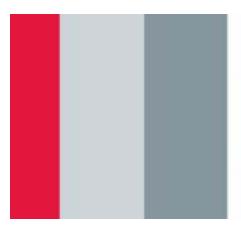
EMI、ノイズ対策における現場の課題と最新計測技術





テクトロニクス・イノベーション・フォーラム2011 RFアプリケーション・エンジニア 中塚 修司

www.tektronix.com/ja



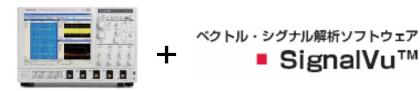
EMCの分類

- EMC (Electro-Magnetic Compatibility): 電磁的両立性
 - EMI (Electro-Magnetic Interference): 電磁妨害
 - エミッション(ノイズ放出)試験
 - 導電性ノイズ(電源線、データ線)
 - 放射性ノイズ(電磁波)



リアルタイムSAが可視化

- -EMS (Elector-Magnetic Susceptibility): 電磁妨害感受性
 - イミュニティ(ノイズ耐性) 試験
 - 静電気試験
 - 落雷試験

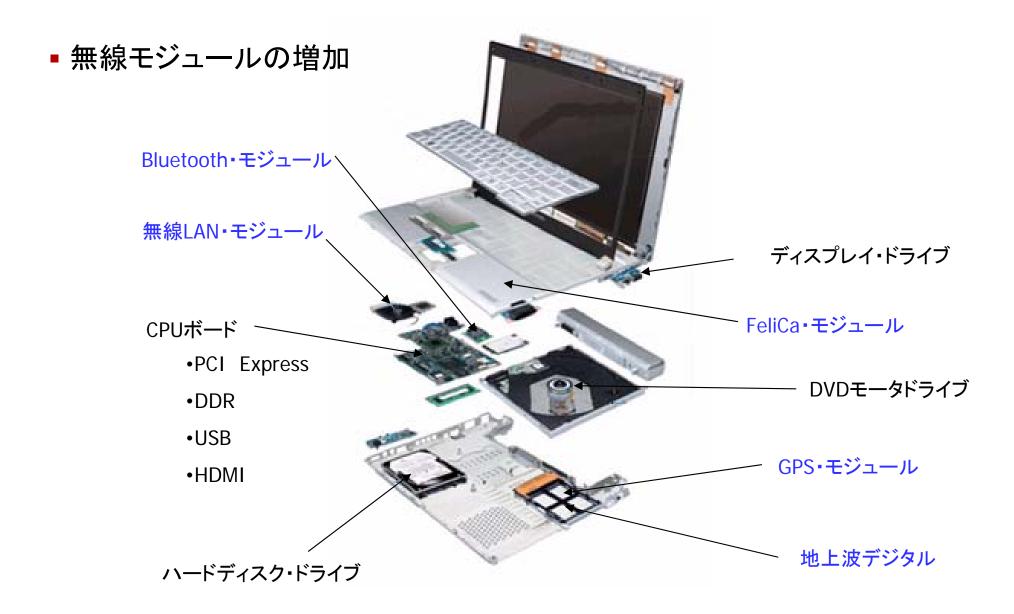


オシロスコープ+SignalVuで計測



RSA5100A

現代のノイズ環境



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



ノイズ(電気ノイズ、磁気ノイズ)と汎用測定機器

- 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、誘導電
- 内部ノイズ (イントラEMC,バックグラウンドノイズ)
 - 熱雑音(ジョンソン・ナイキスト・ノイズ)
 - ・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)

■ オシロスコープ(FFT、SignalVu)

- 広取込帯域

DC~33GHz

- 時間分解能

10ps(100Gs/s)

-高電圧・低感度

1mV~20kV

■ スペクトラム • アナライザ(S/A)

- 狭取込帯域

100Hz~10MHz

-時間分解能

1ms

- 周波数分解能

1Hz

-高感度

-173dBm/Hz

■ リアルタイムS/A、ベクトルS/A

- 広取込帯域

110MHz

-時間分解能

6.7ns

- 周波数分解能

1Hz

-高感度

-170dBm/Hz

周波数計測器の性能比較

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

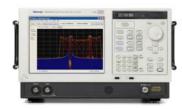
高い

リアルタイムSA

時間分解能 1ms



-173dBm/Hz 感度



ダイナミックレンジ14bit=84dB -170dBm/Hz(1nV感度) 時間分解能 6.7ns

取込帯域幅110 MHz 最大周波数20GHz

取込帯域幅10 MHz 最大周波数100GHz

狭い

時間分解能

ベクトル・シグナル・アナライザ

速い

広い

周波数測定精度

取込帯域幅

時間分解能 $20 \mu s$



時間軸帯域幅40 MHz 最大周波数40GHz

周波数カウンタ



最大周波数40GHz

単一周波数測定

時間分解能 100ps

30mV感度

1mHz分解能

ダイナミックレンジ

8bit=48dB1mV感度



時間分解能 10ps=100Gsps

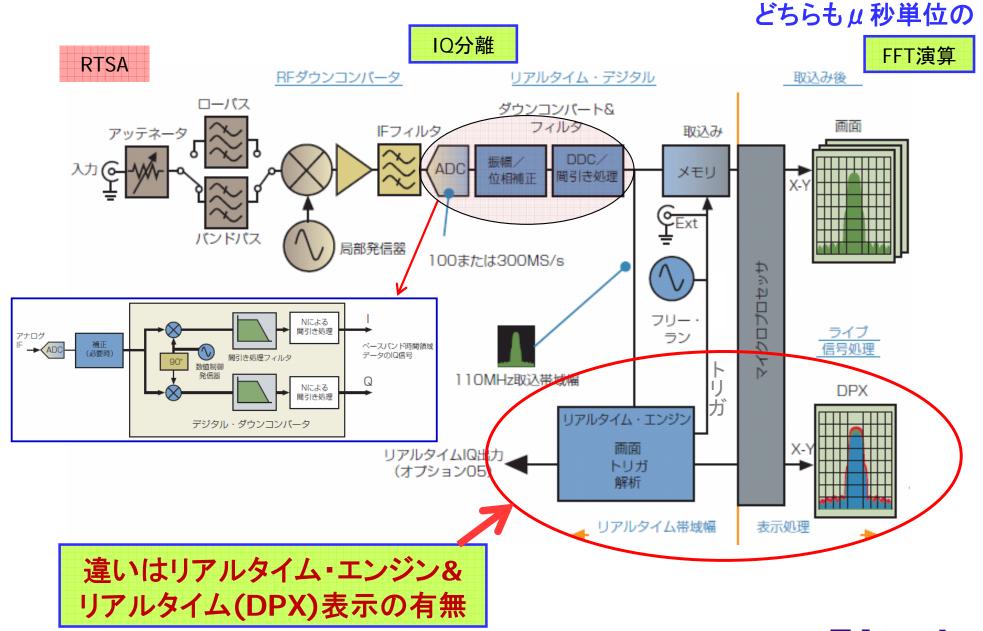
取込帯域幅33GHz

オシロスコープ+SignalVu

最大周波数33GHz



リアルタイムS/Aとベクトル・アナライザ(VSA)の違い



EMC対策の課題と →→→→ 最新の計測技術

- RFノイズの「可視化」
- Max-Hold測定の再現性

- DPXライブ表示
 - DPX表示上での超高速Max-Hold
- 取りこぼしによるノイズの見過ごし、■ 品質劣化
 - 周波数マスク・トリガ 周波数密度(Density)トリガ

