

高速・広帯域通信時代の最新ノイズ測定技術



テクトロニクス・イノベーション・フォーラム2012
中塚 修司

www.tektronix.com/ja

様々なノイズの種類

■ 外部ノイズ

– 電源ノイズ

• AC電源

- モータ、発電機、変圧器

• DC電源

- スイッチング・レギュレータ

– 開閉器ノイズ

- アーク放電、突入電流

– 雷サージ

- 静電気放電、誘導雷

■ 電波(無線通信)干渉

- EVM: Error Vector Magnitude

- APD: Amplitude Provability Distribution

■ 内部ノイズ(イントラEMC)

- 熱雑音 (ホワイト・ノイズ)

- ショット・ノイズ (微小電流の揺らぎ)

- フリッカ・ノイズ (1/fノイズ、ピンク・ノイズ)

- バースト・ノイズ (ポップコーン・ノイズ)

- アバランシェ・ノイズ (ツェナー振動)

■ PCBのノイズ

- 信号品質 SI Signal Integrity

- 電源品質 PI Power Integrity

- グラウンド・バウンス、リンギング

- クロストーク、チャージ・インジェクション

- SSO(CMOS同時スイッチング)ノイズ

■ コモン・モード・ノイズ

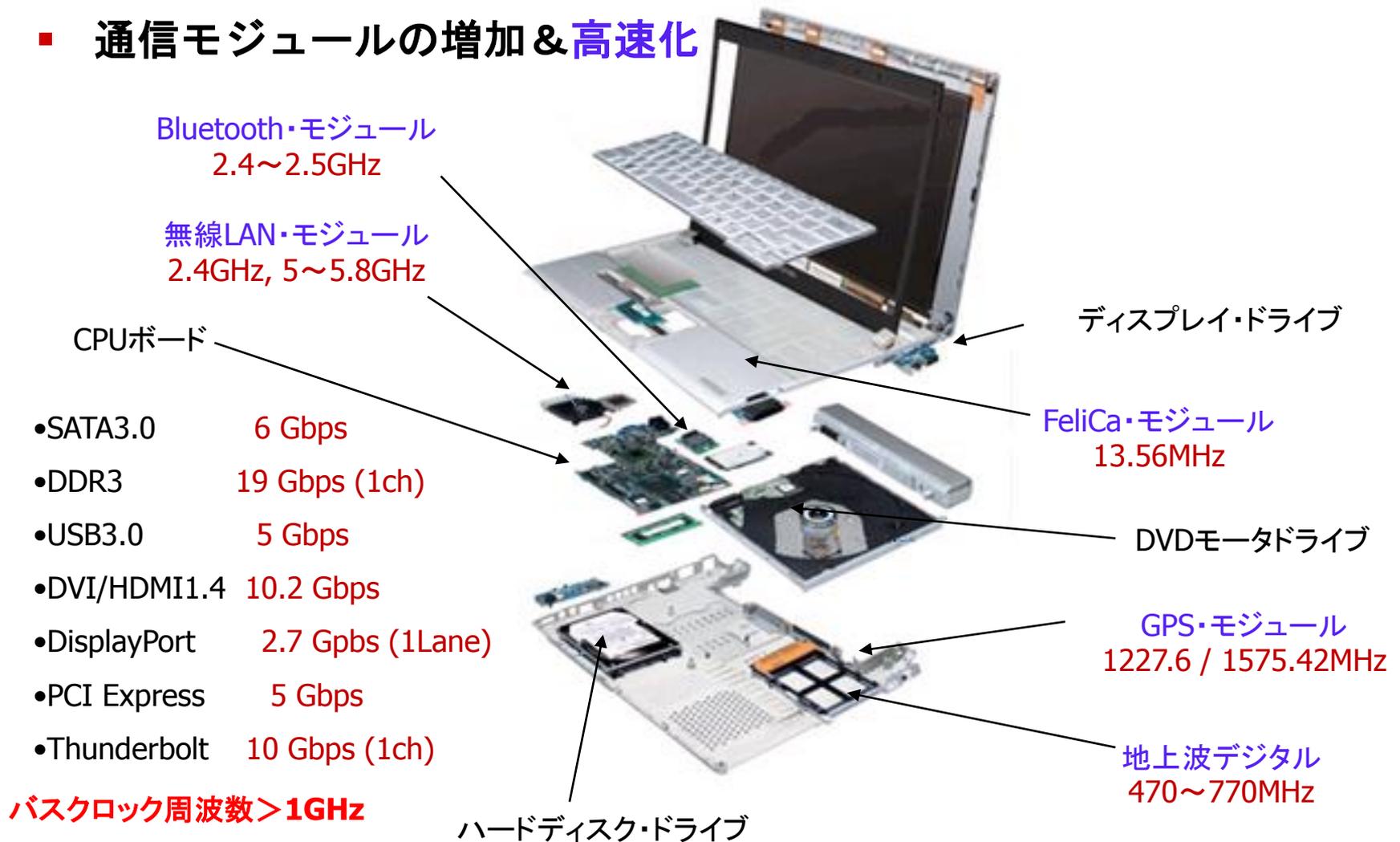
- 高速差動伝送、プレーン共振

■ 位相ノイズ

- クロック・ジッタ

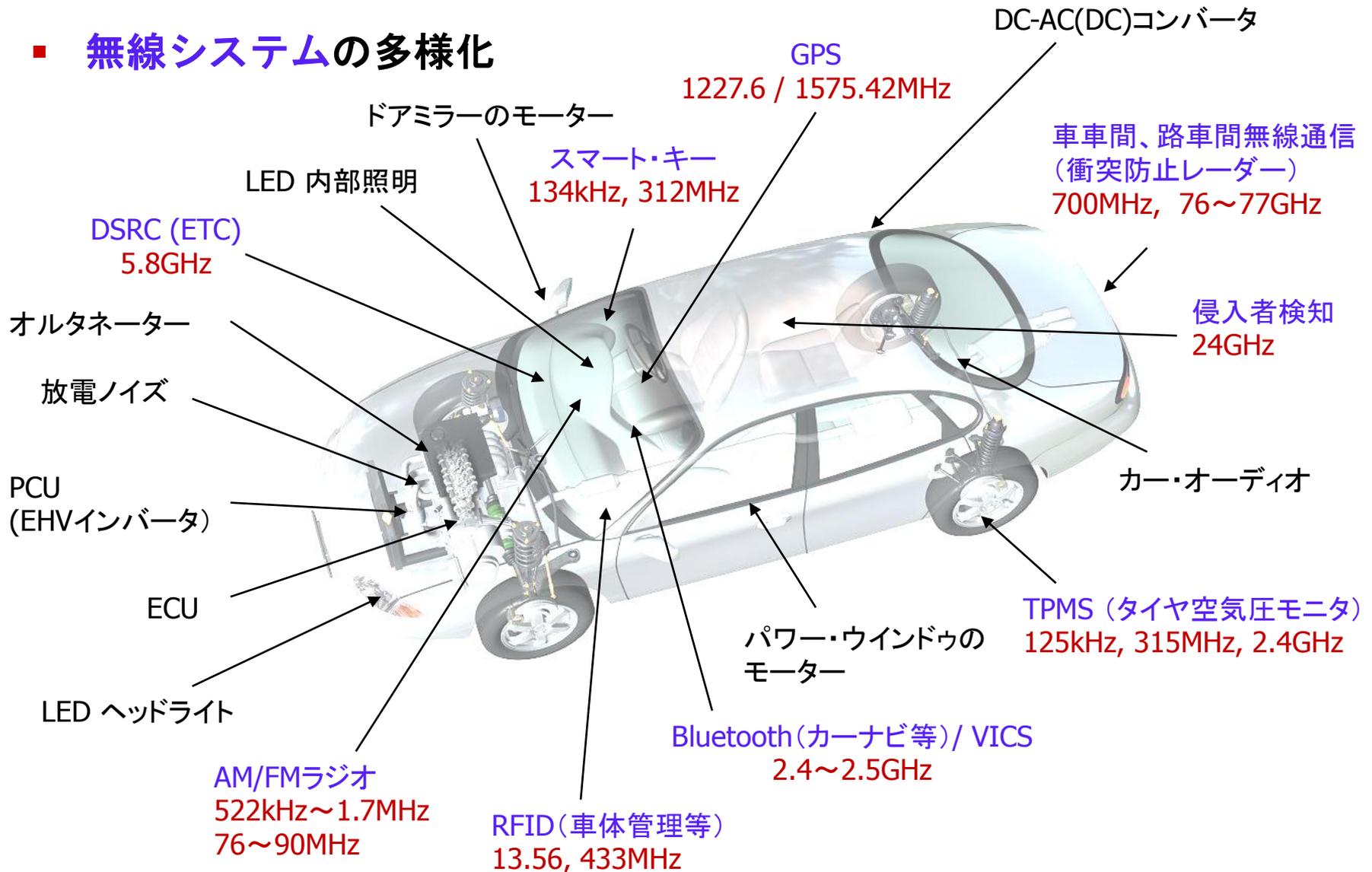
PCのノイズ環境

■ 通信モジュールの増加 & 高速化



自動車のノイズ環境

無線システムの多様化



現代のノイズ環境

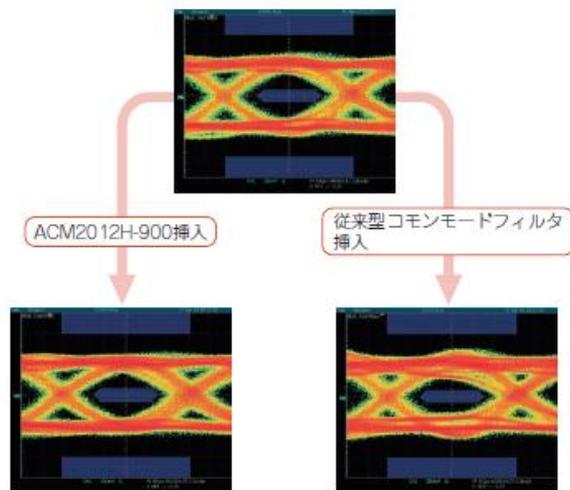
- 民生品の無線機器の増加
 - RFID,無線LAN, Bluetooth, GPS, 地上波デジタル放送・チューナー
 - スマート・メータ(スマート・グリッド)
- 高密度実装
 - GNDプレーンの減少
 - 回路のアイソレーション低下
 - 複数の発振無線回路をメイン・ボードに実装
 - モーター回路(DVDなど)の増加
- 省エネ・環境対策
 - インバータ
 - スイッチング電源、IGBT
- LSIの高速化
 - CPU, Memoryの動作周波数高速化
 - CPU, Memoryの動作電圧の低下

