

C-2

高速・広帯域通信時代の最新ノイズ計測技術



テクトロニクス/ケースレー
イノベーション・フォーラム 2013

岡田 信孝

Tektronix[®]

KEITHLEY
A Tektronix Company



本日の予定

- 最近のノイズ環境とEMI規制の動向
- ノイズ対策のためのスペクトラム・アナライザ
- 近接界プローブの使い方
- ノイズの測定例
- テクトロニクス/ケースレー ノイズ測定ソリューション

市場動向と設計者の課題

ここ近年、世界で年間10億個を超えるRFデバイスが出荷

- どこでもワイヤレス
 - 業務用と個人用途に関わらず、あらゆる業界に浸透
- 設計者の責務は拡大
 - デジタル・アナログ・RFの設計統合
- RF信号はより時間変動する仕様に推移
 - バースト通信が省電力に寄与
 - 複雑な周波数ホッピング変調方式の導入(耐ノイズ・セキュリティ)
- 異なる周波数の複数の通信規格が同居
 - 900MHz帯のZigBeeと2.4GHz帯のBluetoothが一つのデバイスに統合
- 機器の小型化と高機能化
 - 製品内での電波干渉が性能低下の原因に
- EMCのトラブルシューティングが更に困難に
 - 輻射が間欠的になり広帯域化している

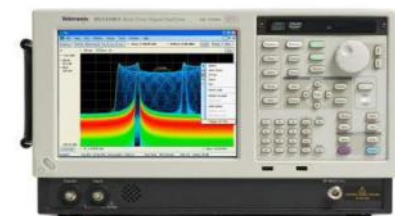


近年のノイズ環境

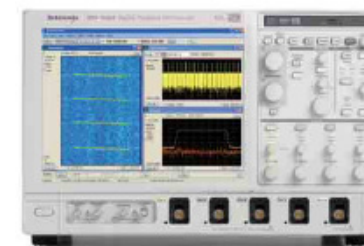
- 搭載される無線機器の増加
 - 無線LAN, Bluetooth, GPS, 地上波デジタル放送・チューナー, RFID
 - スマート・メータ(スマート・グリッド)
- 高密度実装
 - GNDプレーンの減少
 - 回路のアイソレーション低下
 - 複数の発振無線回路をメイン・ボードに実装
 - モーター回路(DVDなど)の増加
- 省エネ・環境対策
 - インバータ
 - スイッチング電源、IGBT
- LSIの高速化
 - CPU, Memoryの動作周波数高速化
 - CPU, Memoryの動作電圧の低下

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)
 - EMS (Electro-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



スペクトラム・アナライザ



オシロスコープ

$$EMC = EMI + EMS$$

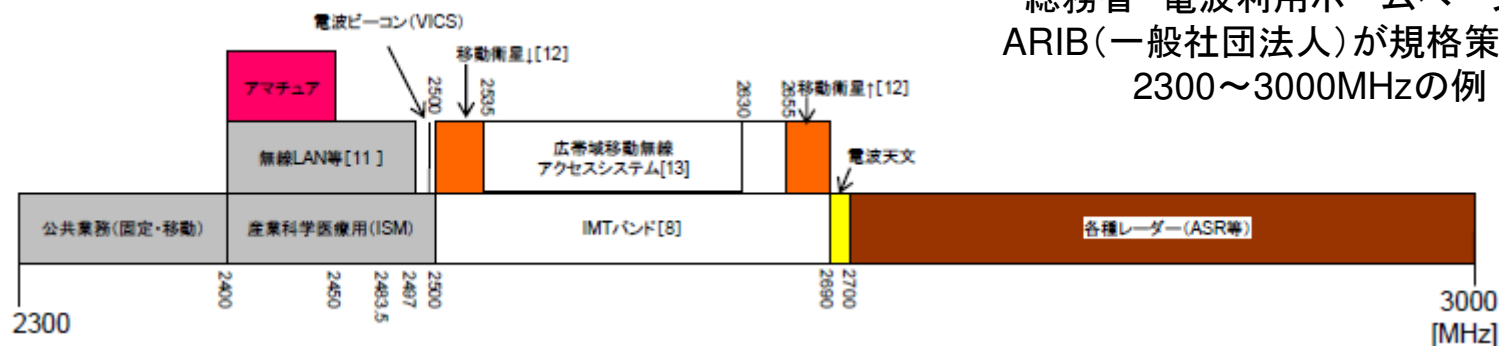
周波数とパワーの法規制



電波法規制

- 国内法規制：電波利用周波数(パワー)は国別に法規制されている。

総務省 電波利用ホームページ資料
ARIB(一般社団法人)が規格策定する。
2300~3000MHzの例



- 国際法規制(主にエミッション:EMI 電磁波障害)

EMI : Electro-Magnetic Interference

- CISPR(国際無線障害特別委員会 勧告)
- FCC(米国連邦通信委員会 法規制)
- EN(欧州EC指令 法規制) CEマーキングはEMS(イミュニティ:電磁耐性)も含む
- VCCI(日本 情報処理装置等電波障害自主規制協議会:メーカーの自主規制)



EMCノイズ国際規格・規制(一例)

CISPR(国際無線障害特別委員会)

- CISPR11 工業・科学・医療(ISM) 高周波装置 --- EN55011(欧)、FCC47-Part18(米)
- CISPR12 自動車、ボート、内燃機関 --- 自動車規格JASO(日)、SAE J551/2(米)
- CISPR13 音声・TV放送受信機 ----- EN55013、FCC-Part15
- CISPR14 家庭用機器、電動工具 ----- EN55014
- CISPR16 無線妨害、イミュニティ測定装置 ----- ANSI/IEEE291(米)
- CISPR22 情報技術(IT)装置 ----- VCCI(日本)、EN55022、FCC47-Part15,18
- CISPR25 車載受信機
- CISPR32 マルチメディア機器(審議中) ----- CISPR13と22の統合、VCCIに反映予定