測定レンジ (ダイナミックレンジの要求) -170dBm/Hz 表示平均ノイズレベル

- 微弱で間欠発生するノイズの検出
- 周波数密度(Density)トリガ、 スペクトログラム時間軸解析



EMC対策の課題と →→→→ 最新の計測技術

測定時間の短縮



■ DPXによる最高292.000回/秒の測定

- 効果の確認に時間がかかる
 - VCCIのクラスA/B準尖頭値(QP)検波規定
 - 6面暗室(1GHz~)の不足、順番待ちによる開発遅延
- SweptDPXとDwell時間設定機能
- CISPR-QP,AV,PK同時検波エミュレーション
- 基板レベルでの配線パターン、レイアウト、 実装、開口部の対策
- 近接界プローブとDPX機能を使用したノイズ源の探索と時間軸解析

■ ノイズの出現確率を定量評価

■ DPXを使用した周波数ドメインでの 確率分散(ヒストグラム)測定

- 測定範囲の拡大
 - CISPR22(PC、プリンタ、複合機等のIT家電)
 - ~1GHz から ~6GHzへ変更
 - VCCI と EN55022(CE) 2010年10月から適用
 - CISPR16-1-1(妨害波測定用計測器の基本仕様)
 - ~1GHz から ~18GHzへ変更(2006)

- 6.2GHzの周波数帯域の ローコスト測定器
- 20GHzの周波数帯域の ハイエンド測定器



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)

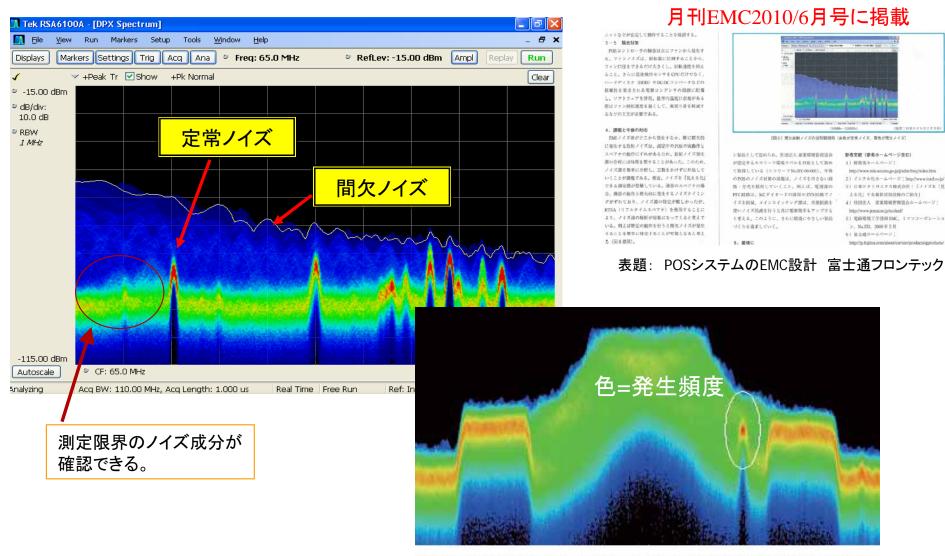
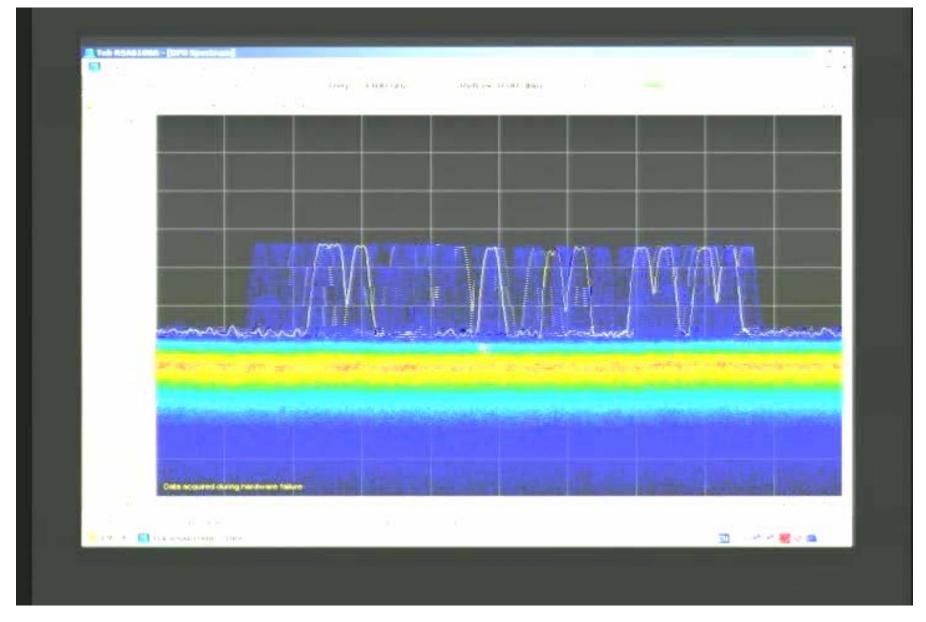


図1. 楕円で囲まれた信号は、高品位FMラジオ信号に埋もれた狭帯域干渉伝送信号



RFノイズの「可視化」 電子レンジとBluetoothの干渉(動画)



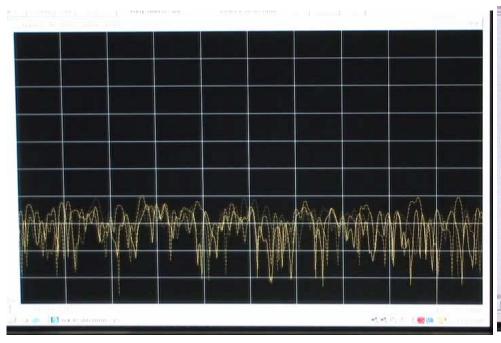
RFノイズの「可視化」 周波数偏移するノイズの観測(動画)

