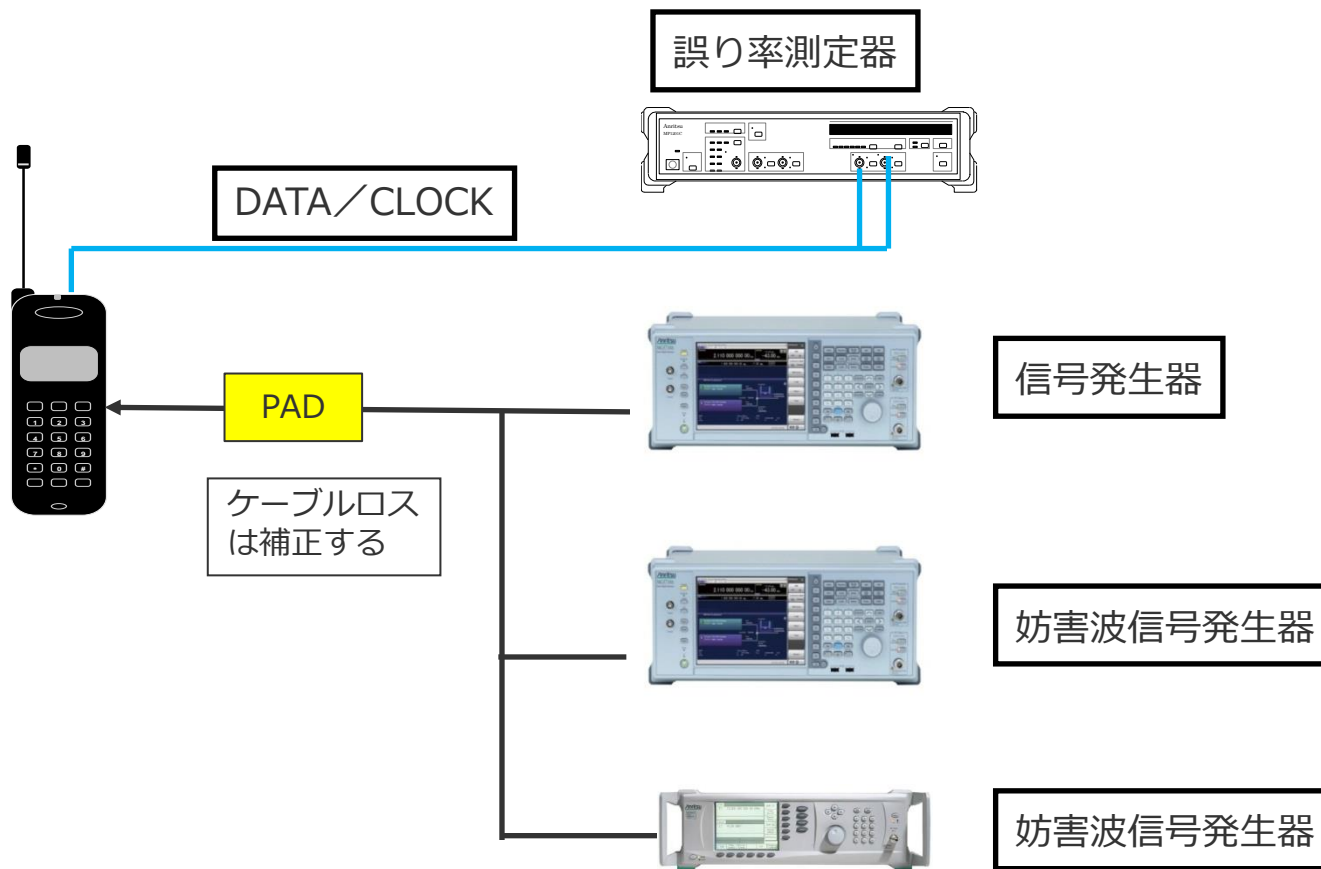
次へ

受信試験項目 例

1. 受信感度
 - ダイナミックレンジ
 - 相互変調特性
 - 隣接チャネル選択度
 - ブロッキング特性
 - 副次発射 (スプリアス)
 - スプリアスレスポンス

デジタル無線の受信感度試験の評価は、誤り率測定器を用いたエラーレートが基準になります。
たとえば携帯電話ではエラーレートが1/100 (100ビット送ってエラーは1ビットまで)になる、受信レベルを感度として規定しています。