コモンモード・ノイズ

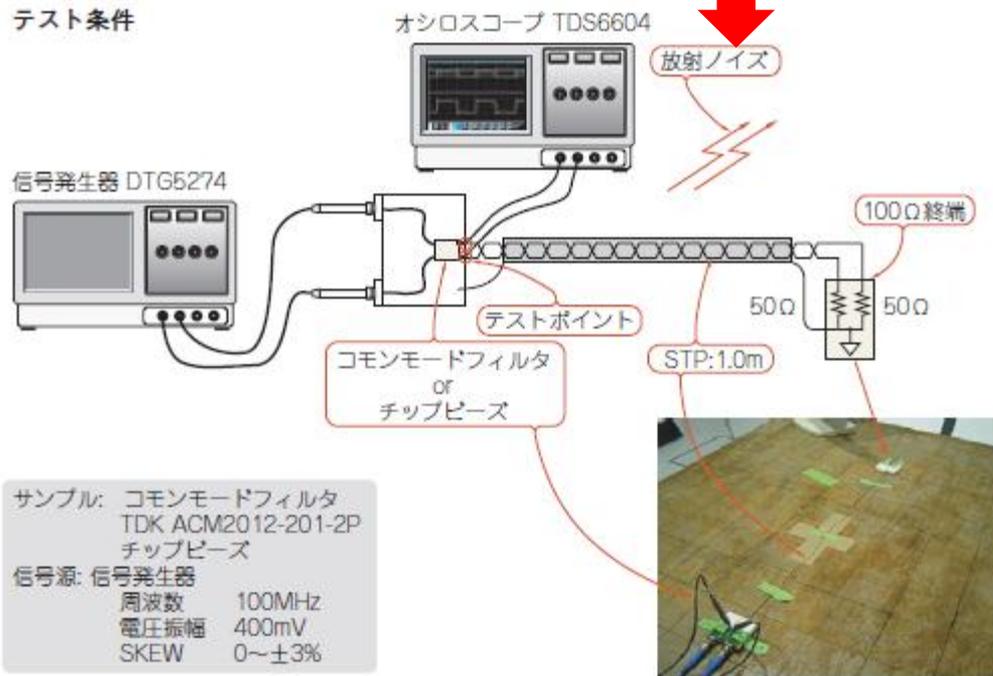
- ギガビット高速差動伝送
- 放射ノイズの発生要因(D+とD-のアンバランス)
 - 位相のずれ(スキュー)
 - 立上がり・立下り時間のずれ
 - 電位差
 - パルス幅の違い

D+,D-アンバランス大 ⇒ 不要輻射大

(a) HDMIの波形

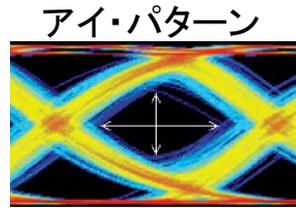


テスト条件



出典: TDK EMC Technology
コモン・モード・フィルタの使い方

位相ノイズ測定



RSA6120A-op11 位相ノイズ測定 100Hz~10MHzのTIE測定の例

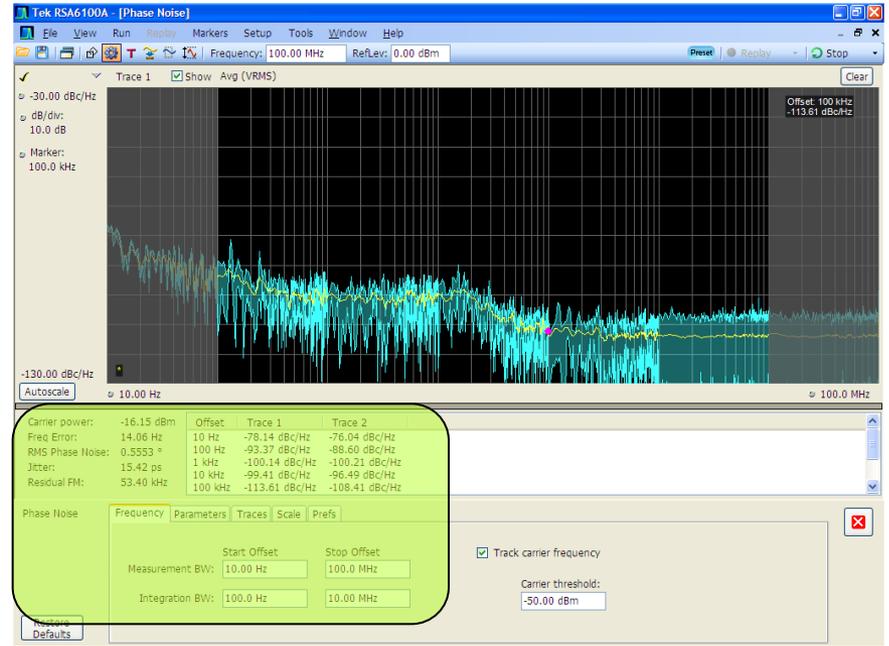
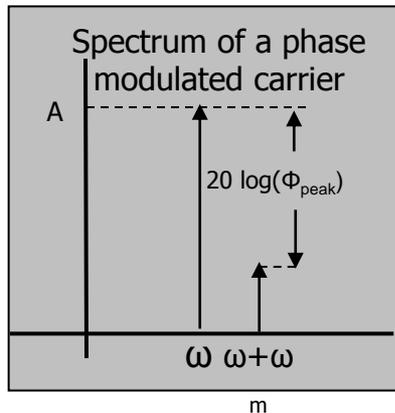
■ 位相ノイズとジッタの関係

- スペアナの位相ノイズ測定はオシロのTIEジッタ測定と等価。
TIE: Time Interval Error
- スペアナではfs(フェムト秒)オーダーのTIEを測定することができる

Example :

A spurious signal has an amplitude of -20 dB relative to the carrier and an offset frequency of 100KHz. The carrier is at 2.5 GHz.

$$T_{\text{peak}} = \frac{10^{(-20/20)}}{2\pi f} = 6.36 \text{ Ps}$$



Carrier power:	-16.15 dBm	Offset	Trace 1	Trace 2
Freq Error:	14.06 Hz	10 Hz	-78.14 dBc/Hz	-76.04 dBc/Hz
RMS Phase Noise:	0.5553 °	100 Hz	-93.37 dBc/Hz	-88.60 dBc/Hz
Jitter:	15.42 ps	1 kHz	-100.14 dBc/Hz	-100.21 dBc/Hz
Residual FM:	53.40 kHz	10 kHz	-99.41 dBc/Hz	-96.49 dBc/Hz
		100 kHz	-113.61 dBc/Hz	-108.41 dBc/Hz

	Start Offset	Stop Offset
Measurement BW:	10.00 Hz	100.0 MHz
Integration BW:	100.0 Hz	10.00 MHz

無線通信の進化 → 測定機器に求められる要件

- 802.11AC (無線LAN)

- 2.4GHz 5GHz
- 最大7Gbps
- 160MHz帯域幅



6GHz以上の測定器
高時間分解能の測定器
広取込帯域の測定器

- 802.11AD, WirelessHD, UWB

- 60/70GHz 近距離通信
- 1~2GHz帯域幅



ミリ波測定器

- ZigBee(スマート・グリッド)

- 1チップ < \$2.5



ロー・コストな測定器

- Bluetooth

- FHSS(周波数ホッピング)
- AFH(Adaptive FH: 適応型周波数ホッピング)



広帯域なリアルタイム測定器

- 4G LTE-Advanced (携帯電話)