IEC(国際電気標準会議)総会 TC77(EMC専門委員会)

- 61000-3-2 入力16A以下の機器の高調波電流エミッション限度値 ----- JIS C 61000-3-2
- 61000-4-3 放射無線周波電磁界イミュニティ試験 ----- JSI C 61000-4-3



広帯域化するノイズ規制

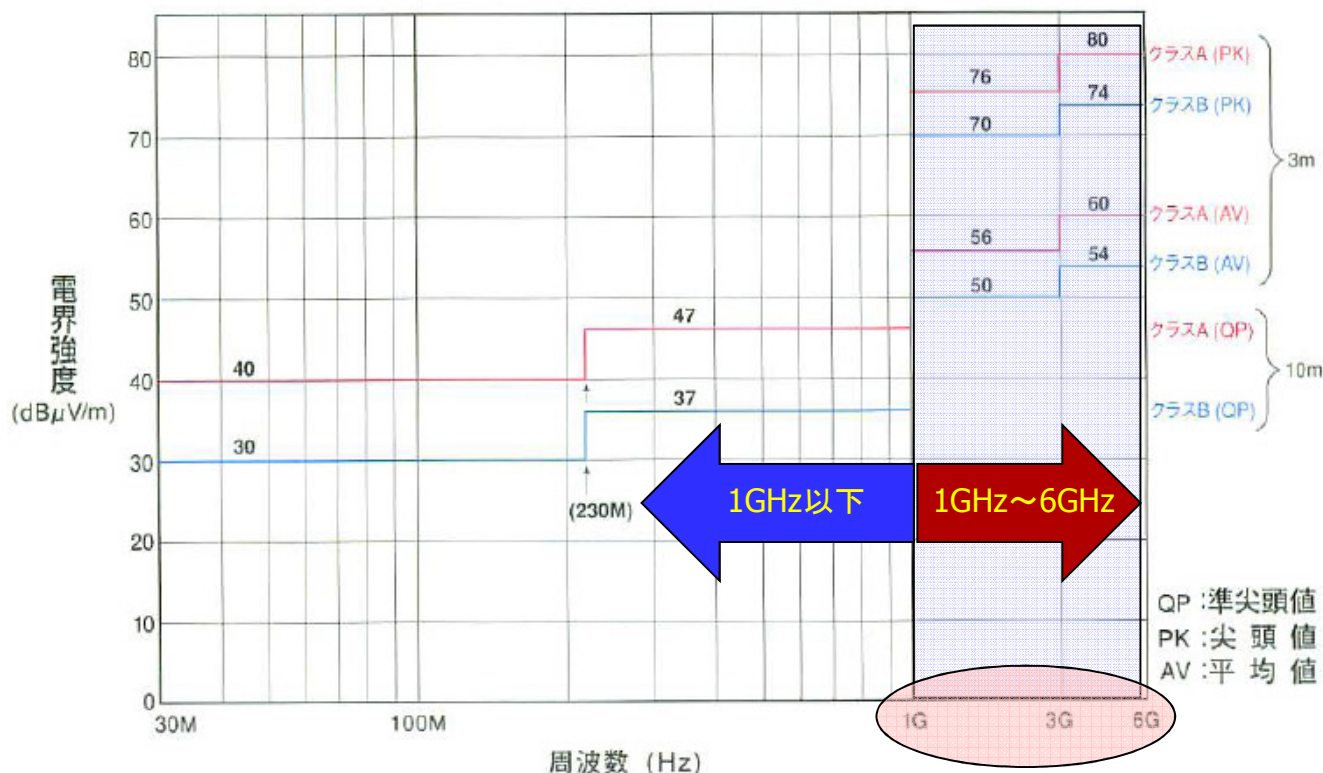
CISPR22 edition5.2, VCCI, EN55022, FCC part15

- 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
- CISPR32でデジタル家電全般に拡大の予定 (CISPR13,22は2017年3月で廃止)

妨害波電界強度の許容値

クラスA/B情報技術装置(測定距離3m/10m)

出典:一般財団法人VCCI協会



CISPR22 edition5.2での測定周波数範囲

- 装置内部で使用している周波数もしくは装置に供給されるクロック周波数によってEMIの測定周波数範囲が決定

EUT内の最高周波数	測定の上限周波数
108MHz未満	1GHz
108MHz以上 500MHz未満	2GHz
500MHz以上 1GHz未満	5GHz
1GHz以上	最高周波数の5倍または 6GHzの低い方

- CISPR32でもCISPR22と同じ値が採用される予定



さまざまなノイズの種類

- 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
- 位相ノイズ
 - クロック・ジッタ
- 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