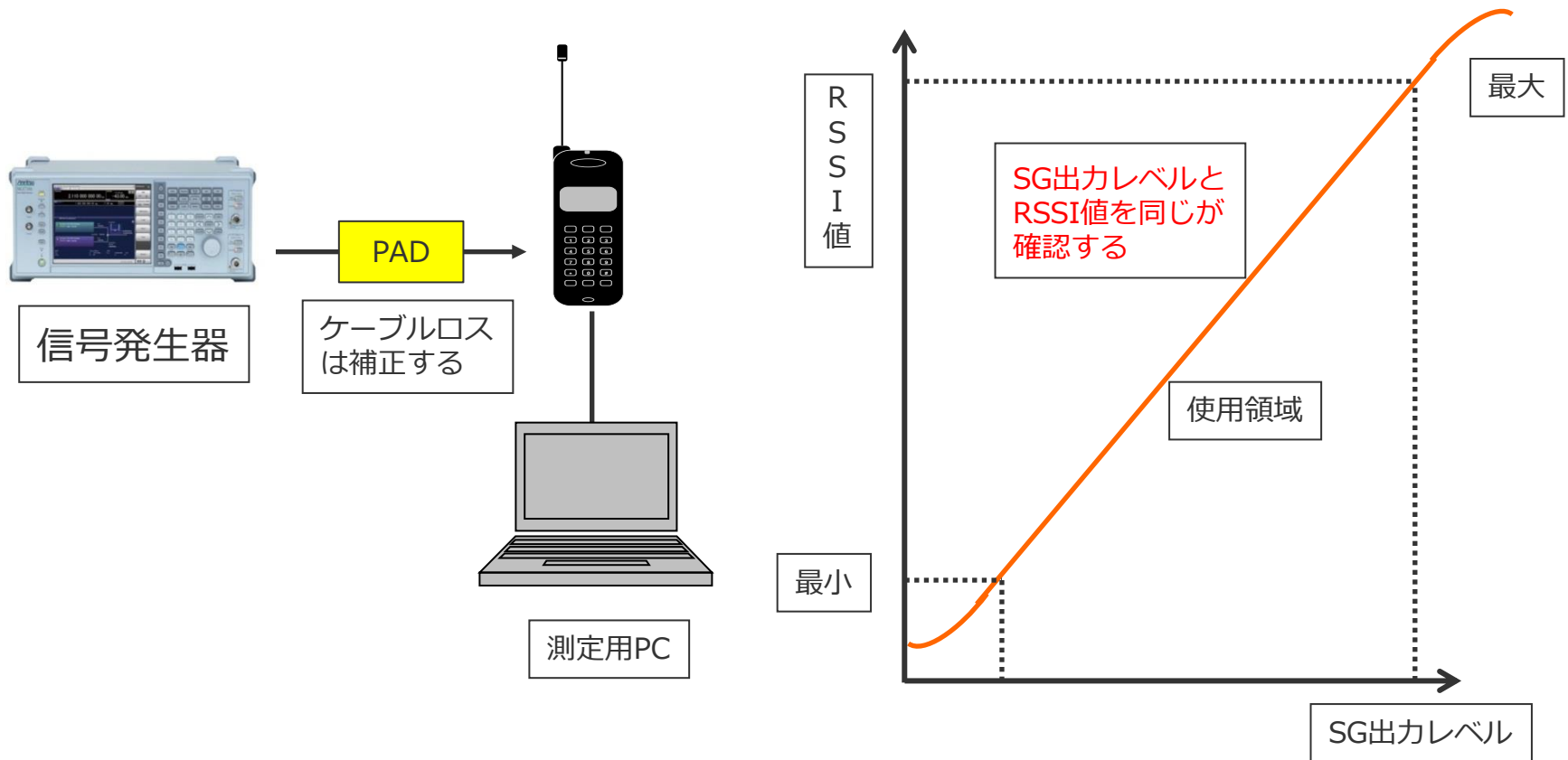
受信試験構成 例



RSSI 書き込み (Received Signal Strength Indicator)

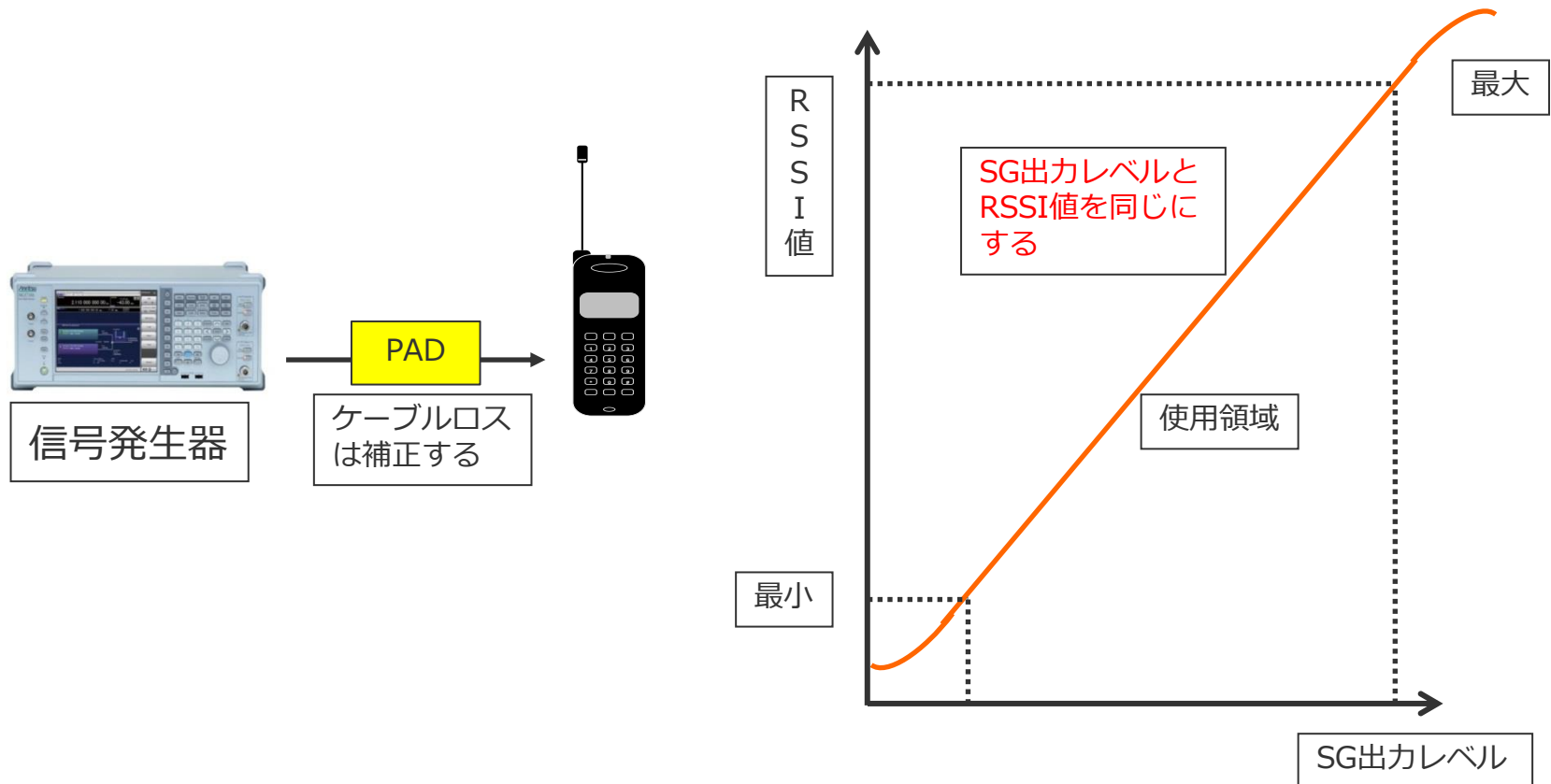
無線通信機器の受信回路では、組立て直後には、今受信している信号レベルの絶対値がわかりません。

そのため、信号発生器から既知のレベルを入力し、受信回路に絶対値を教えます。値は無線機のメモリーに格納します。



RSSI 読み出し (Received Signal Strength Indicator)