- 1Gbps
- 100MHz帯域幅



広取込帯域の測定器

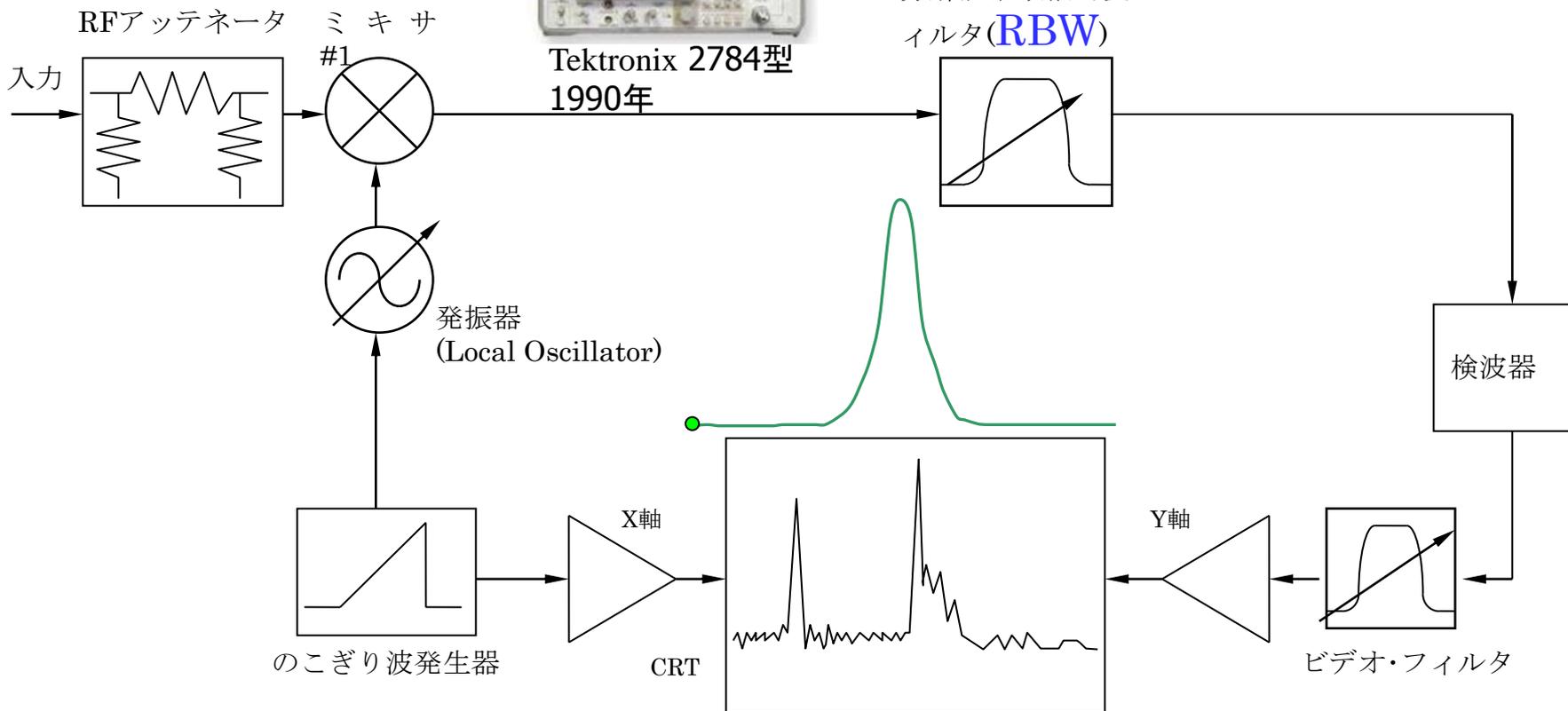
掃引型スペアナの基本構造

スーパー・ヘテロダイン



Tektronix 2784型
1990年

分解能帯域幅 (RBW) は
1Hz ~ **最大でも10MHz程度**



周波数掃引

掃引速度は
最速でも1ms/スイープ

分解能帯域幅 (RBW) を1/2に
すると、掃引時間は4倍必要

周波数計測の性能比較

ダイナミック・レンジと感度

掃引型

スペクトラム・アナライザ

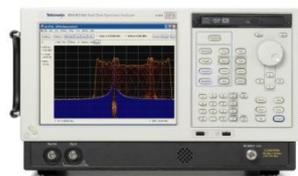


取込帯域幅10 MHz

高い

FFT方式

リアルタイムSA



取込帯域幅110 MHz

時間分解能 6.7ns=150Mps

狭い ←

取込帯域幅

→ 広い

遅い ←

時間分解能

→ 速い

FFT方式

ベクトル・シグナル・アナライザ



取込帯域幅40 MHz

FFT方式

ミクスド・ドメイン・オシロスコープ

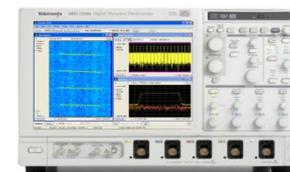


取込帯域幅 >1GHz

時間分解能 100ps=10Gps

FFT方式

オシロスコープ+SignalVu



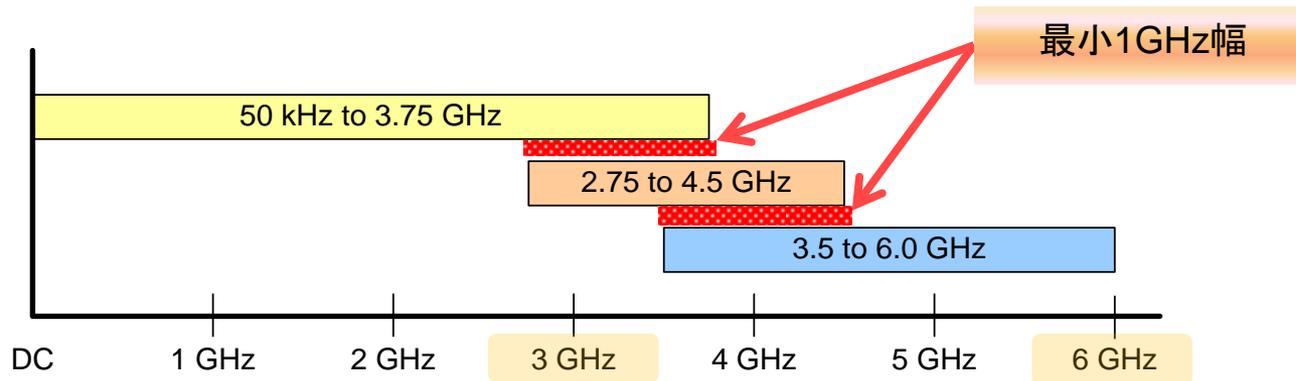
取込帯域幅33GHz

時間分解能 10ps=100Gps

低い

MDO4000シリーズのアーキテクチャ

- スペアナは3GHzと6GHzの2機種



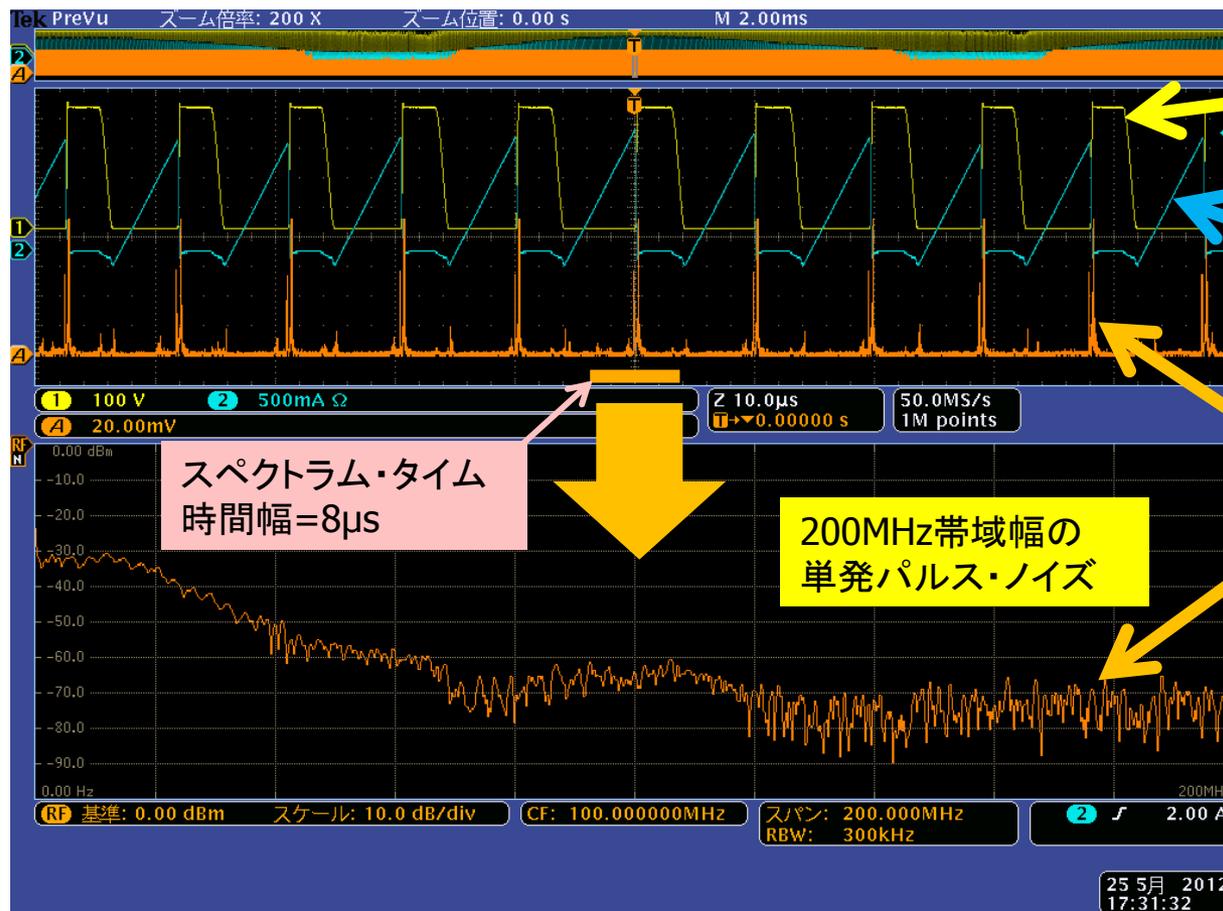
- どの中心周波数でも**最小1 GHzの取込帯域をサポート**
 - 3GHzのスペアナは**3 GHz**の取込帯域をサポートする
- **3 GHzのスペアナは、ダウンコンバートは行わない**
 - **10 GS/sのA/Dコンバータ**でサンプリングする
 - 測定する中心周波数によって使うバンドが決定される
- 一般的なスペアナは、通常10 MHzの取り込み帯域幅しかない
 - オプションにより160MHzをサポートするものもあるが高価