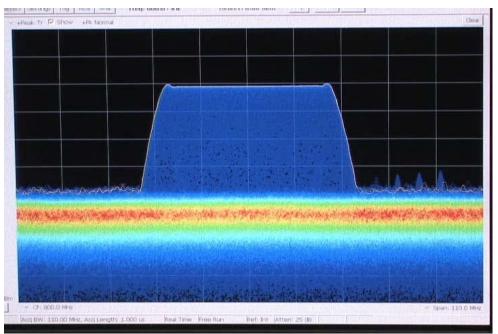
■ 周波数拡散の信号と突発性ノイズの同時観測が可能

-FM波、SSCクロック、レーダー・チャープ等

旧来のMax-Hold表示

DPXリアルタイム表示

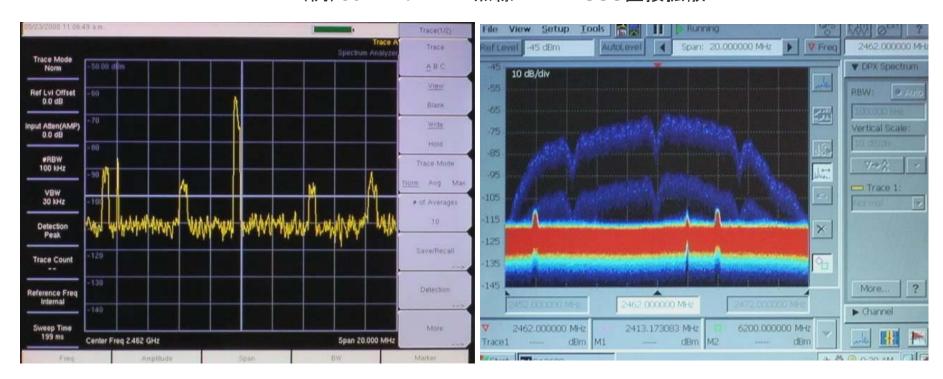






RFノイズの「可視化」 掃引型 vs DPXライブ・スペクトラム(動画)

(例)802.11b Wi-Fi 無線LAN DSSS直接拡散



旧来の掃引型スペアナの表示

DPXリアルタイム・スペアナの表示

周波数拡散している間欠スペクトラムの実像が見える

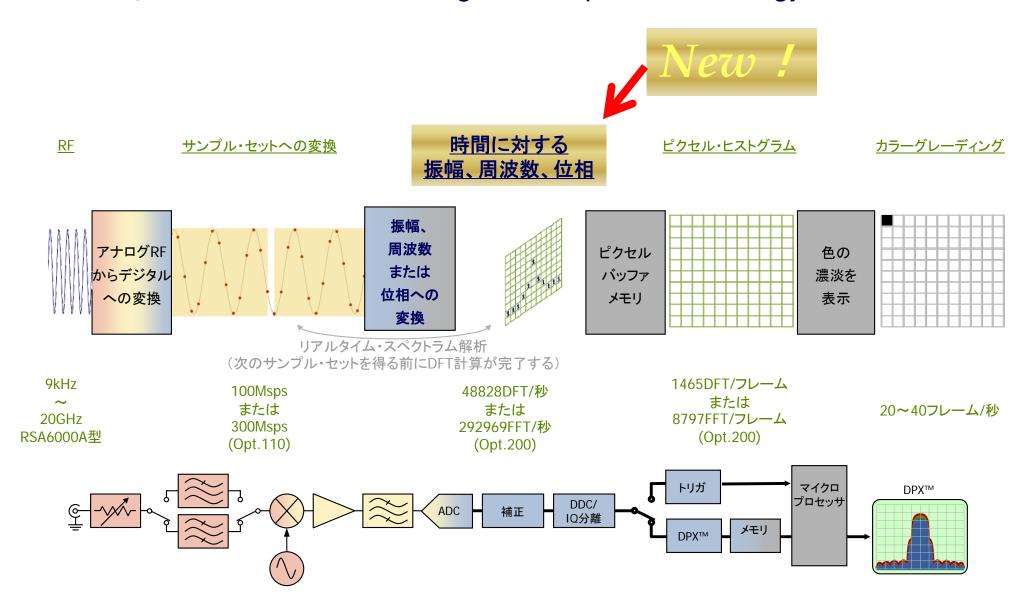
m秒単位でRBWフィルタを掃引 VS μ秒単位でFFT計算→DPX表示

掃引型では既知の通信波形は実像を予測できるが 未知の通信波形は予測困難



RTSAの原理 DPX変換エンジン

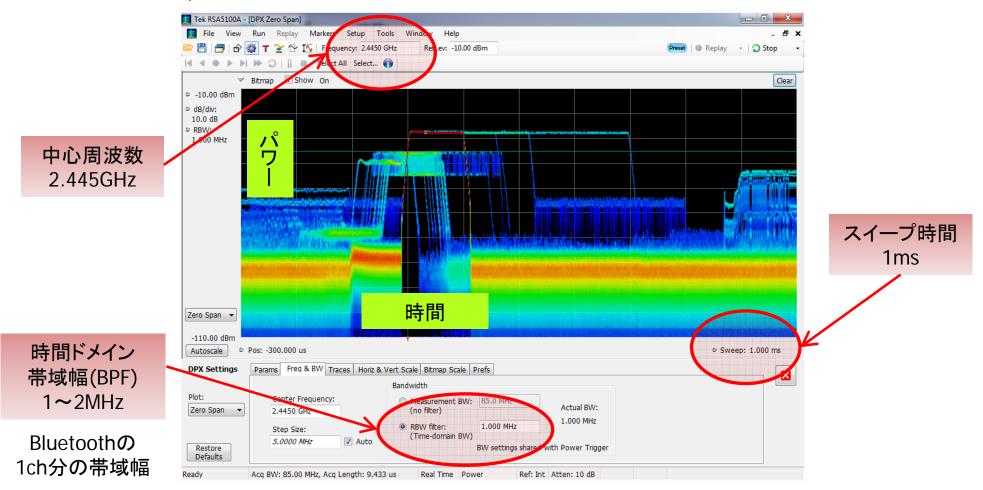
Digital Phosphor Technology



RFノイズの「可視化」 New DPXゼロ・スパン(DPX振幅 vs 時間)

- Real Time Spectrum→Signal Analyzerへの進化
- ゼロ・スパンをリアルタイム表示(取りこぼし無し)

BPF(バンド・パス・フィルタ)帯域内のリアルタイム・ゼロスパン表示



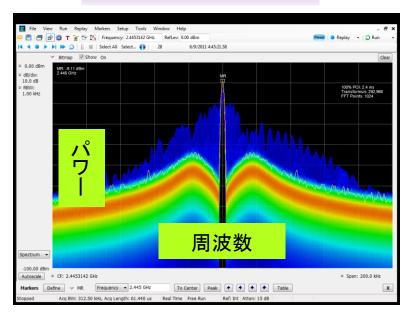


RFノイズの「可視化」 New DPX周波数、DPX位相 vs 時間

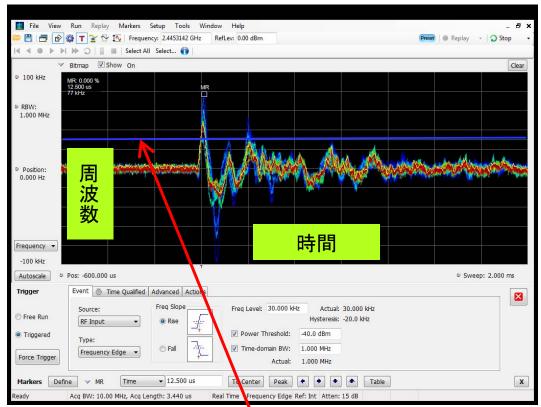
- Real Time Spectrum→Signal Analyzerへの進化
- 一瞬の周波数変化、位相変化リアルタイム表示(取りこぼし無し)