書き込んだRSSI値が正しいかどうかを、SGから入力して値をデータで読み出し確認します。

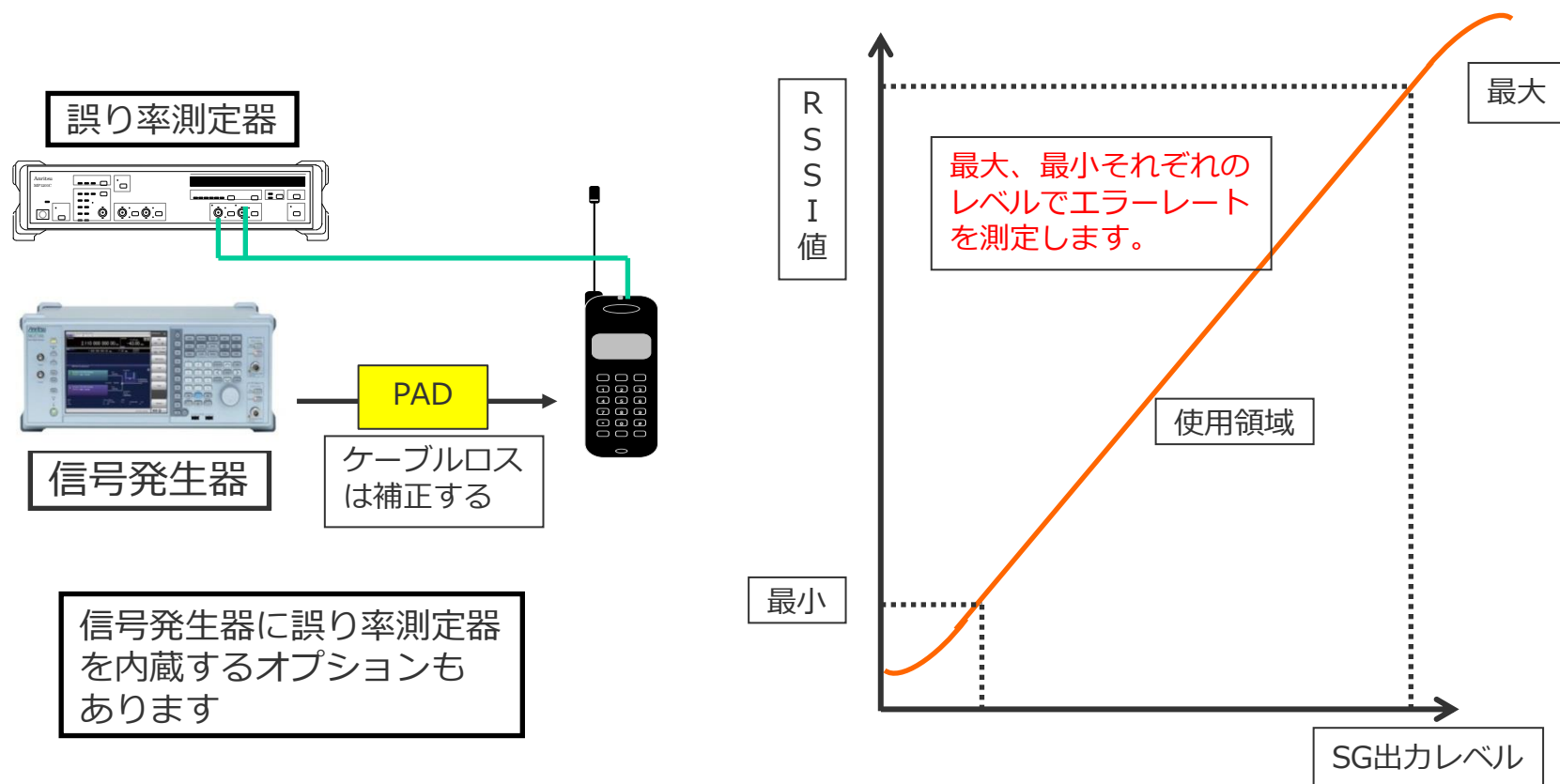


受信感度測定 (受信ダイナミックレンジ)