高速・広帯域化するPCのノイズ環境

■ 通信モジュールの増加&高速化

Bluetooth・モジュール
2.4~2.5GHz

無線LAN・モジュール
2.4GHz, 5~5.8GHz

CPUボード

•SATA3.0 6 Gbps

•DDR3 2.4Gbps

•USB3.0 5 Gbps

•DVI/HDMI1.4 3.4 Gbps

•DisplayPort 5.4 Gbps

•PCI Express 8 Gbps

•Thunderbolt 10 Gbps

**バスクロック周波数
>1GHz**

ハードディスク・ドライブ

ディスプレイ・ドライブ

NFC・モジュール
13.56MHz

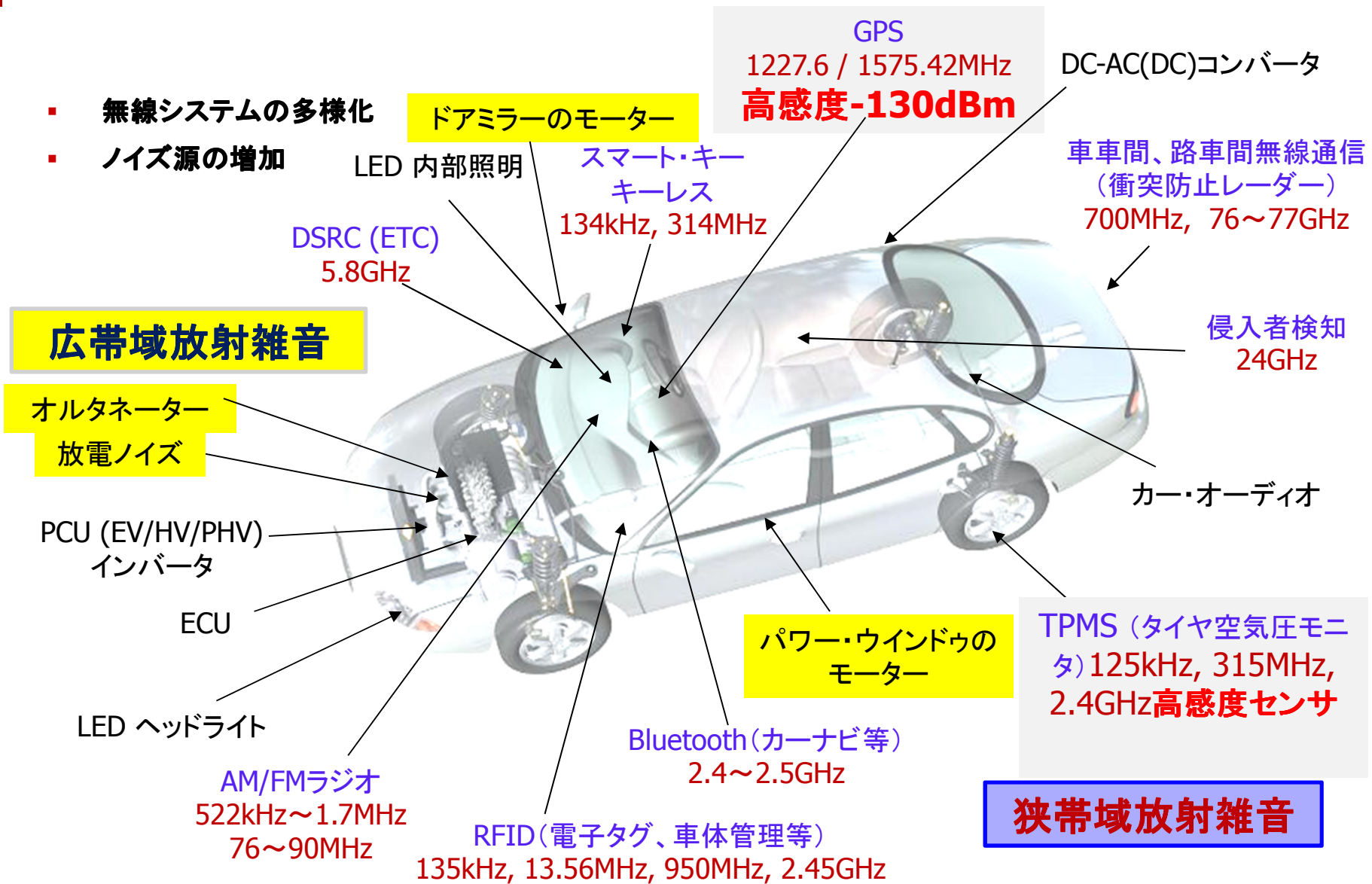
DVDモータドライブ

GPS・モジュール
1227.6 / 1575.42MHz

地上波デジタル
470~770MHz

多様化する自動車のノイズ環境

- 無線システムの多様化
- ノイズ源の増加



ノイズの種類と測定器

■ ノイズ測定全般

- スペクトラム・アナライザ
- 近接界プローブ
- アンテナ



スペクトラム・アナライザ

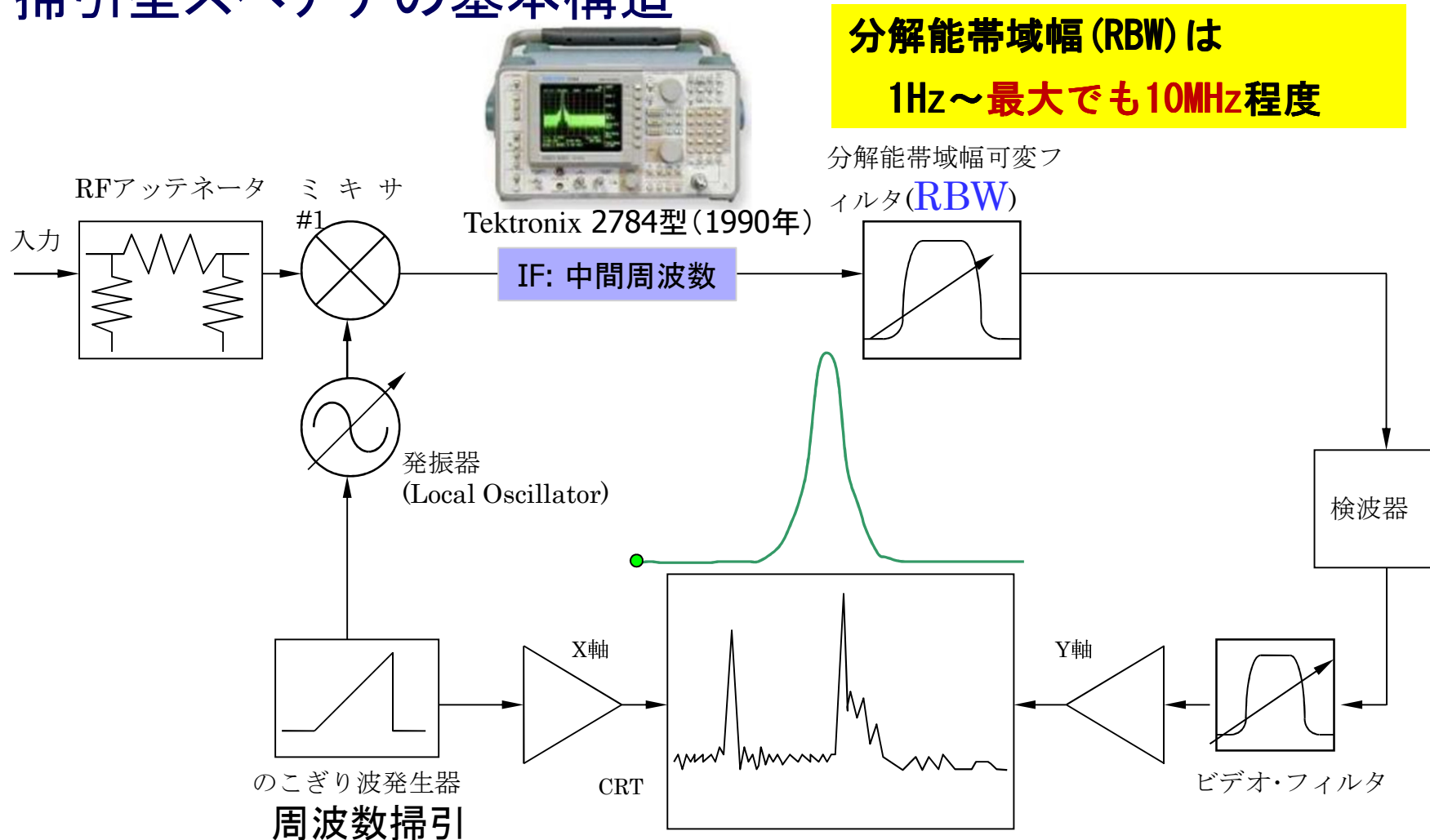
■ インパルスノイズ、サージノイズの測定

- オシロスコープ