MDOによるスイッチング電源のノイズ評価

- パルス・ノイズを放出している時間タイミングは？
- μ 秒以下の単発パルスを広帯域で観測できるか？

PFC

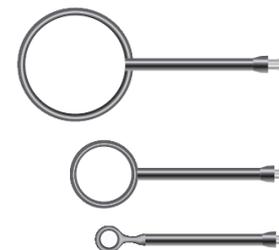
(力率改善回路内蔵電源)



黄色トレース:
PFCのソース・ド
レイン電圧

青色トレース:
PFCのドレイン
電流

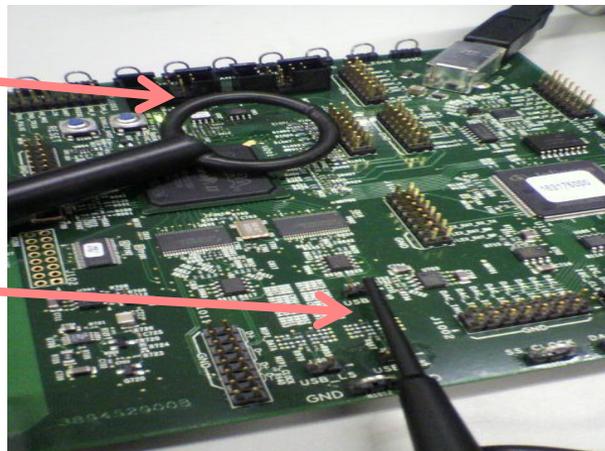
橙色トレース:
近磁界プローブで
検出した放射ノイ
ズ電力



回路基板のノイズ源の特定と対策

近磁界プローブでノイズ源を探
索しスペアナで観測します。

ノイズ発生源と推測される部品
の電圧 vs 時間をMDOのオシ
ロスコープで測定します。



オシロスコープのch1測定

スペアナのゼロ・スパン測定

MDOでオシロとスペアの時間
軸の挙動を同一タイミングで測
定表示します。

ノイズ源となる部品の近傍にパ
ソコンを加える回路変更を行な
いません。

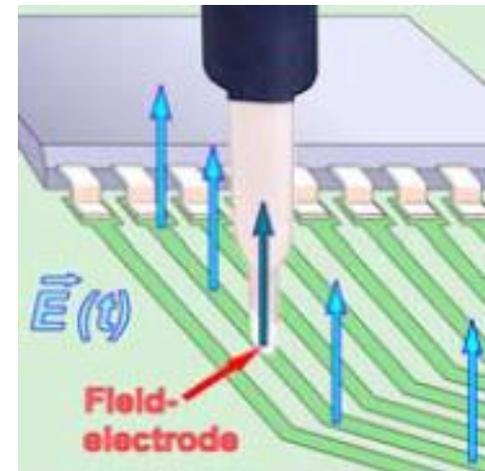
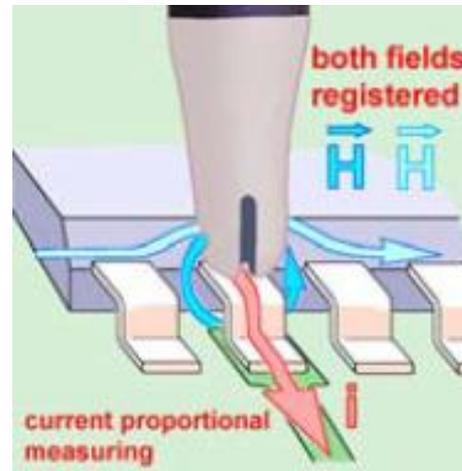


微細ピッチの近接界プローブ

- 30MHz～6GHz
- 0.2mm 空間分解能
- 磁界プローブ(H)
- 電界プローブ(E)



ドイツ LANGER社製



MDOによる超広帯域デジタル通信の復調評価

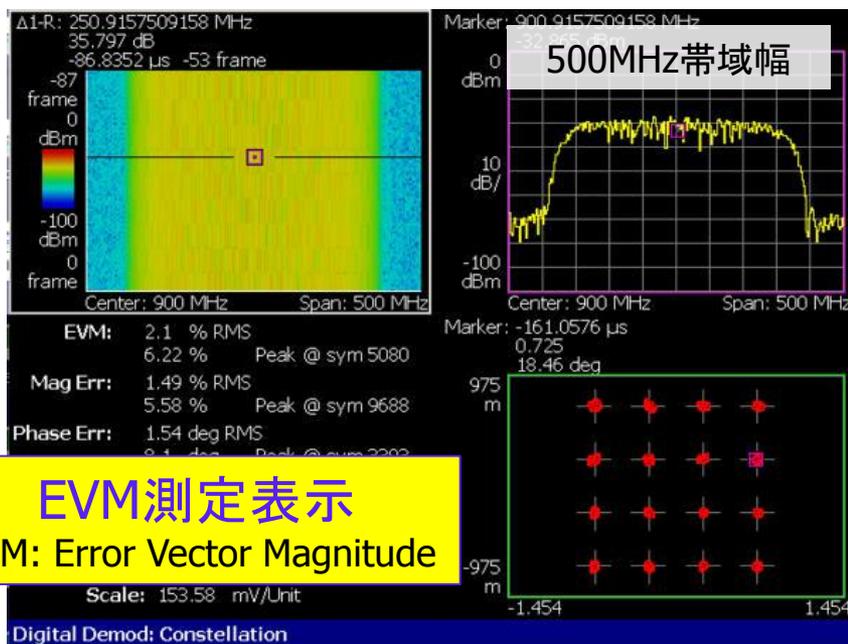
- RSAVu-op.21 (パソコン用) やSignalVu (オシロ用) の有償オフライン・ソフトで汎用デジタル通信の復調が可能
- ~1GHz~3GHzの広帯域通信でも復調可能