信号発生器から規格のレベル値を入力し、エラーレートが規定の値より良好なことを測定します。

一般的には、最低受信感度ですがまれに過入力にどこまで耐えられるかの最大入力レベルでの測定もあります。

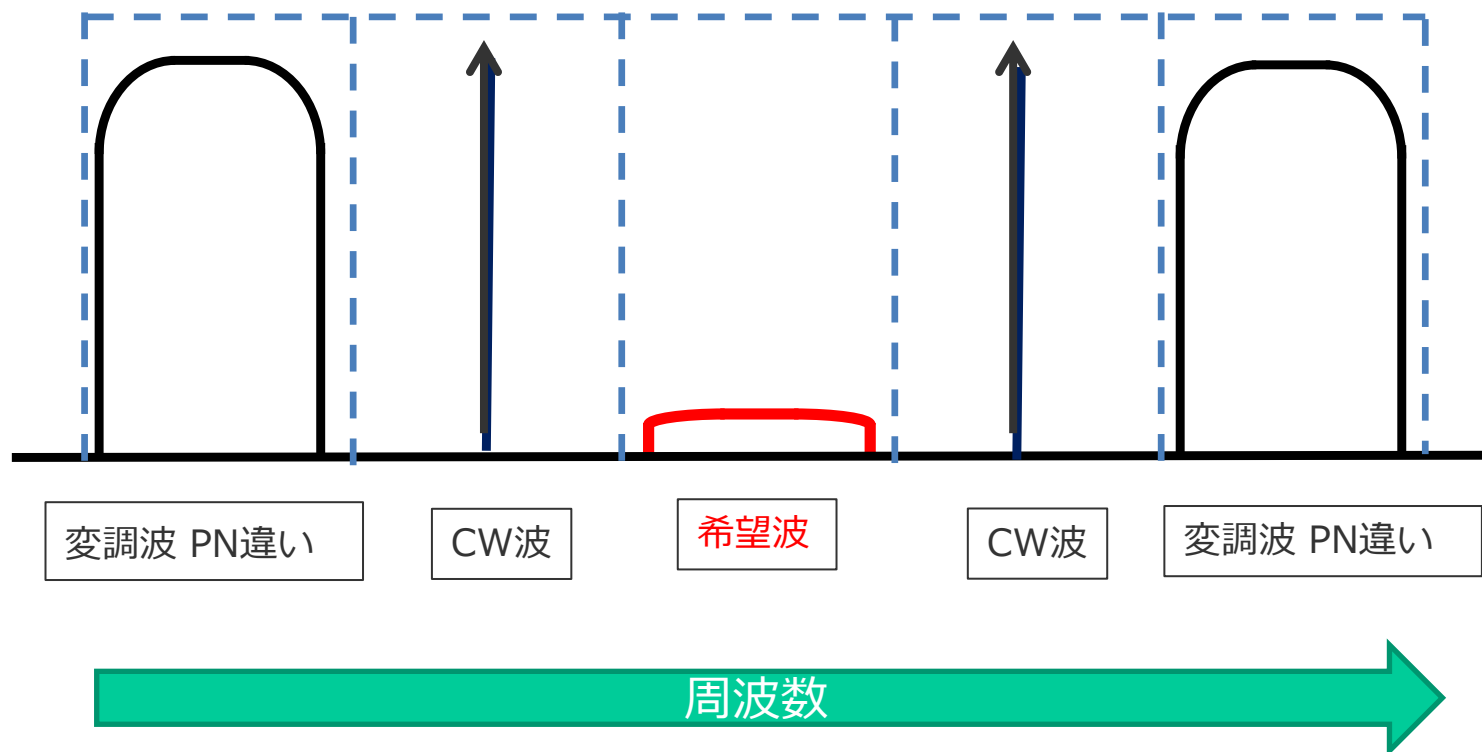
最大-最小の範囲が受信ダイナミックレンジになります。



相互変調特性

3信号試験とも呼ばれます。

次隣接にCW波、次々隣接にPNパターンの異なる妨害波を入力して感度の悪化を測定します。

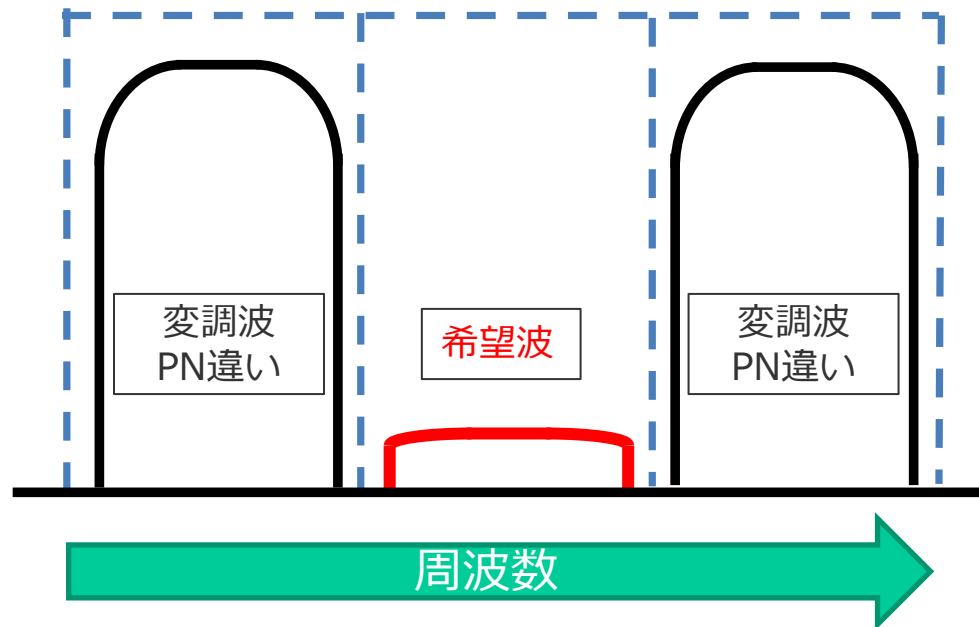


隣接チャネル選択度

2信号試験とも呼ばれます。

次隣接にPNパターンの異なる妨害波を入力します。

希望波は基準感度+3dBに設定し、妨害波のレベルを上昇させて規定の誤り率の時の、信号レベル差を測定します。