- 高電圧プローブ、高圧差動プローブ
- 電流プローブ



オシロスコープ

掃引型スペアナの基本構造

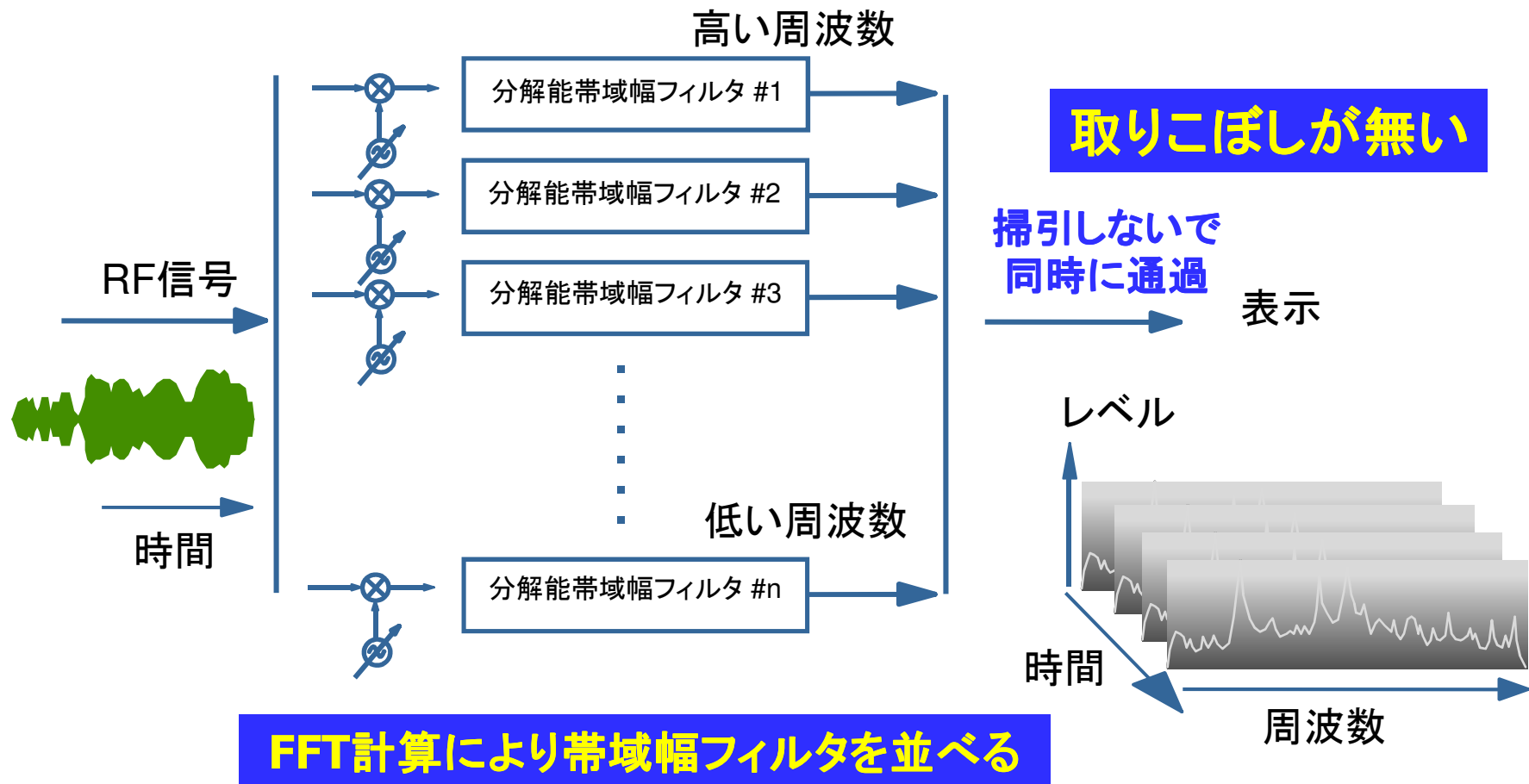


分解能帯域幅 (RBW) は
1Hz～最大でも10MHz程度

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

リアルタイム・シグナル・アナライザ(RTSA)の概念



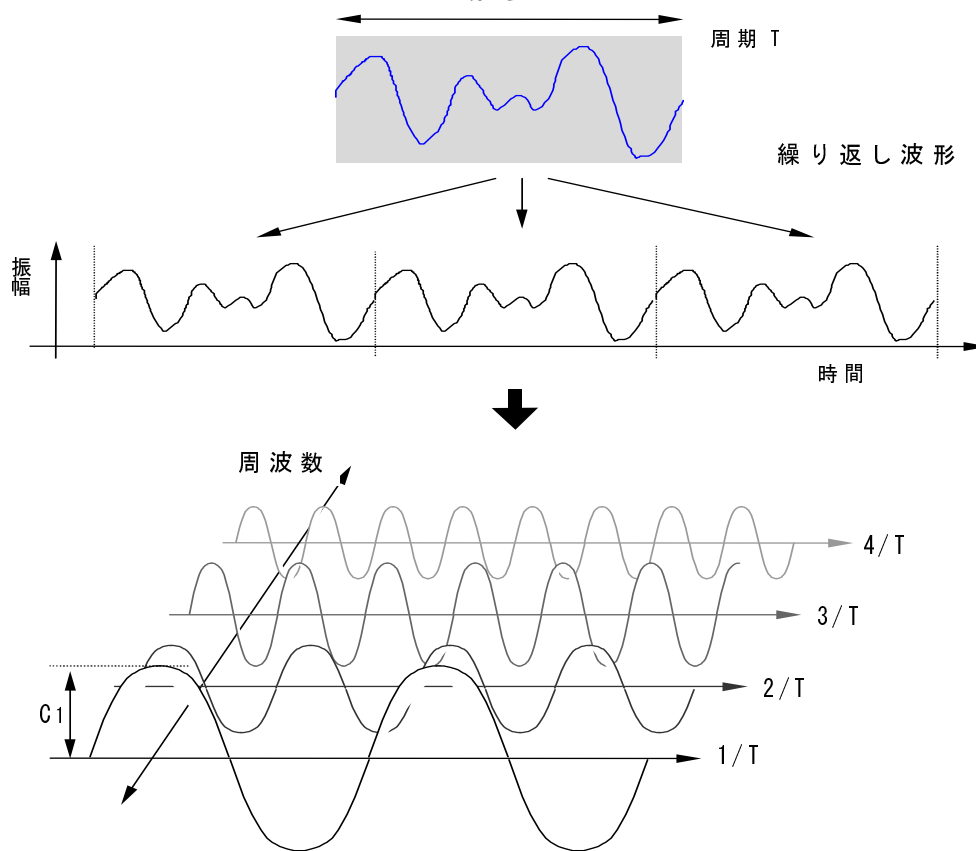
FFTとは？

FFT: Fast Fourier Transform (高速フーリエ変換)