振幅対時間

周波数対時間

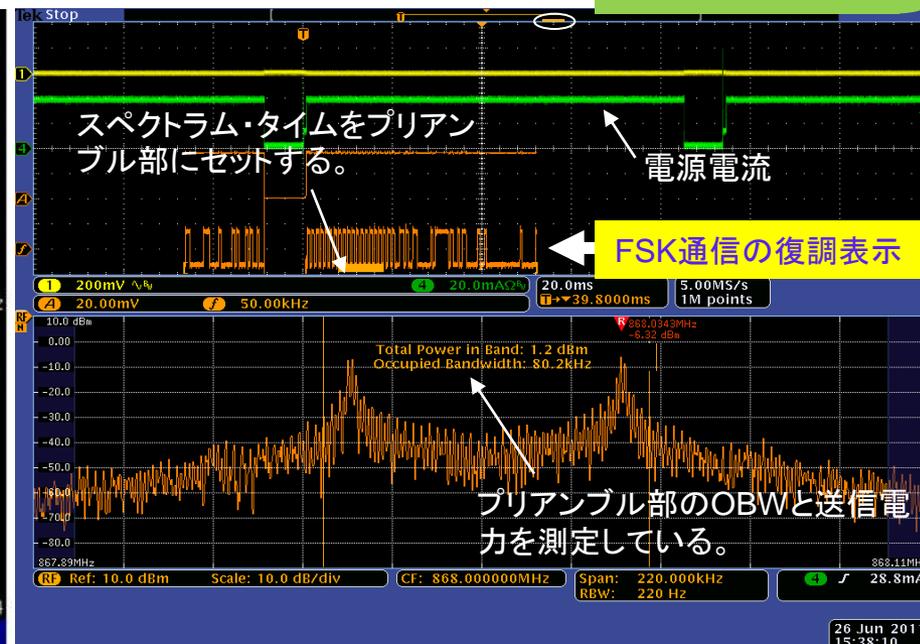
位相對時間

16QAM(振幅&位相)変調



EVM測定表示
EVM: Error Vector Magnitude

FSK変調



MDOは、超広帯域のFM変調波も復調解析可能

- 自動車の衝突防止レーダー

60~80GHz



60GHz 送信モジュール

出典: SPC島田理化工業様



60~80GHz



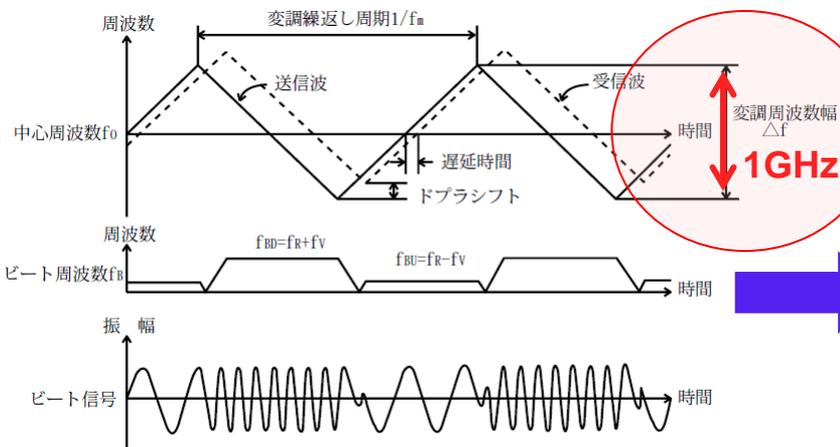
60GHz 受信モジュール

2GHz

受信波

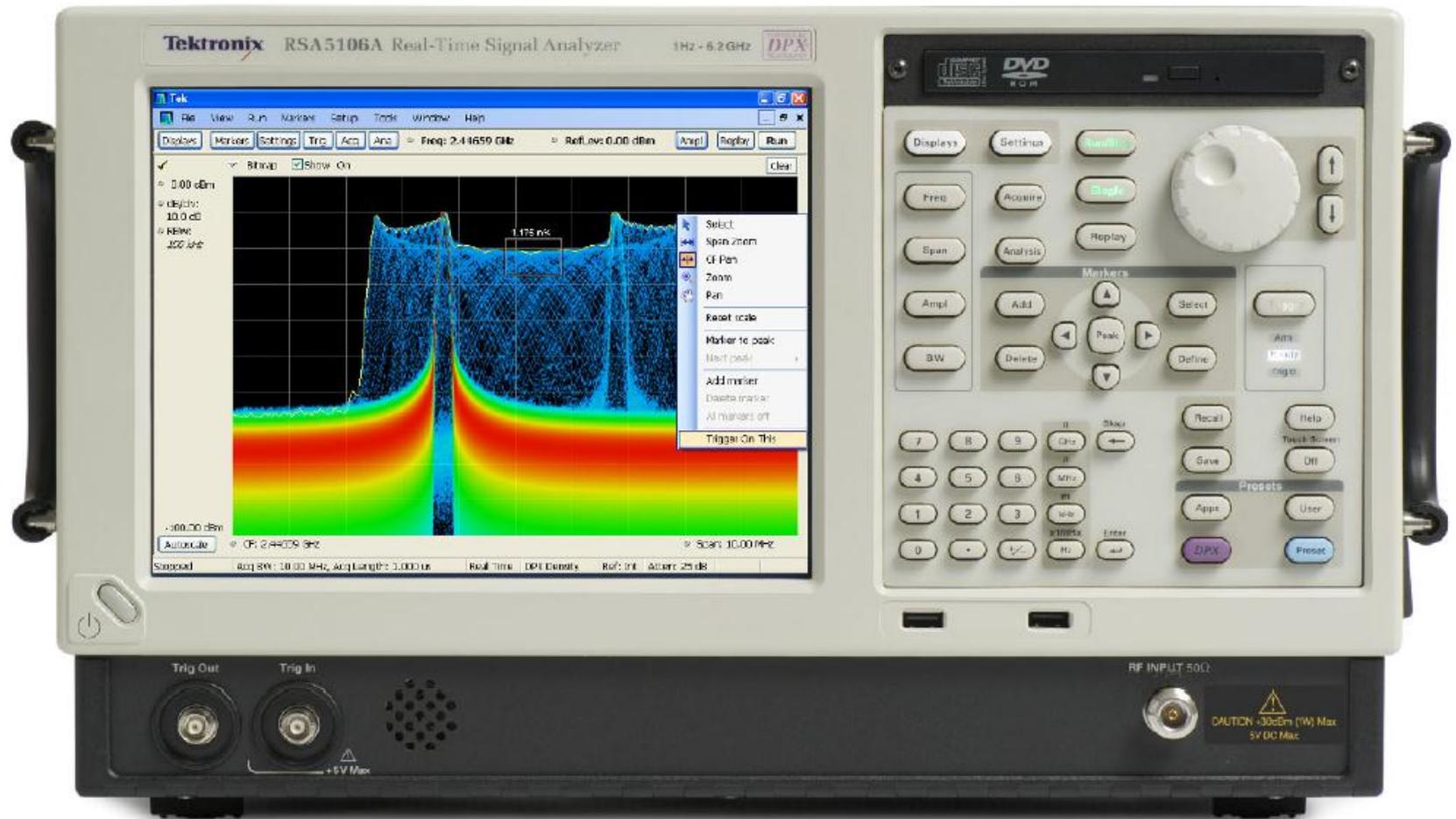
IF: 中間周波数

FM-CW(連続波)変調



出典: 富士通テン技報

Tektronixリアルタイム・シグナル・アナライザ RSA5000A/6000Bシリーズ



RFノイズの「可視化」

DPXライブ表示