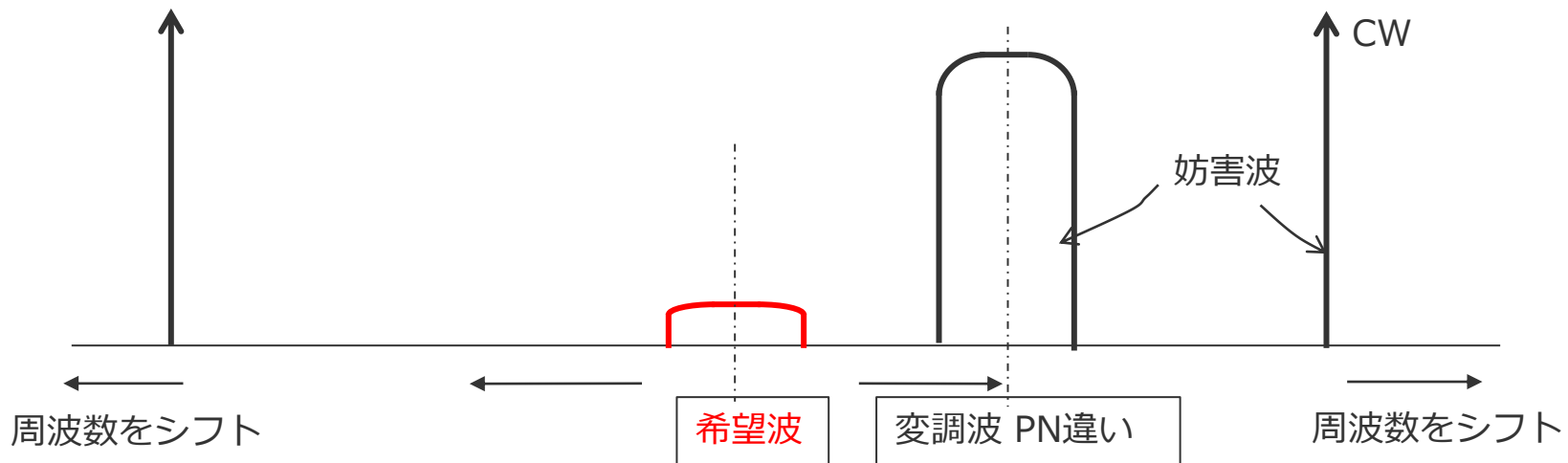


ブロッキング特性

次隣接や次々隣接ではなく、広い範囲に妨害信号を入力し妨害による感度悪化がないかを測定します。

近い範囲は変調波（PNパターン違い）、遠い範囲はCW波で測定します。

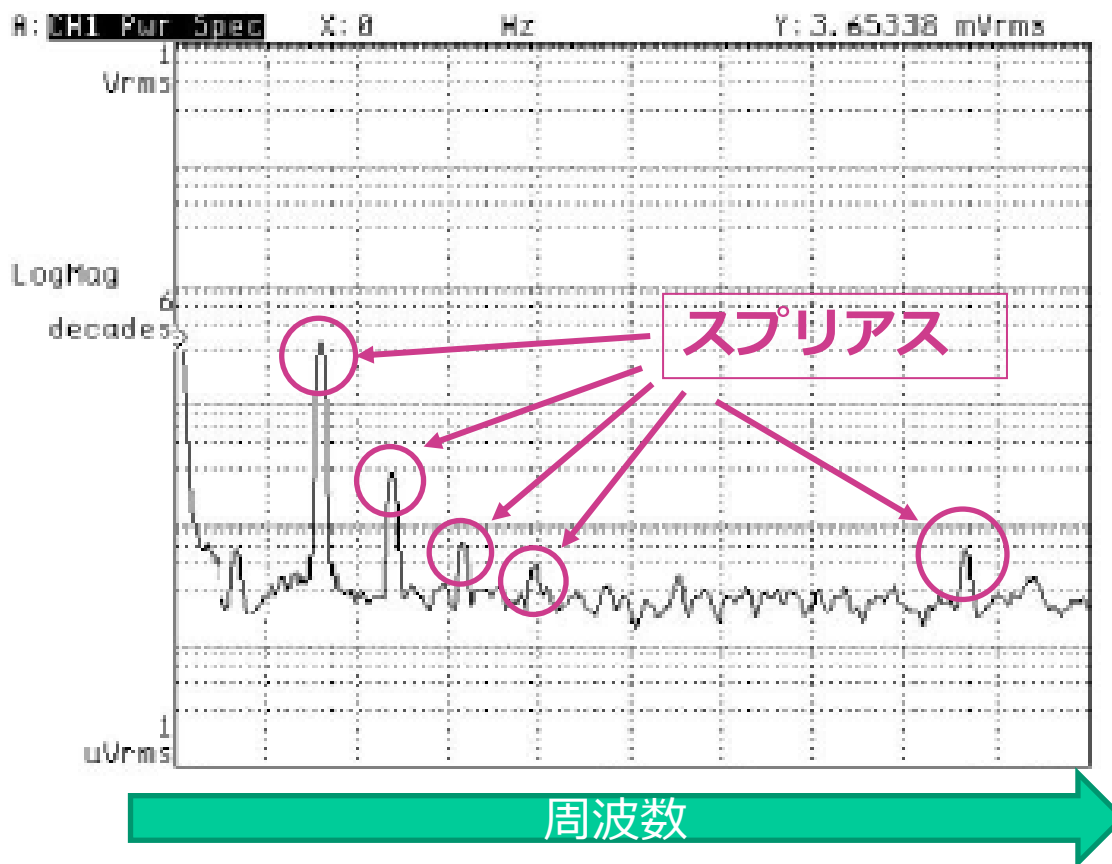
無線の測定でもっとも時間のかかる測定項目です。



副次的に発する電波の強度

副次的ということとは、送信ではない、つまり受信や待ち受け状態で無線機内部の水晶発振器やCPUのCLOCKが電波として外部に漏れていないかということです。

測定法は送信のスプリアスと同じになります。



伝送路試験項目 例

1.電界強度

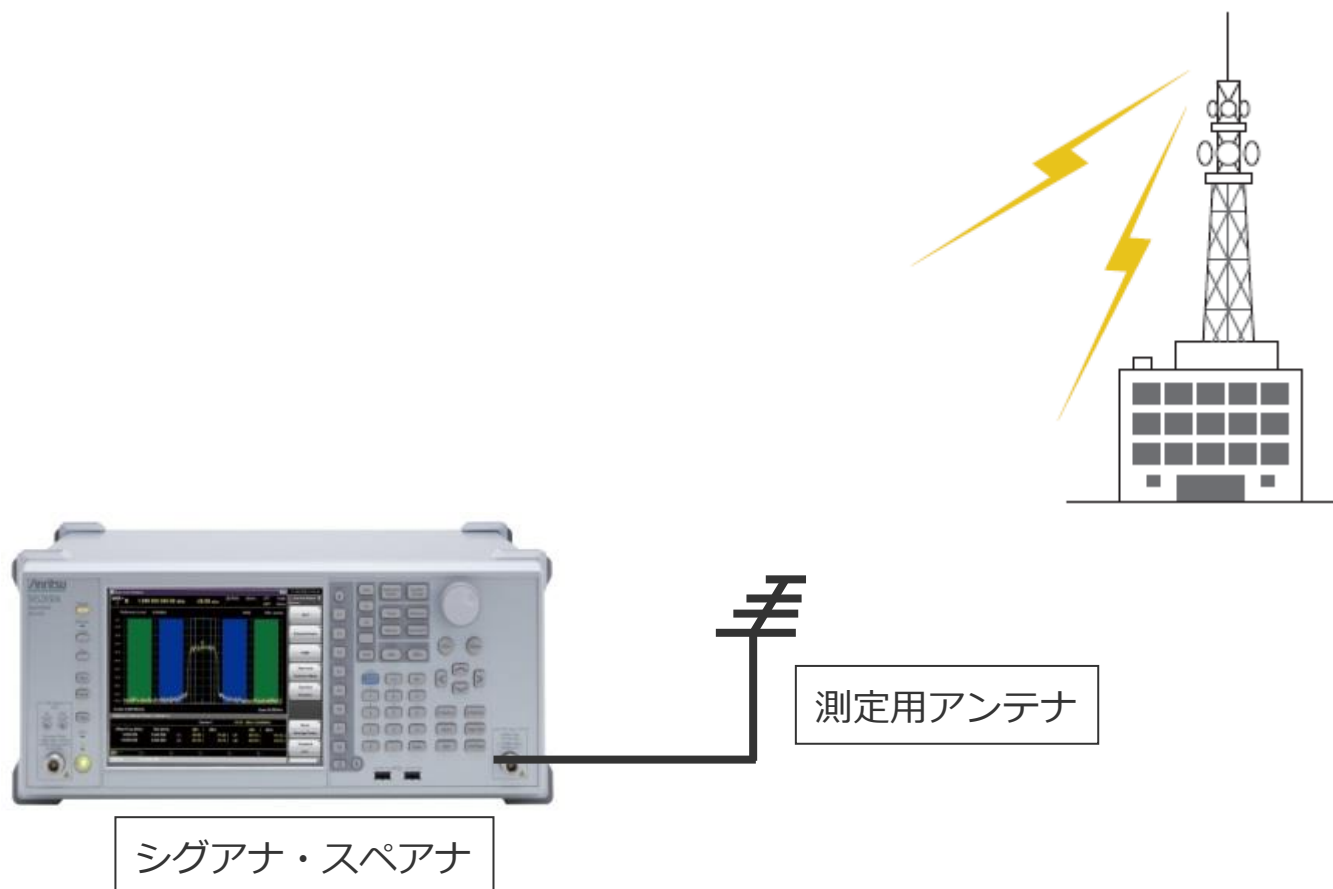
電界強度 (RSSI)