New: DPX周波数 vs 時間

DPXスペクトラム表示



水晶クロックに衝撃付加



New: 周波数エッジ・トリガ

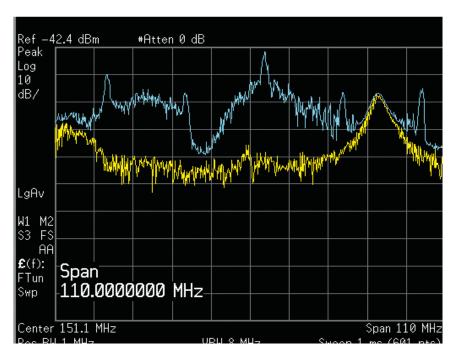


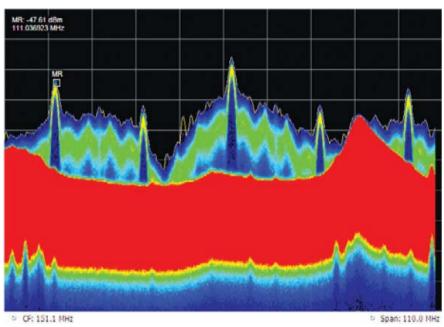
Max-Hold測定の再現性 DPX表示上での超高速Max-Hold

- 従来のMax-Holdの問題点をクリア
 - Max-Hold値が安定するまで時間がかかる。
 - -本当にMaxなのか?取りこぼししていないか?

掃引型スペアナのMax-Hold トレース (青色トレース) **1分経過後** RTSAリアルタイム・スペアナの **DPX表示 5秒後**

最高292,000回/秒のMax-Hold



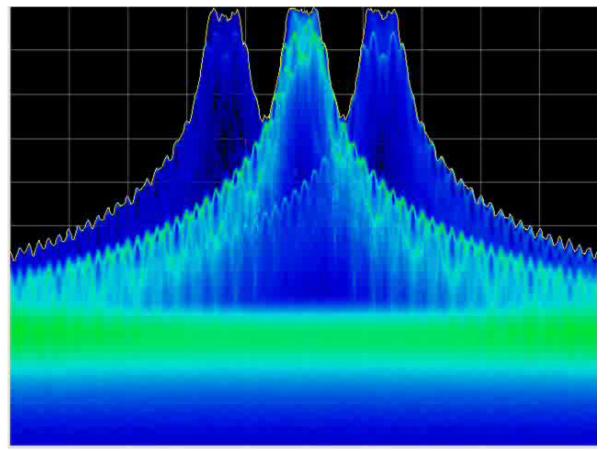




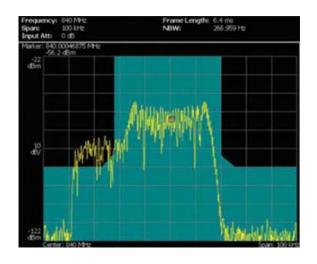
取りこぼしによるノイズの見過ごし、品質劣化の対策 New: 革新的な DPX Density™ トリガ(動画) * Tektronixパテント

- 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"信号に埋もれた信号"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。



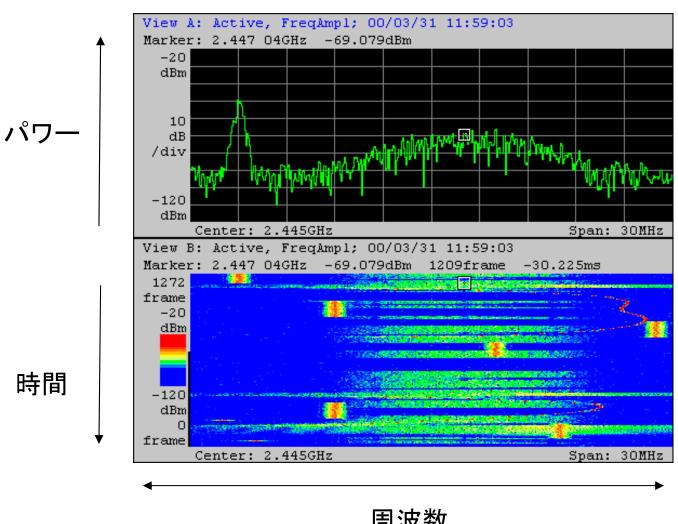
従来の周波数マスク・トリガ





間欠発生するノイズの検出と時間軸解析 スペクトログラム(動画)

時間・周波数・パワーの3次元解析でノイズ源を推定する。



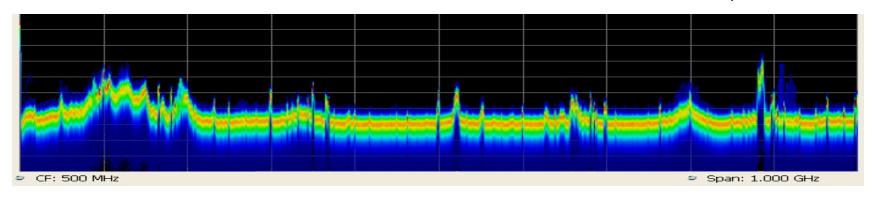
色表示でスペクトラムのレ ベルを表し、縦軸の経過 で時間の経過を表す

周波数



測定時間の短縮 *New* SweptDPX機能

- 革新的なDPX掃引で広帯域をMax-Hold
 - 高い検出確率で切れ目のなく全帯域を掃引(100%POI=最小5.8 μ s)



- ターンテーブルを超高速回転 1回転/秒も可能
 - DPX掃引時の帯域幅(約90MHz)の測定滞留時間を設定可能
 - ターンテーブルとの同期(通常は1~3rpm)が可能
 - 360度/秒で、292,969/360度=814スペクトラム/度の超高速測定が可能