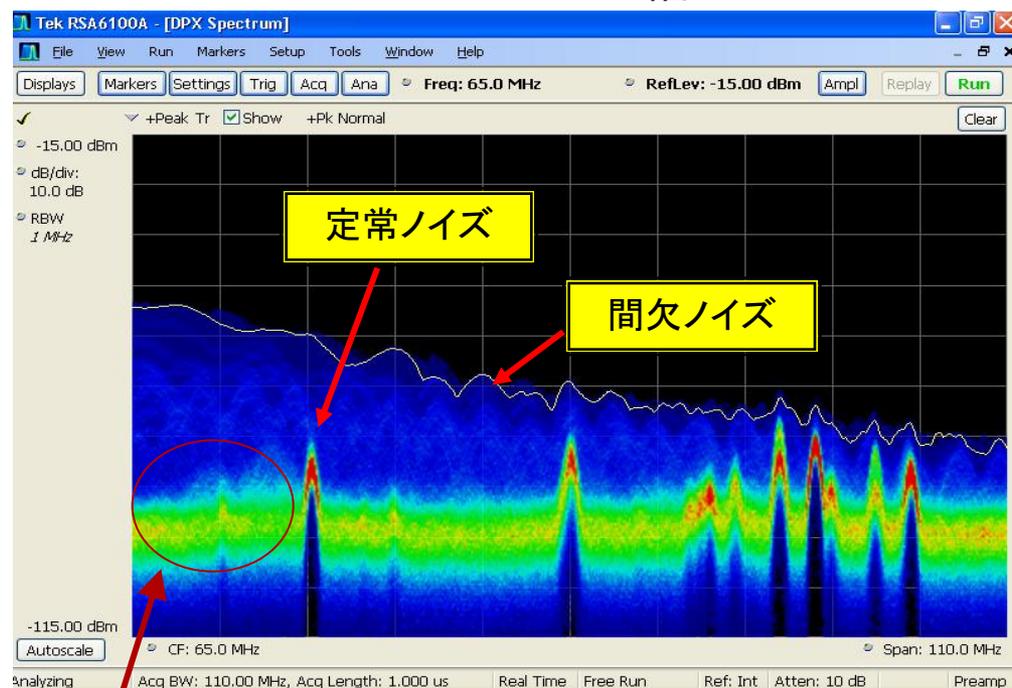
Digital Phosphor Technology

■ スイッチング電源 間欠放射ノイズのDPX観測例

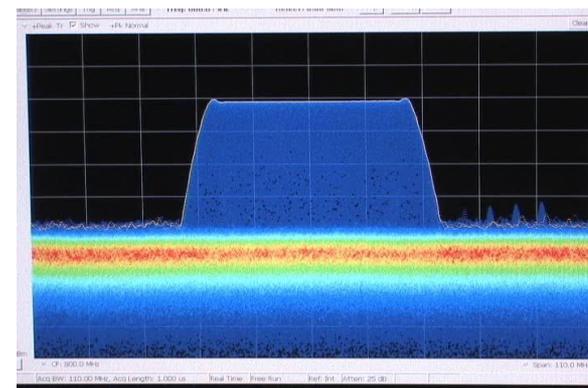
10MHz~120MHz スパン幅110MHz

色表示でスペクトラムの発生頻度を表す。

赤:高頻度 青:低頻度



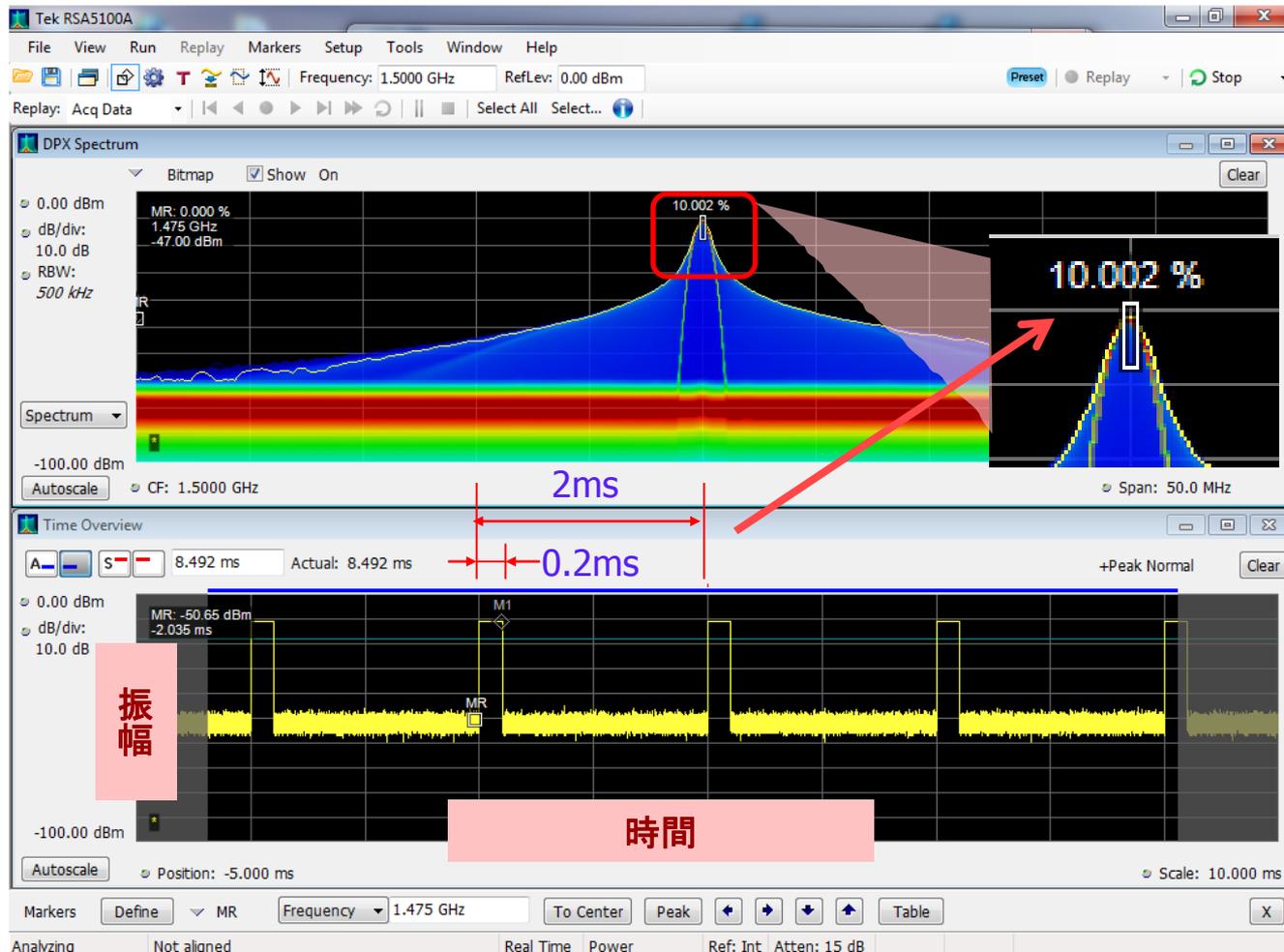
FM波へ侵入する間欠ノイズ



ノイズの電波密度%計測 (最大110MHz帯域幅)

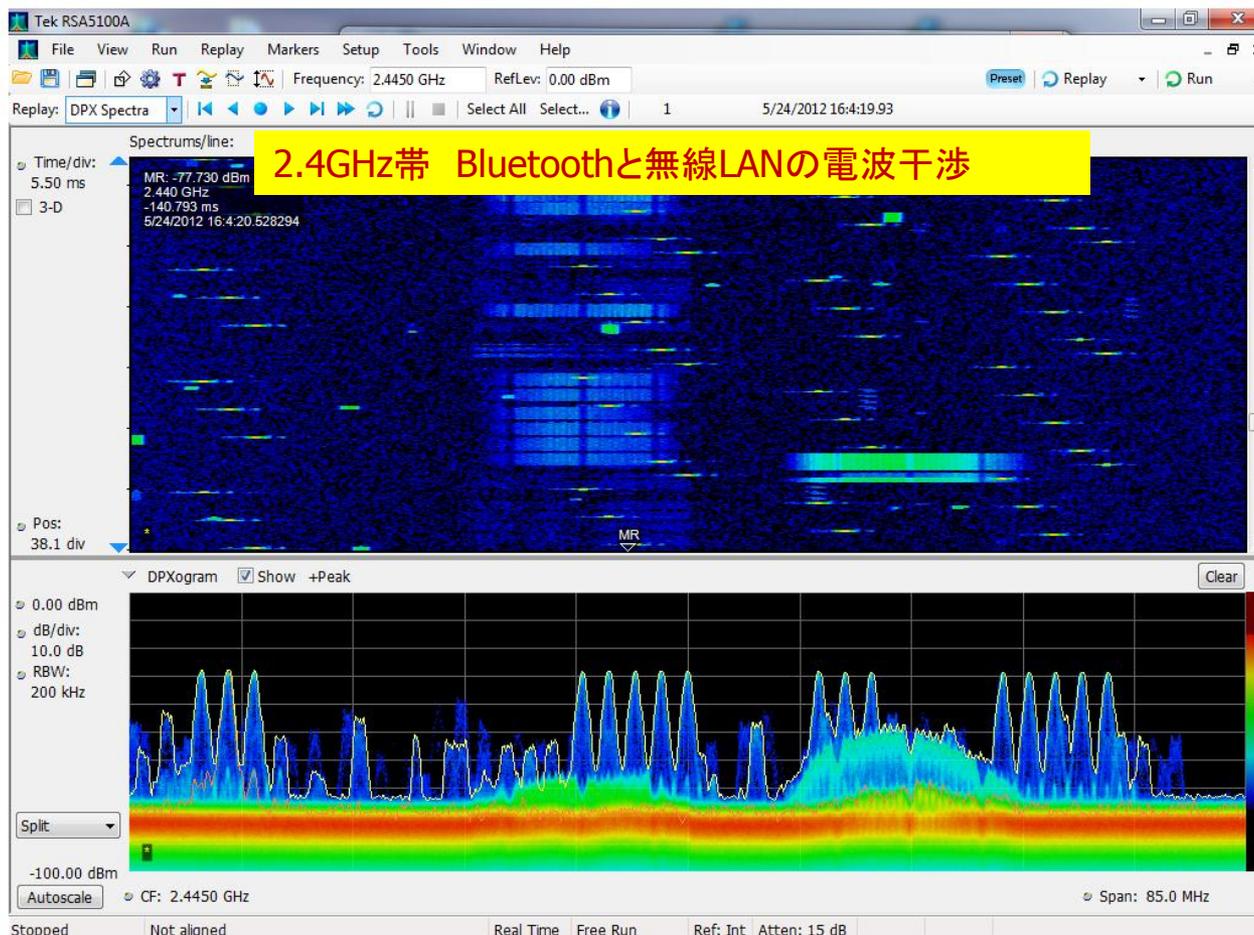
- 取りこぼしのない存在確率%を計測(最大8時間)

DPX表示の残光時間を「無限大」に設定



New; DPXogram表示 (最大110MHz帯域幅)

- Max-Hold値をスペクトログラム化
- 取りこぼしのないスペクトログラム表示(最大4,444日間を記録)