2.アンテナ・ケーブル測定

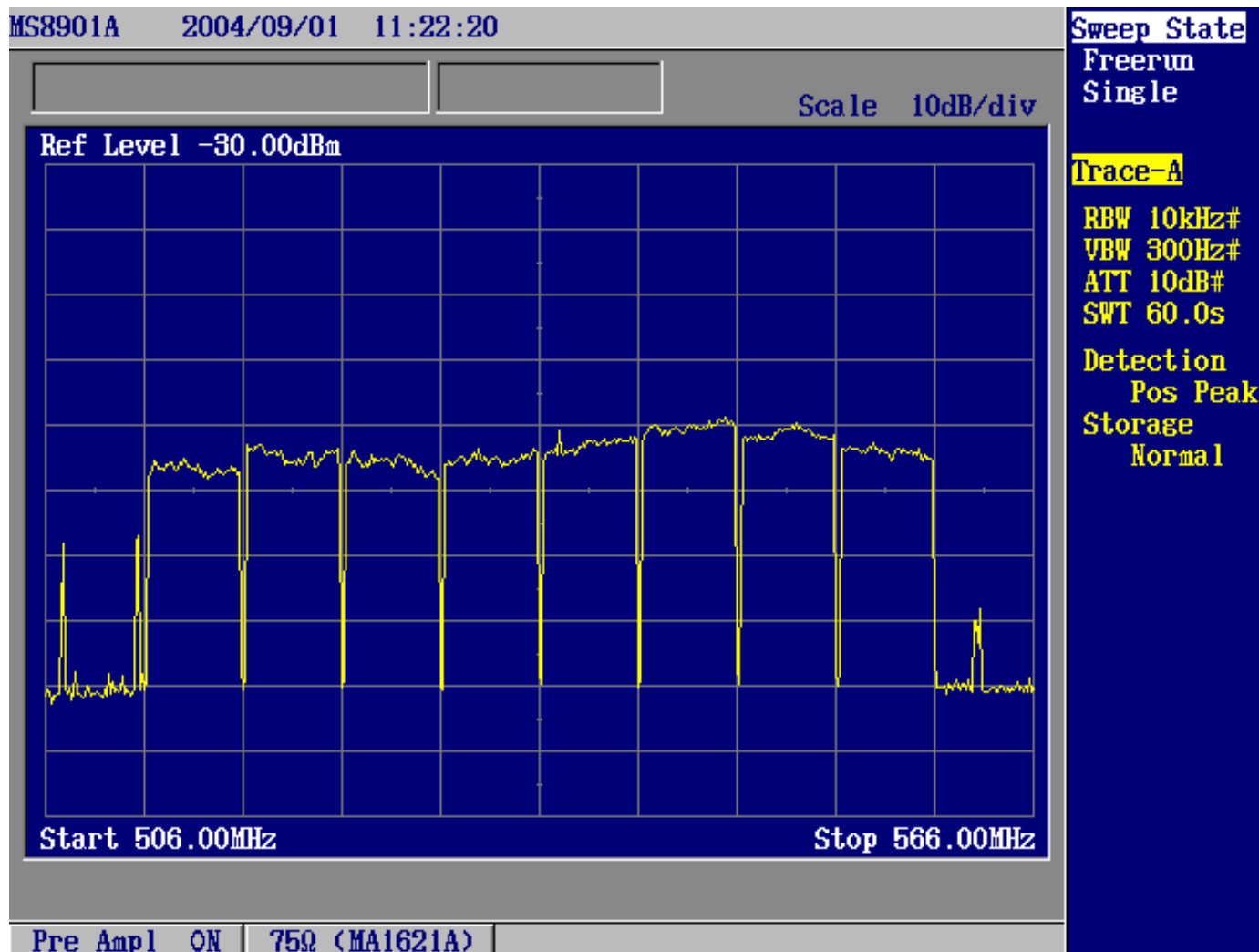
DTF測定 : 障害位置検出 Distance-to-Fault

VSWR測定 : 定在波 Voltage Standing Wave Ratio

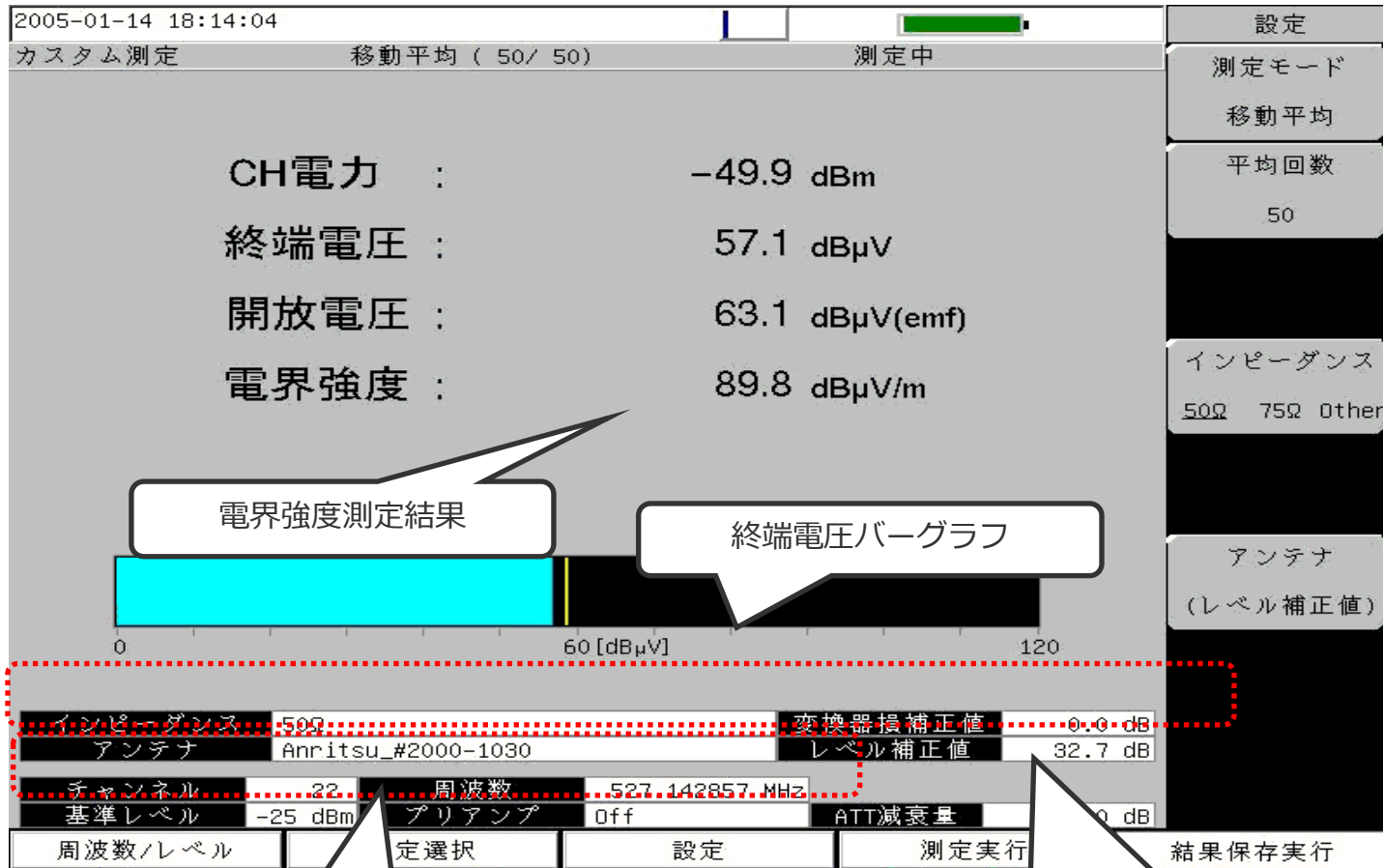
電界強度測定構成 例



電界強度測定 地デジ信号のスペアナでの測定例

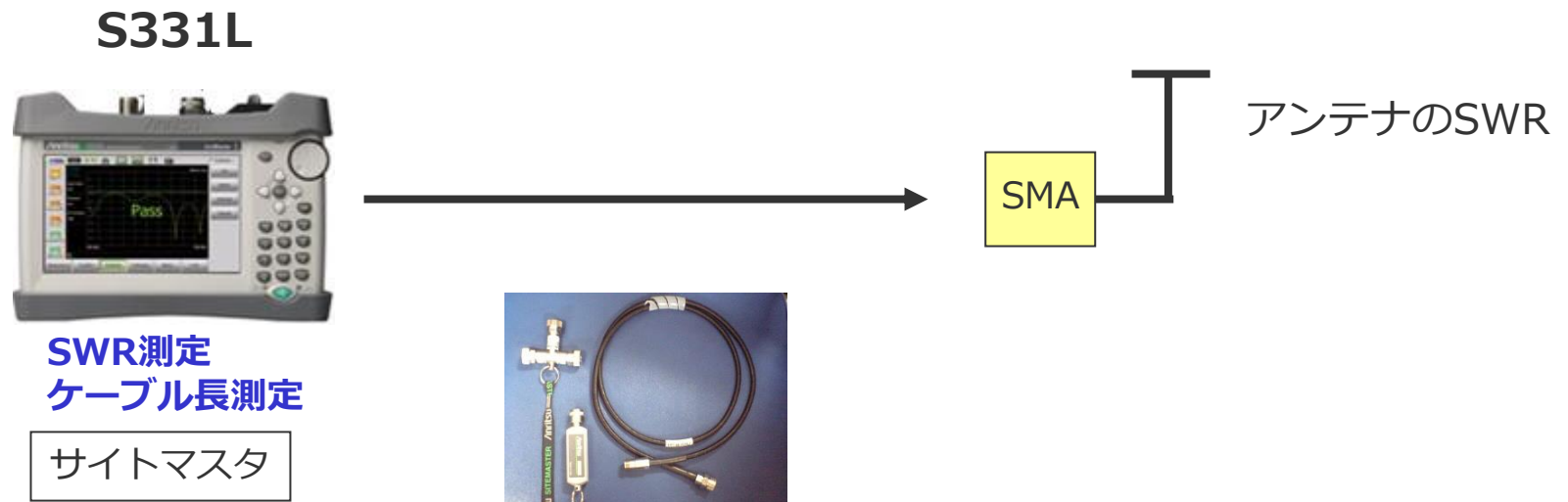


電界強度測定 地デジ信号の地デジアナライザでの測定例

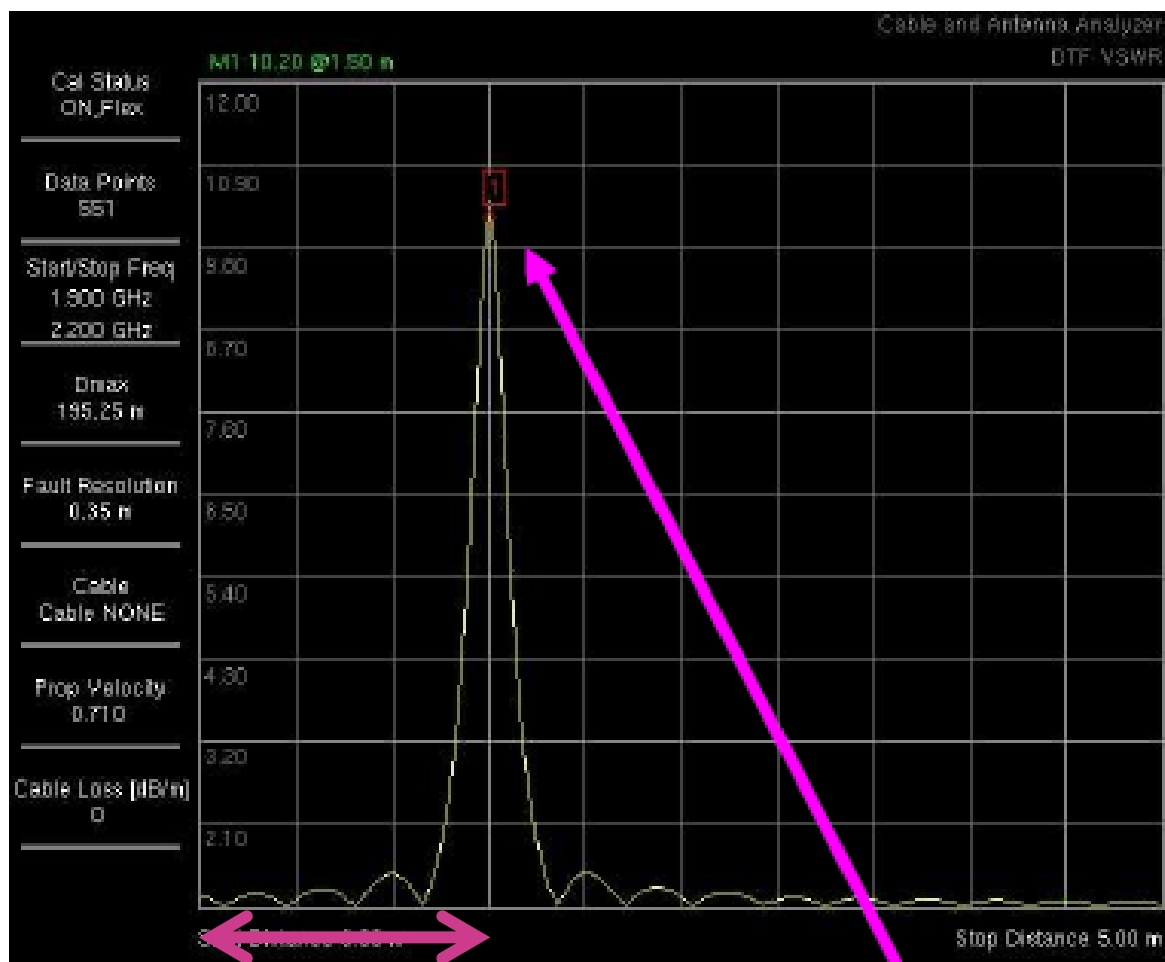


電界強度の設定
 ※「レベル補正值」はアンテナ係数と周波数から自動的に求められます。

アンテナ・ケーブル測定構成 例



サイトマスタ ケーブル測定 DTF 例



ケーブル長さ

障害点 or ケーブル端