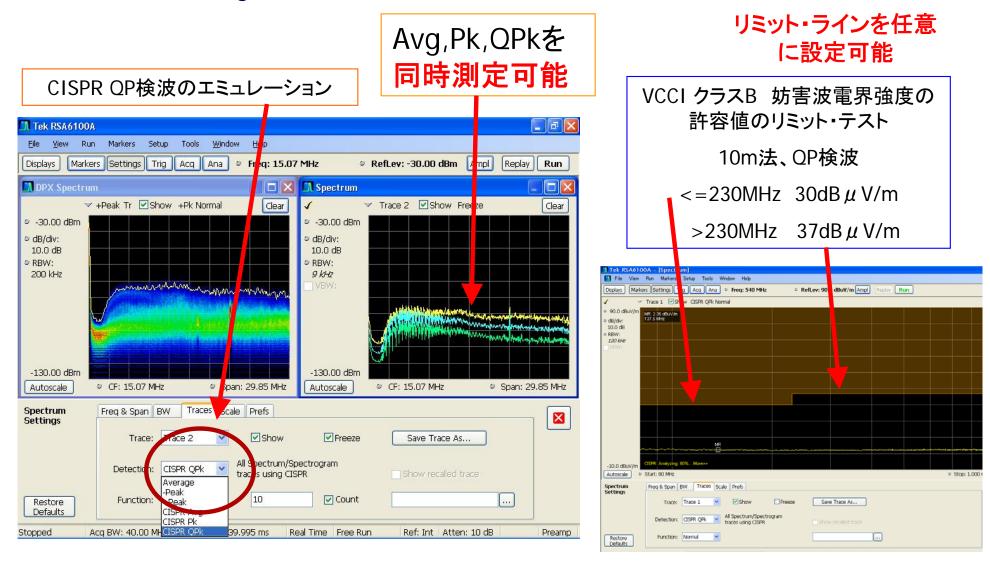




測定時間の短縮

CISPR16-1-1 VCCI プリ・コンプライアンス試験

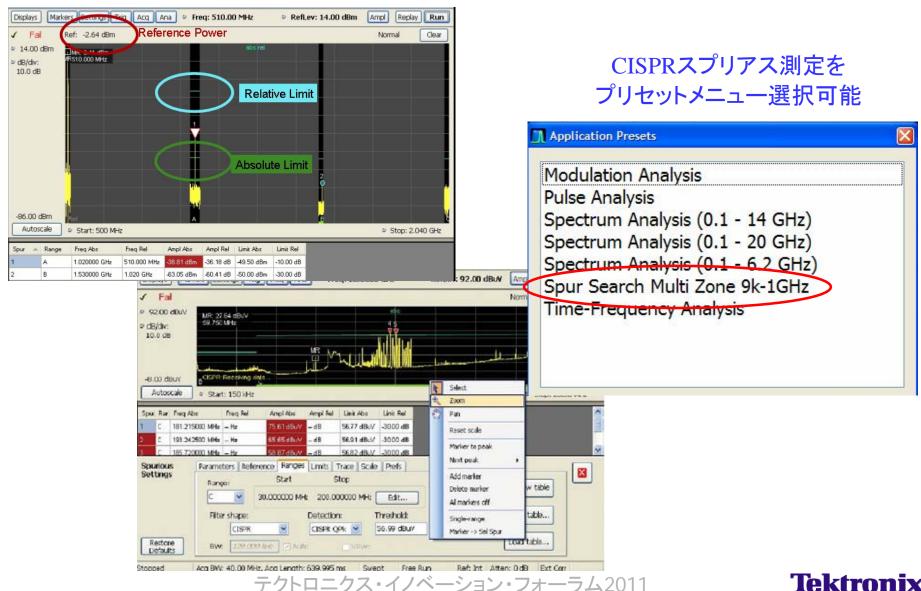
VBW、CISPR Avg、CISPR Pk、CISPR QPk に対応





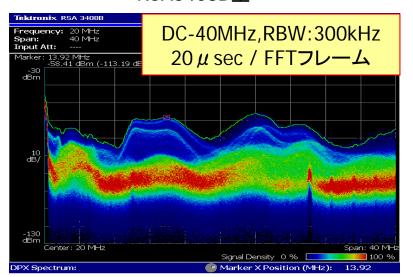
測定時間の短縮 スプリアス ゾーン測定

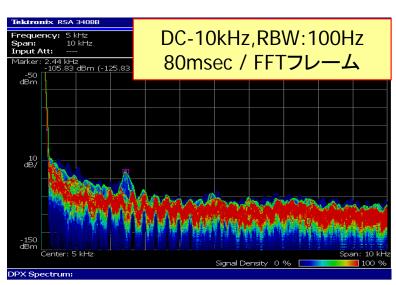
スプリアスの測定箇所をゾーン(帯域)指定することで測定時間を短縮

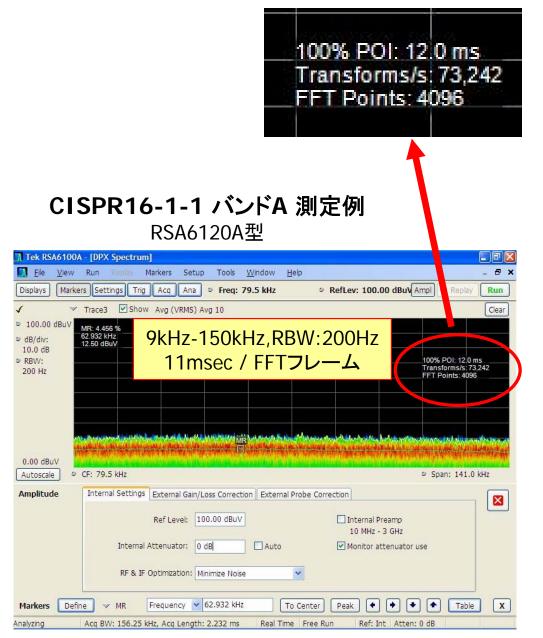


測定時間の短縮 DC近傍をリアルタイム測定

レーザ・プリンタの放射ノイズ観測例 RSA3408B型







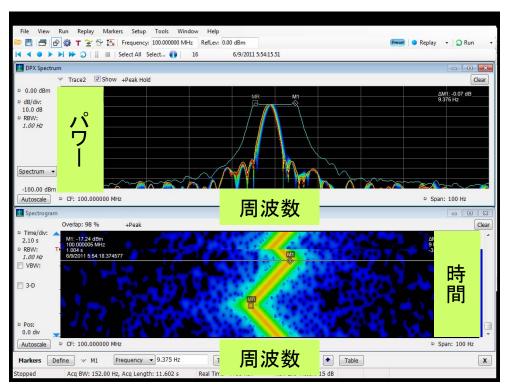
POI:捕捉確率



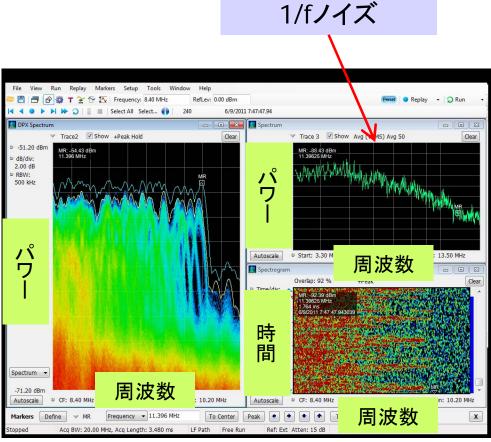
測定時間の短縮 低周波ワンダや1/fノイズの測定

ワンダの測定例

周波数偏移幅 10Hz 偏移速度 125mHz 偏移周期 8秒 RBW= 1Hz



1/fノイズの測定例



時間軸の存在確率に周波数特性がある場合は、RBWや、アベレージの設定で測定結果が異なる



基板レベルでの配線パターン、レイアウト、実装、開口部の対策

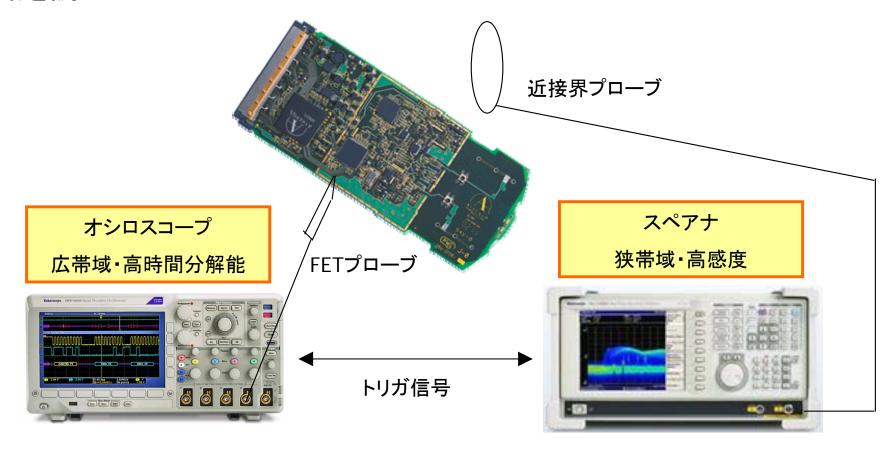
- イントラシステムEMC(自家中毒)対策
 - 装置内部のノイズによって干渉・誤動作を起こす問題
 - モジュール同士が近接しており、極めて微弱なレベルでも問題を引き起こす。
 - リレー、電動機、インバータ、クロストーク、デジタル・アナログ混在回路
 - 内蔵するLSIやインタフェースの高速化で、発生するノイズは広帯域化し、電源電圧や信号レベルが低電圧化している事でさらにノイズの影響を受けやすくなる





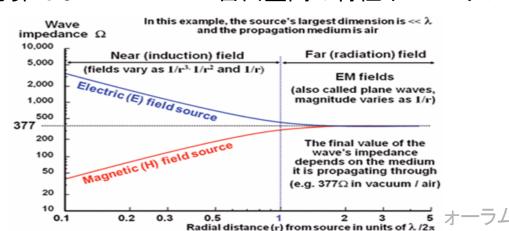
基板レベルでの配線パターン、レイアウト、実装、開口部の対策

- オシロスコープとの連携
 - -スペクトラムのレベル変化でトリガを掛け、そのタイミングで動作回路を調べる

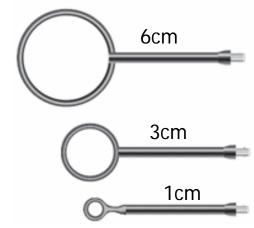


解説: 近接界プローブの使い方