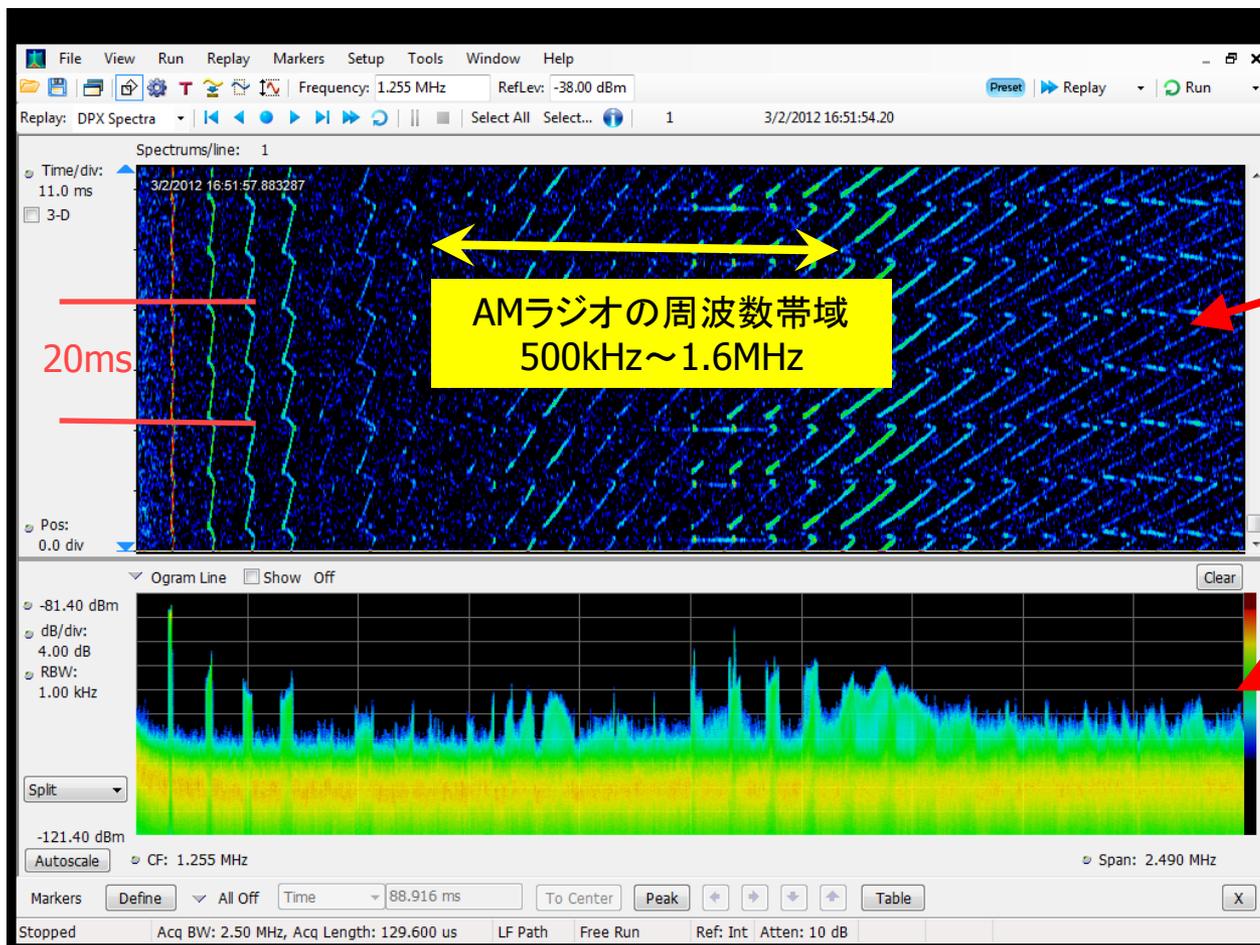


最大記録時間

Time Resolution	Trace Length: 801 pts Max: 60Ktraces
110 us	6.6 sec
220 us	13.2 sec
550 us	33 sec
1 ms	60 sec
5 ms	5 min
10 ms	10.0 min
100 ms	100 min
1 s	16.7 h
10	166.7 h
60	42 d
600	416.7 d
6400	4444.4 d

LED照明の放射ノイズ測定の実例

■ DPXogram表示によるLED電球の放射ノイズ測定



スペクトログラム表示
縦軸:時間
横軸:周波数
レベルは、色表示

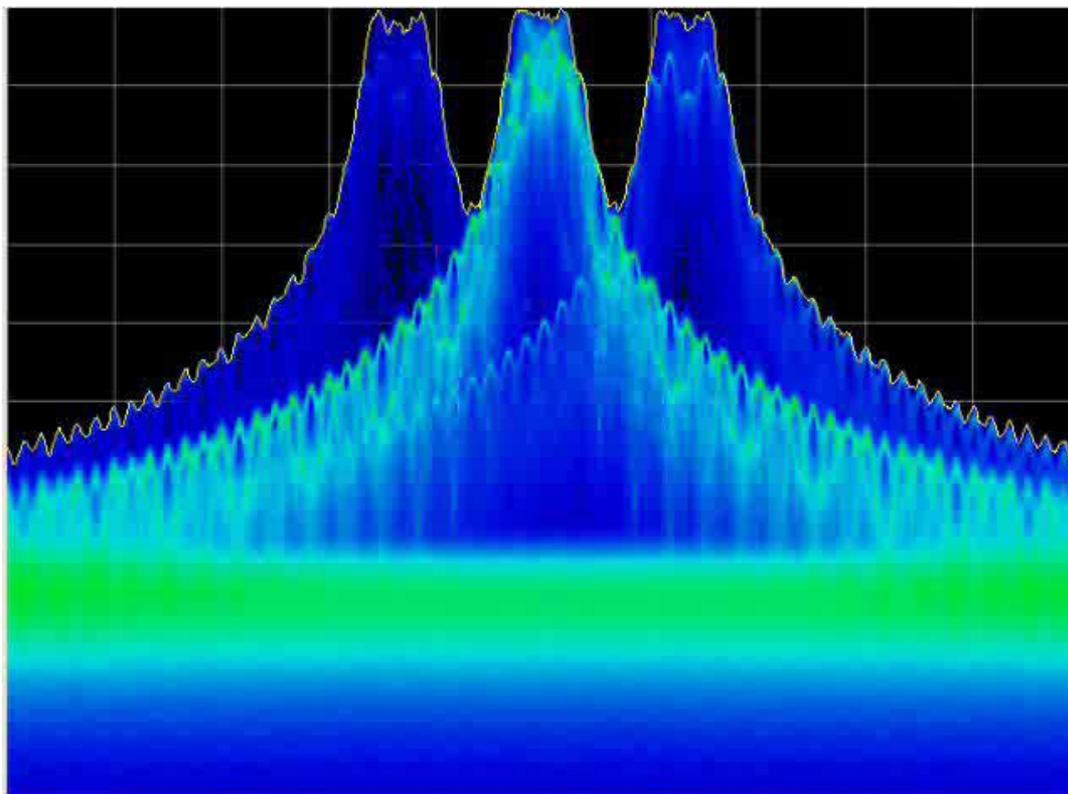
DPXによるスペクトラム画面
発生頻度は色表示

取りこぼしによるノイズの見過ごし、品質劣化の対策 革新的な DPX Density™ トリガ(動画)

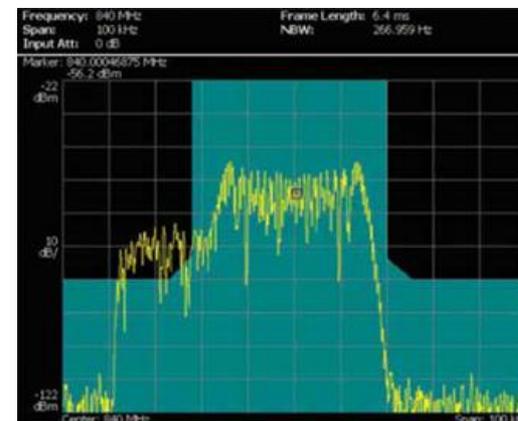
* Tektronixパテント

- DPX表示上の電波密度(Density数値%)でトリガ
- 従来のアナライザでは不可能だった”信号に埋もれたノイズ”にトリガ

スペクトラムの外周ではなく、内側でトリガをかけられる。

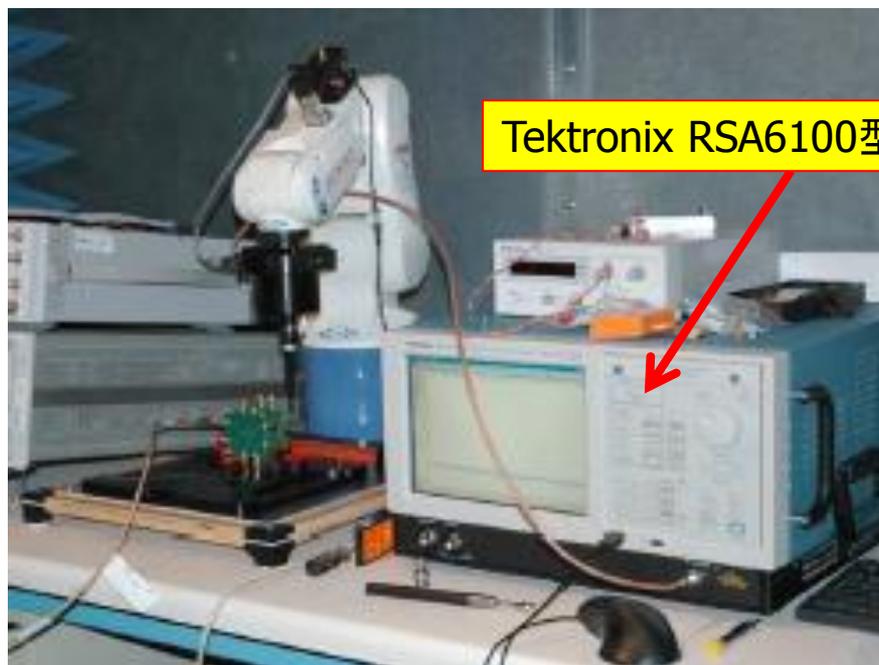


従来の周波数マスク・トリガ



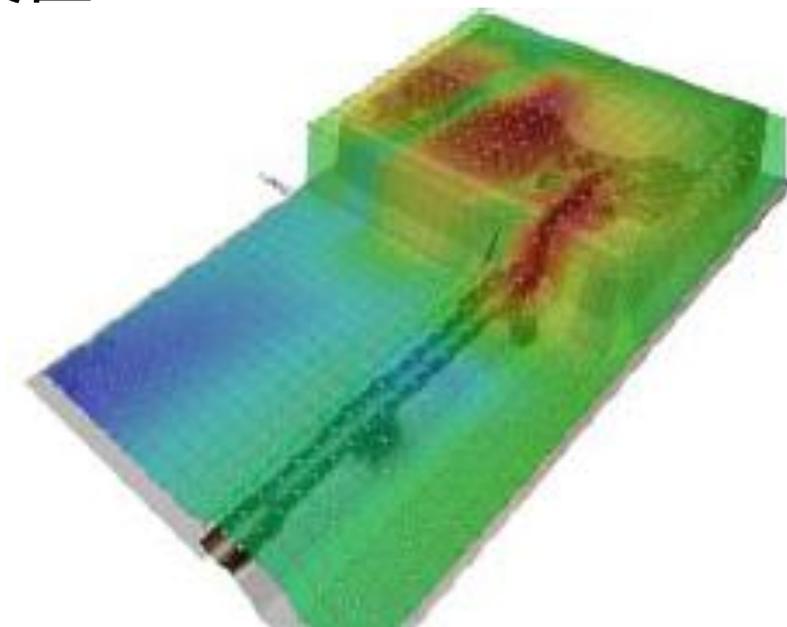
プリント基板等の空間ノイズ測定装置

- 6軸多関節ロボットによる全自動測定
- 0.02mmの位置決め精度
- SI・PI電磁界シミュレーションツール検証

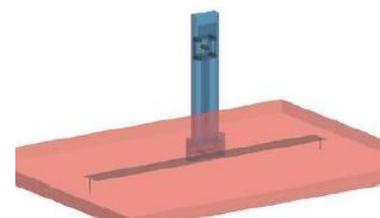


Tektronix RSA6100型

APREL社(カナダ)製



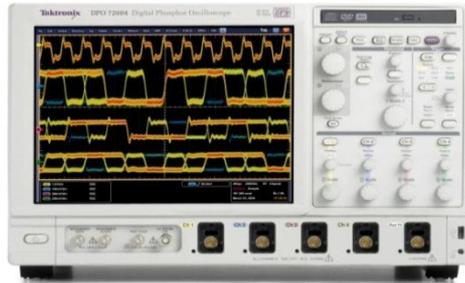
高精細 4Dプロット



10kHz～20GHz 広帯域探索プローブ
0.035mm厚のH(磁界)プローブ

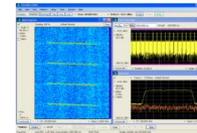
Tektronix オシロ・スコープ用 SignalVu ベクトル解析ソフトウェア