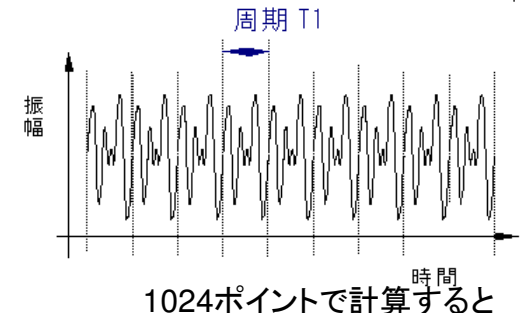
あらゆる信号は、さまざまな周波数の正弦波の組み合わせで成り立っています。

$$X(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{-2\pi kn/N}$$

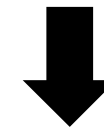
離散フーリエ変換(DFT)を高速に行うのがFFT



オシロスコープ表示

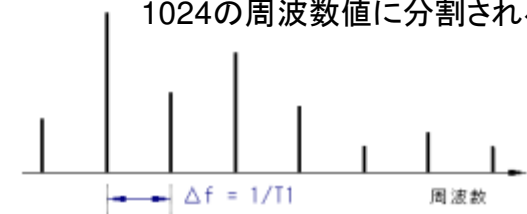


1024ポイントで計算すると



FFT計算

1024の周波数値に分割される

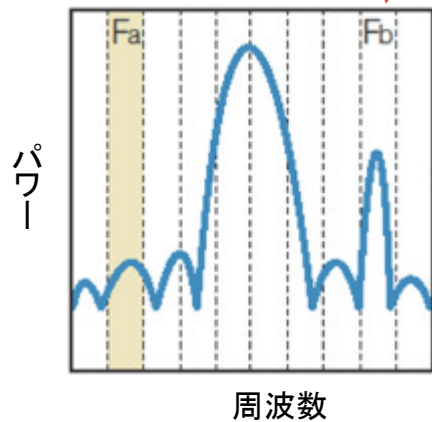


スペアナ表示

FFT方式のスペアナは速い

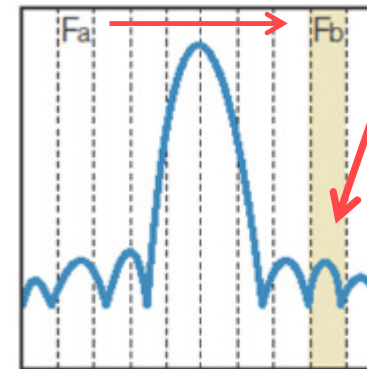
■ 掃引型スペアナ

- アナログ掃引方式



Faを見ている時、Fbは見えていない

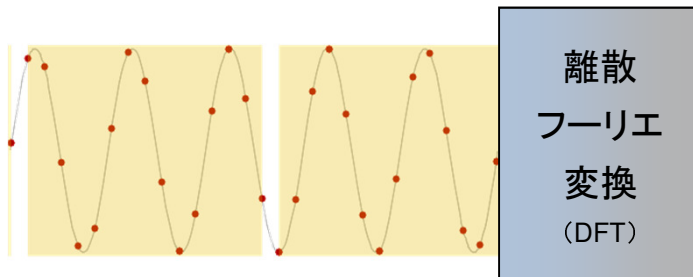
最速
1m秒
で掃引



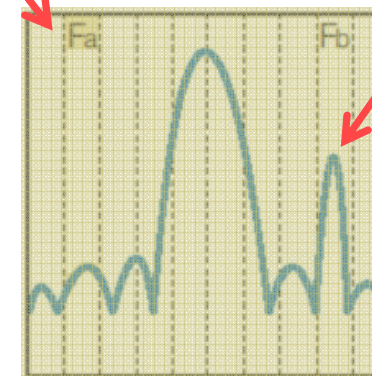
FaからFbまで掃引した時には、Fbは消えている。

■ FFT方式のスペアナ

- デジタル計算方式



最速
200n秒
で
FFT



Faを見る時、Fbも同時に見えている

磁界プローブと電界プローブ

- 磁界プローブ

- 電流の変化を測定
- 構造はループアンテナ+静電シールド



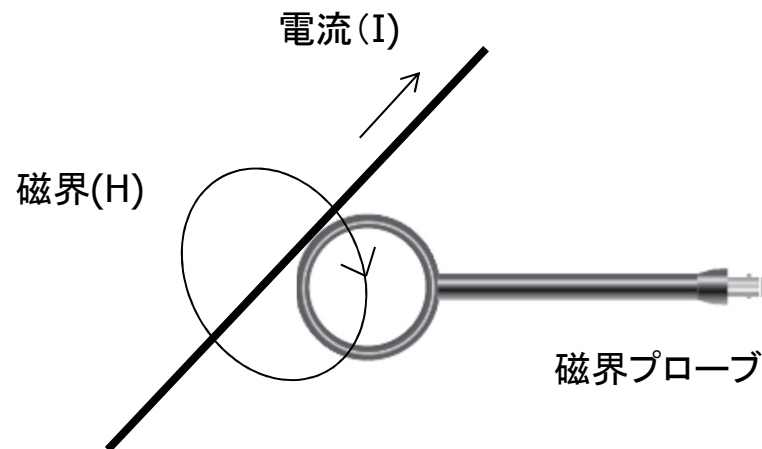
- 電界プローブ

- 電位の変化を測定
- 構造は電界検出用の電極のみ



アンペアの法則

- アンペアの右ねじの法則
 - 電流が流れると、右ねじの方向に磁界が発生する

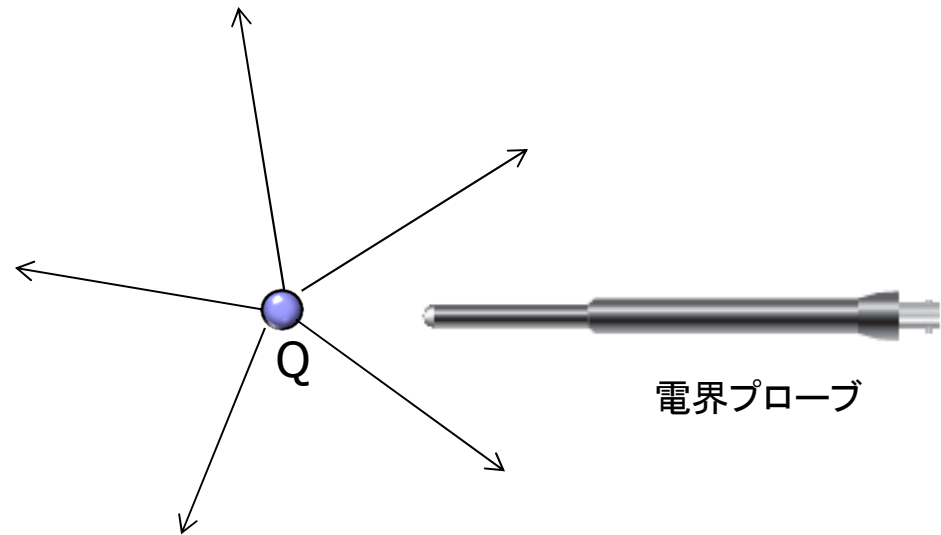


ガウスの法則

- 電荷と電場の関係

$$4\pi r^2 E = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

E: 電界の強さ
Q: 点電荷
 ϵ_0 : 真空中の誘電率



ノイズの発生源を探索する 近接界プローブの使い方

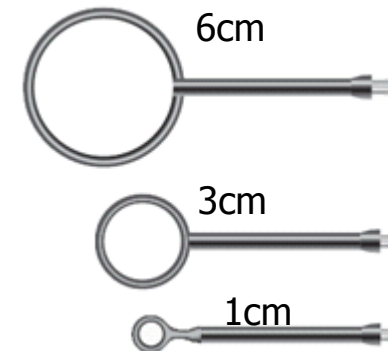