- 近接界プローブの種類
 - 電界プローブは電圧、 磁界プローブは電流
- ■コイル
 - 近傍界では電界(E)より磁界(H)が強い
 - 波動インピーダンス(Ζω)小
- コンデンサ
 - 近傍界では磁界(H)より電界(E)が強い
 - 波動インピーダンス(Zω)大
- ・波動インピーダンス Z_ω = E/H(Ω)
 - 遠方界ではZω = 120π = 377(Ω) 一定値
 - 遠方界では E/H=377 自由空間の特性インピーダンス







電界(E)プローブ





FETプローブの使い方

- FETプローブの入力抵抗は数kΩ~1MΩ
- 電源アダプタで50Ω出力に変換する
- DCブロックを入れてSAを保護する
 - 測定器のDC耐圧は?:±0.2V?~±5V?~±40V?
 - 耐圧は内蔵ATT(アッテネータ)の値が最大の時の値。
- FETプローブがアンテナになってしまう。
- FETプローブがノイズ源になる。(システム・ノイズ)
 - 例: P7225プローブは300 μ Vrms(10x) = 3mVrms
 - \bigcirc -37.4dBm/2.5GHz = -131dBm/Hz
 - 例: P7313プローブは31nV/√Hz = -107dBm/Hz



リアルタイムSA



アッテネータ (50Ω系)



DCブロック (50Ω系)



FETプローブ

入力抵抗 数 $k\Omega \sim 1M\Omega$

FETプローブ用電源アダプタ



50Ω出力に変換

50公入力

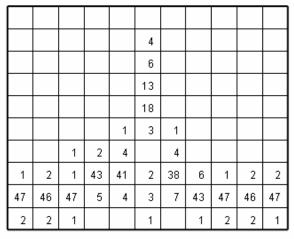
ァクトロニクス・イノベーション・フォーラム2011

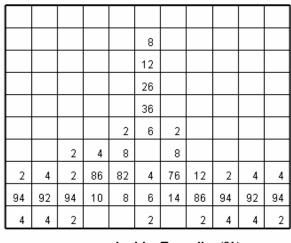


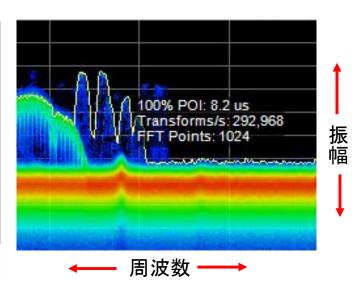
ノイズの出現確率を定量評価

- 従来のAPD (Amplitude Probability Distribution) は 時間軸ドメインでの評価が主体
- TDEMI(Time Domain EMI)測定器の出現

- TDEMI System 9 kHz 6 GHz
- 周波数ドメインでの振幅確率分布(APD)の評価が望まれている。
- RSA6100A型のDPX表示は233カウント/ピクセル(飽和まで8時間)
 - DPX表示は周波数ドメインで電波密度の確率分布を色表示している







Hit counts after 50 transforms...