オシロ・スコープ



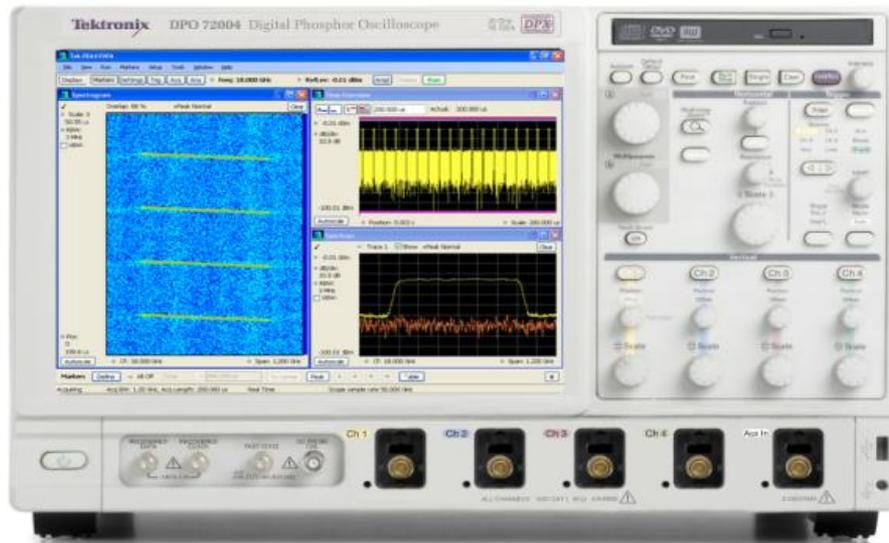
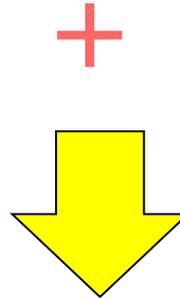
DPO/MSO5000シリーズ
DPO7000シリーズ
DPO/DSA/MSO70000シリーズ

ベクトル解析ソフトウェア



SignalVu-SVE
SignalVu-SVM
SignalVu-SVP

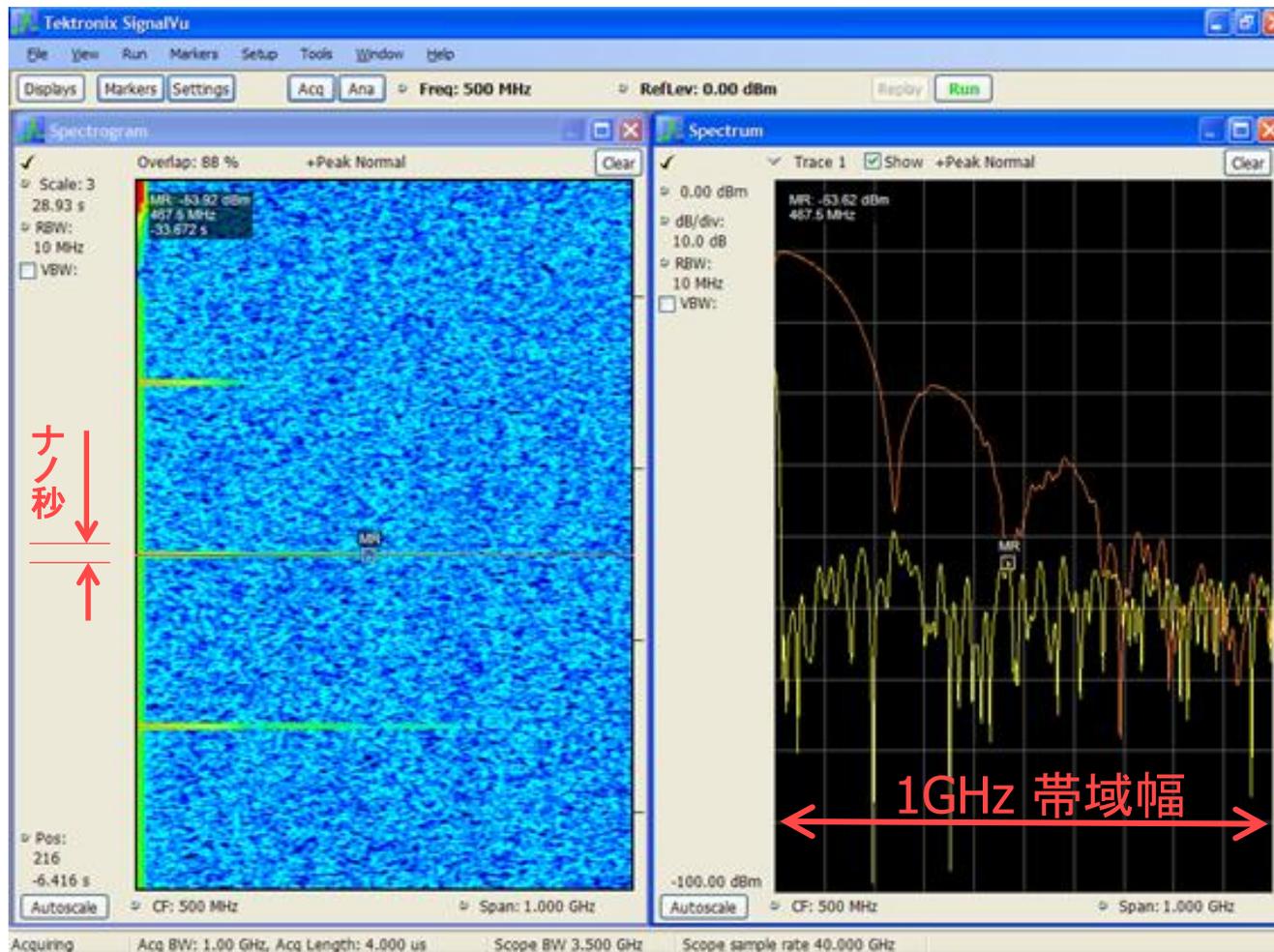
基本ソフト
デジタル変調解析機能
パルス解析機能



最高**33GHz**帯域幅
最高**100Gs/s**サンプリング
での周波数ドメイン解析

最大33GHz帯域幅のナノ秒インパルス・ノイズの観測

最少時間軸分解能 100Gsps = 10ps



MDO4000 シリーズの構成と価格

型番	品名	標準価格
MDO4104-6	1GHz・5GS/s・アナログ4ch, デジタル16ch, 6GHz RF 1ch	¥3,280,000
MDO4104-3	1GHz・5GS/s・アナログ4ch, デジタル16ch, 3GHz RF 1ch	¥2,880,000
MDO4054-6	500MHz・2.5GS/s・アナログ4ch, デジタル16ch, 6GHz RF 1ch	¥2,660,000
MDO4054-3	500MHz・2.5GS/s・アナログ4ch, デジタル16ch, 3GHz RF 1ch	¥2,280,000
型番	品名	標準価格
MDO4TRIG	アドバンスドRFトリガ・モジュール	¥203,000
TPA-N-VPI	TPA-N-VPIBNC変換アダプタ	¥57,500

2012年4月1日現在の価格です。



スタンダード・アクセサリ :

アナログ1chにつき1本の受動電圧プローブ(500MHz機種: TPP0500型(500MHz、10:1、3.9pF)、1GHz機種: TPP1000型(1GHz、10:1、3.9pF))、P6616型16チャンネル・デジタル・プローブ×1、ロジック・プローブ・アクセサリ・キット(部品番号: 020-2662-xx)、前面カバー(部品番号: 200-5130-xx)、N-BNCアダプタ(部品番号: 103-0045-xx)、ユーザ・マニュアル(ドキュメント番号: 071-2918-xx)、ドキュメントCD(部品番号: 063-4367-xx)、OpenChoiceデスクトップ・ソフトウェア、NI LabVIEW SignalExpress™ Tektronix Editionソフトウェア、校正証明書、電源ケーブル、アクセサリ・バッグ(部品番号: 016-2030-xx)

保証期間3年: プローブなどアクセサリを除いた部品代、労務費をカバーします

RTSAを使用したノイズ対策の 実測例



ご聴講ありがとうございました。

本テキストの無断複製・転載を禁じますテクトロニクス社 Copyright Tektronix

 **Twitter** [@tektronix_jp](https://twitter.com/tektronix_jp)
 **Facebook** <http://www.facebook.com/tektronix.jp>