■ 近接界プローブを使用するメリット

- コスト
 - 卓上での手軽なノイズ対策
 - PCBの部品レベルでのノイズ対策
- 時間短縮
 - 電波暗室使用の順番待ちが不要

■ 近接界プローブの種類と用途

- 電界プローブは電圧、磁界プローブは電流検出
- ノイズの発生源を探索する。
- 磁界(H)プローブは径が大きいほど感度が良い

磁界(H)プローブ



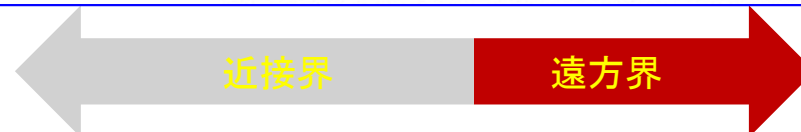
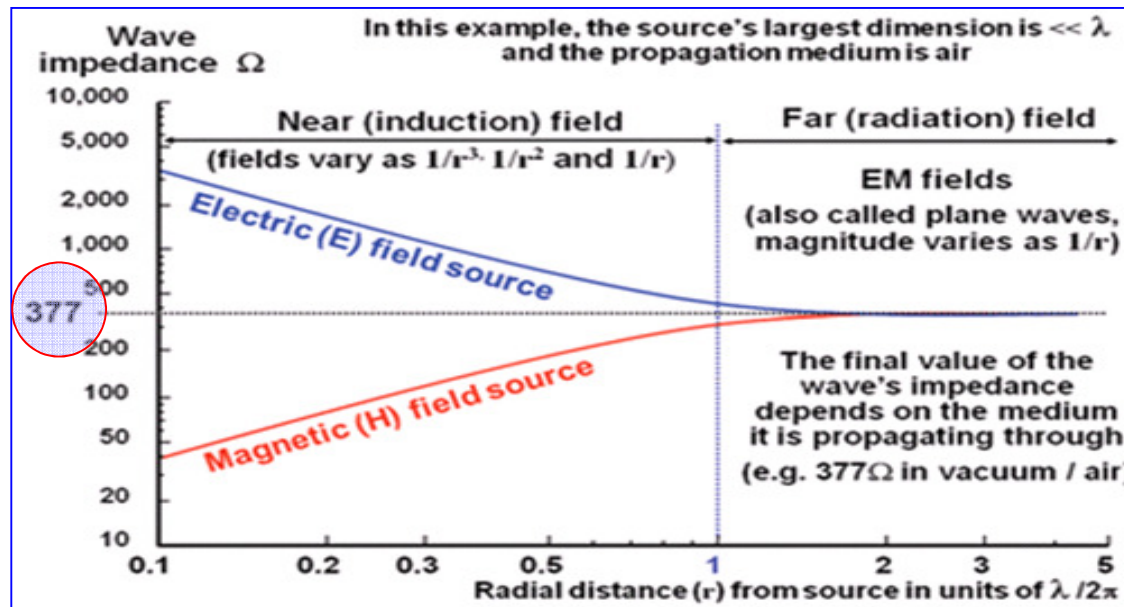
電界(E)プローブ



ノイズの発生源を探索する 近接界プローブの使い方

■ 近接界と遠方界の違い

- 遠方界では波動インピーダンス $Z_w = E/H = 377(\Omega)$ が一定なので磁界強度 $H(A/m)$ と電界強度 $E(V/m)$ は相互に換算することができる
- 近接界は換算できないので磁界(H)と電界(E)は個別に測定する。
- $L(\text{距離}) = \lambda(\text{波長}) / 2\pi$ 又は $2D^2(\text{アンテナ径}) / \lambda$ 以遠が遠方界。



近接界(近傍界)と遠方界

■ 遠方界

- 電磁波は平面波として扱える
- 電界と磁界が安定して存在
- 空間インピーダンスは 377Ω (E/H)
- 電界強度は距離の2乗に比例して減衰
- 電界(磁界)を測定すれば磁界(電界)は計算で求まる

■ 近接界

- ノイズ源及びアンテナの寸法が無視できない
- 電界と磁界の関連は定義できない
- 空間インピーダンスは不定
- 電界強度は距離の2乗に比例しない
- 電界だけ、磁界だけの測定では全体像が把握できない

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)

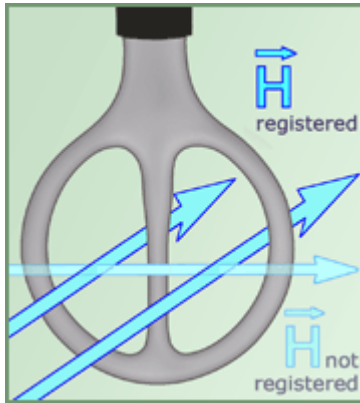
パソコンを付ける
端子を判別できる



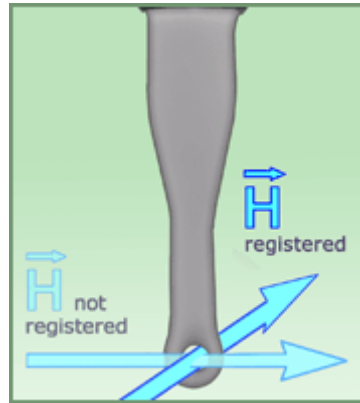
ドイツ LANGER社製

国内連絡先: TSSジャパン
<http://www.tssj.co.jp/>

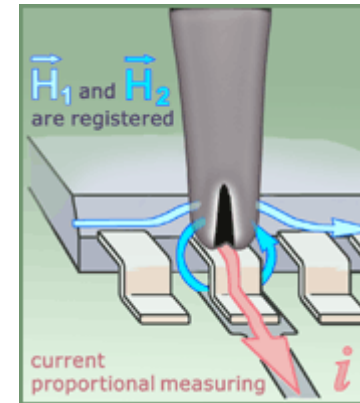
微細ピッチの近接界プローブ(詳細)