...converted to Density (%)

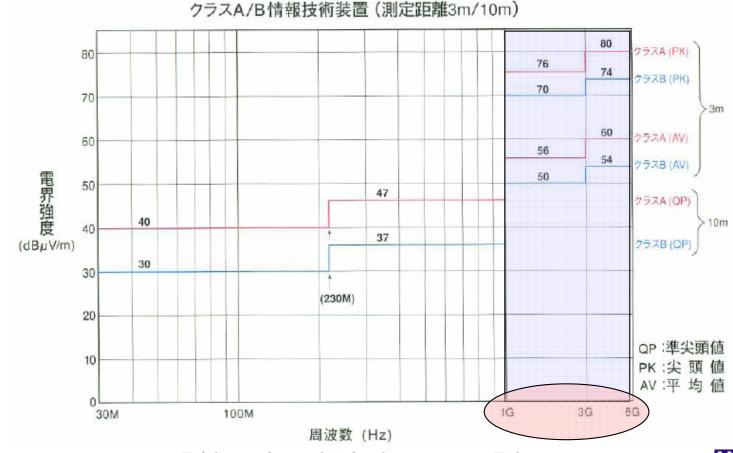


測定範囲の拡大 VCCI&EN55022規格改定(2010年10月~)規制開始

- **1GHz~6GHz**: PK(尖頭値)とAV(平均値) 規格改定(追加)
- 規制対象は情報技術装置(PC,複合機,プリンタなど) = CISPR22
- デジタル家電全般に拡大の予定。

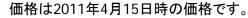
妨害波電界強度の許容値

出典:一般財団法人VCCI協会



参考:リアルタイム・スペクトラム解析技術を用いた 当社スペクトラム・アナライザー覧

アプリケーション RSA6106A型(6.2GHz) RSA6120A型(20GHz) リアルタイム・スペクトラム・アナライザ RSA6114A型(14GHz) i RSA6100A型 広帯域 DPX表示 電波監視 (110MHz帯域解析) SDR 1080万円 1280万円 *オプション110が必要 1180万円 RSA5103A型(3GHz) RSA5106A型(6.2GHz) リアルタイム・シグナル・アナライザ RSA5000A型 電波干渉 (25/40/85MHz帯域解析) PLL解析 New !! 438万円 628万円 無線LAN RSA3408B型(8GHz) RSA3303B型(3GHz) **RFID** リアルタイム・スペクトラム・アナライザ RSA3308B型(8GHz) デジタル 近距離無線 RSA3000Bシリーズ 携帯電話 (15/36MHz帯域解析) 788万円 438万円 548万円





無線通信の進化 | 測定機器に求められる要件

- 802.11AC
 - 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
 - 60GHz 近距離通信



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) 云市場なリアルタイム測定器
 - AFH(Adaptive FH:適応型周波数ホッピング)
- 4G LTE-Advanced
 - 1Gbps
 - 100MHz帯域幅



広取込帯域の測定器



無線機能を搭載した組込みシステムにおける ノイズ源の特定 テクトロニクスMDO4000シリーズ

世界初、ミックスド・ドメイン・オシロスコープの登場

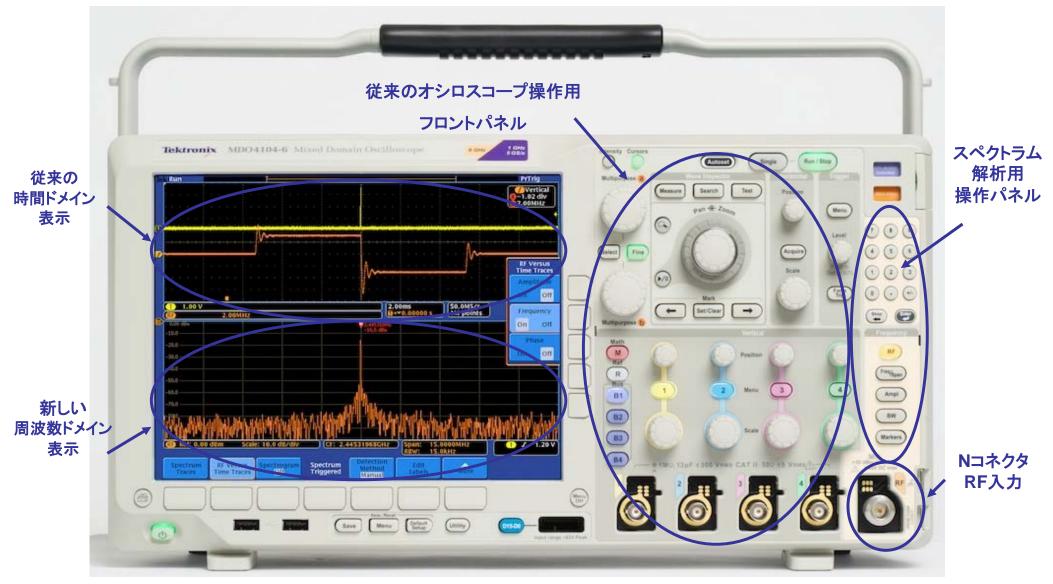


スペクトラム・アナライザ を統合した 唯一の オシロスコープ



世界で最初のミックスド・ドメイン・オシロスコープ(MDO)の誕生

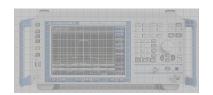
MDO = 時間相関をもったアナログ、デジタル そしてRF 計測を一つにパッケージ