リターンロスとVSWR

VSWRの値が悪くなるということは、反射がありリターンロスがあるということであり下記の関係が成り立ちます。

● リターンロス

反射係数 Γ (ガンマ) の絶対値 $|\Gamma|$ を対数で表した物

$$\text{リターンロス} = 20 \times \text{Log} |\Gamma| \quad [\text{注: 反射係数を } \rho \text{ (ロー)} \text{ と呼ぶ場合もある}]$$

$$\text{例 } -20\text{dB} = 20 \times \text{Log} |\Gamma| \quad \Gamma = 0.1$$

● VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

電圧定在波比 = 入射波と反射波の電圧の比

$$\begin{aligned} \text{VSWR} &= (\text{入射波} + \text{反射波}) / (\text{入射波} - \text{反射波}) \\ &= (1 + |\Gamma|) / (1 - |\Gamma|) \end{aligned}$$

例 リターンロス-20dB、 $\Gamma = 0.1$ の時

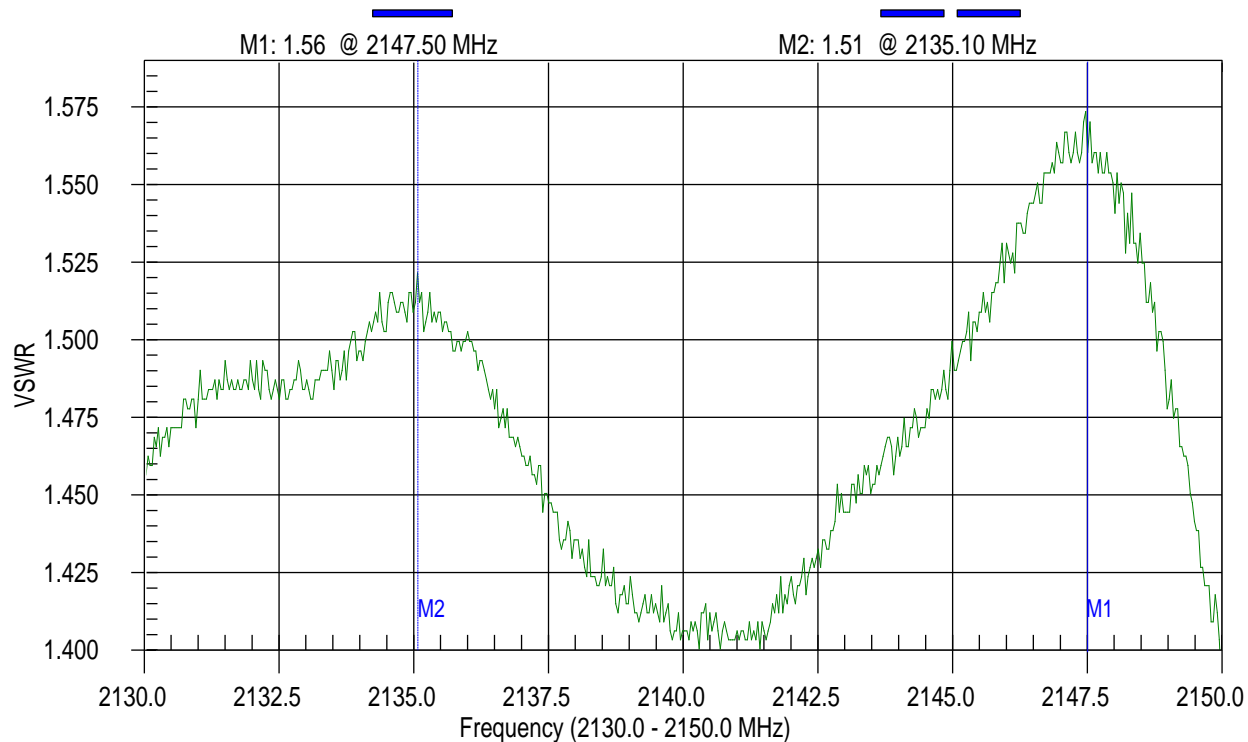
$$\text{VSWR} = (1 + 0.1) / (1 - 0.1) = 1.1 / 0.9 = 1.222$$

サイトマスタ アンテナVSWR測定 例

VSWR測定データ

VSWR

SWR2130-2150



Resolution: 517
BiasTee: OFF
Date: 02/15/2001
Model: S331B

CAL: ON(COAX)
Output Power: -30.00 dBm
Time: 10:44:49
Serial #: 00948101