周波数計測器の性能比較

ダイナミック・レンジと感度

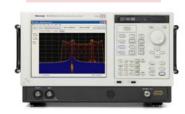
掃引型・スペクトラム・アナライザ



取込帯域幅10 MHz

高い

リアルタイムSA



取込帯域幅110 MHz 時間分解能 6.7ns=150Msps

ミクスド・ドメイン・オシロスコープ

狭い

遅い

取込帯域幅

時間分解能



→ 広い



取込帯域幅 >1GHz 時間分解能 100ps=10Gsps

周波数カウンタ



取込帯域幅40 MHz

ベクトル・シグナル・アナライザ

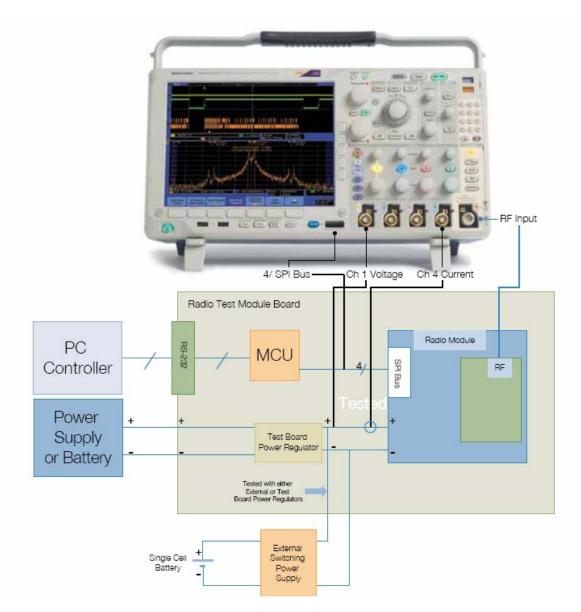
オシロスコープ+SignalVu



取込軸帯域幅33GHz 時間分解能 10ps=100Gsps

低い

ノイズ源調査のためのテスト・セットアップ

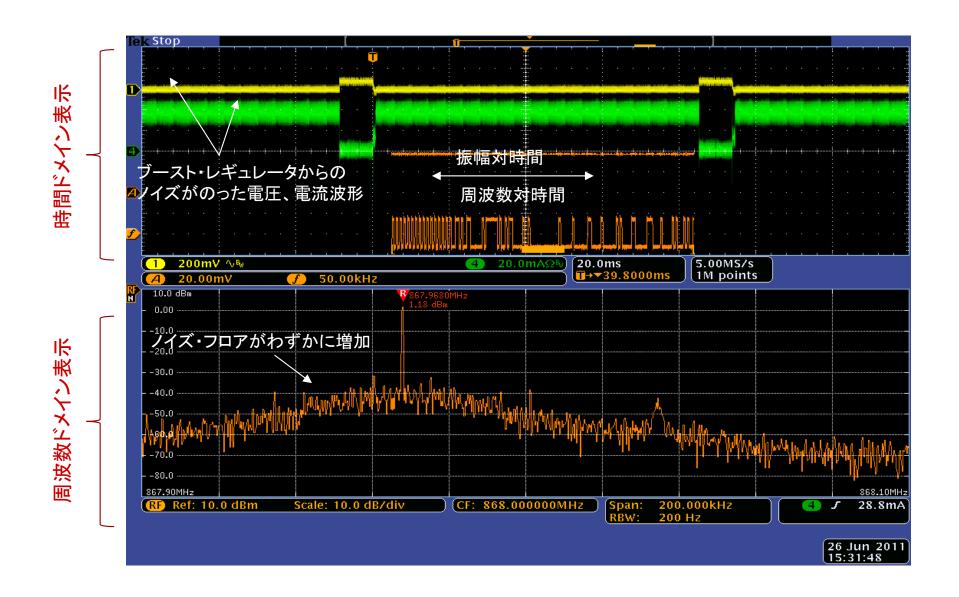


マイクロチップ無線テスト・ボード・ モジュール



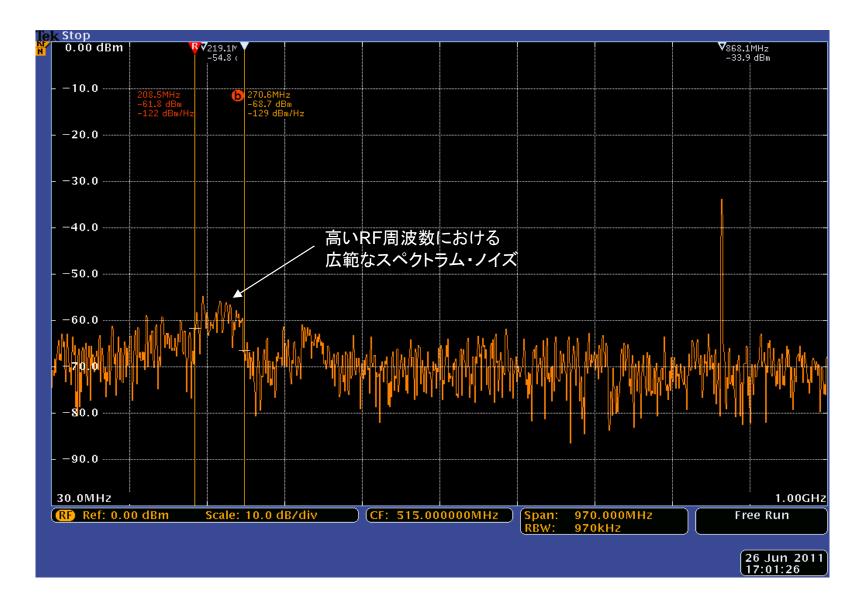


パケット・データのスペクトラムとスイッチング電源



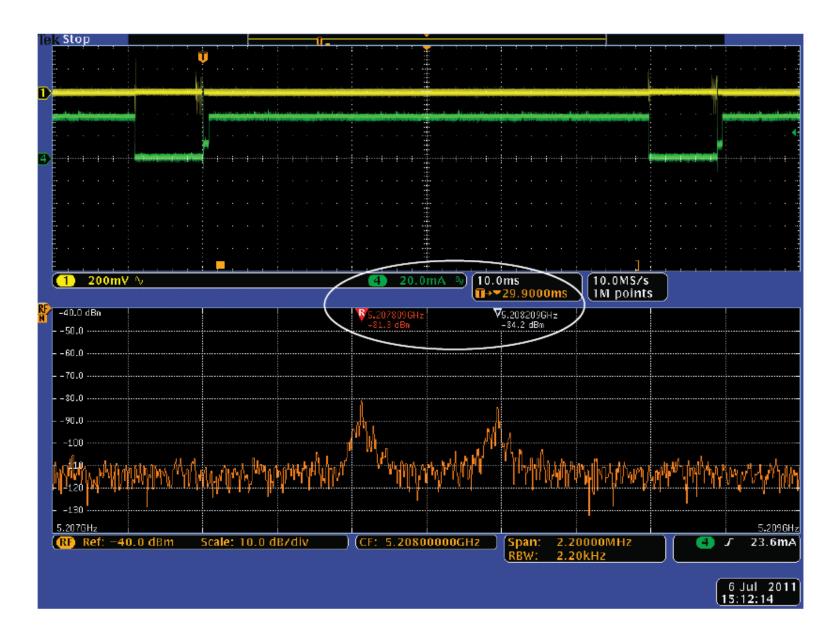


1GHz以上の取込帯域を実現した 広範囲なスペクトラム・ノイズの観測





6GHzまでの高調波スペクトラム測定





MDO4000シリーズ



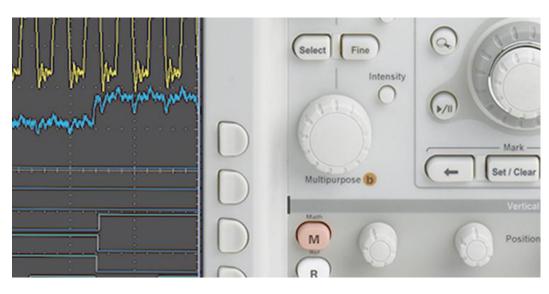
- 最高21チャンネルによる優れ たシステムの可視化
- スペクトラム解析機能を装備
- 1台の計測器で時間相関のとれたアナログ、デジタル、RF信号の観測

型名	アナログ・ チャンネル数	アナログ 周波数帯域	デジタル・ チャンネル数	RF チャンネル数	RF 周波数レンジ
MDO4054-3	4	500MHz	16	1	50kHz – 3GHz
MDO4054-6	4	500MHz	16	1	50kHz – 6GHz
MDO4104-3	4	1GHz	16	1	50kHz – 3GHz
MDO4104-6	4	1GHz	16	1	50kHz – 6GHz



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