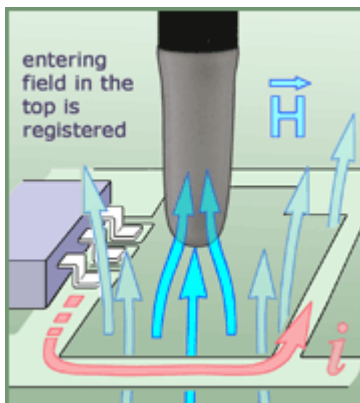
磁界プローブ
直径: 25 mm



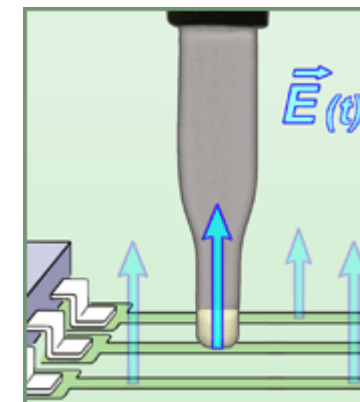
磁界プローブ
空間分解能: 1 mm



磁界プローブ
空間分解能: 0.5 mm



垂直磁界用プローブ
空間分解能: 2 mm



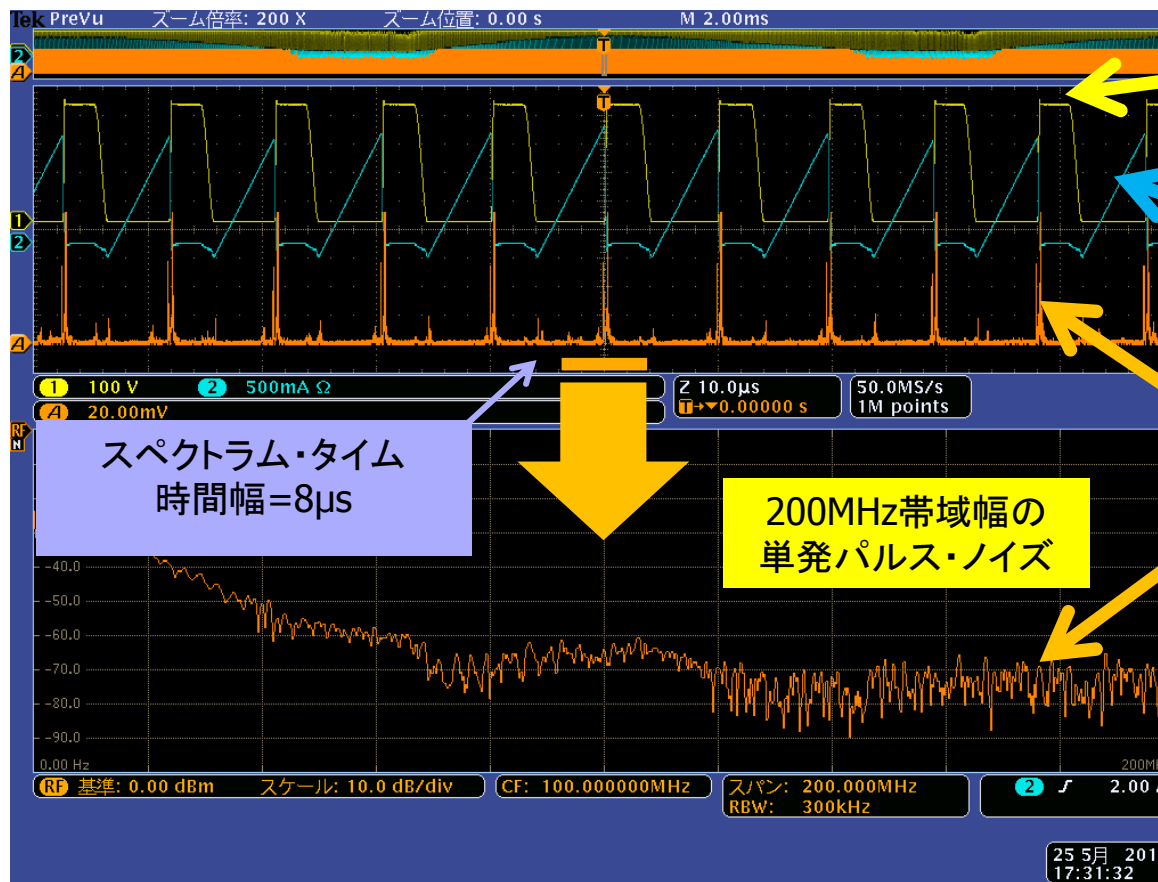
電界プローブ
空間分解能: 0.2 mm

広帯域・変動ノイズ測定 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

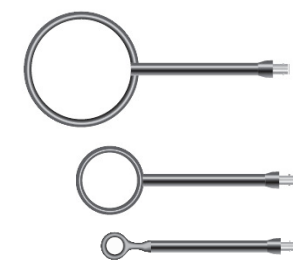
(力率改善回路内蔵電源)



黄色トレース:
PFCのソース・ド
レイン電圧

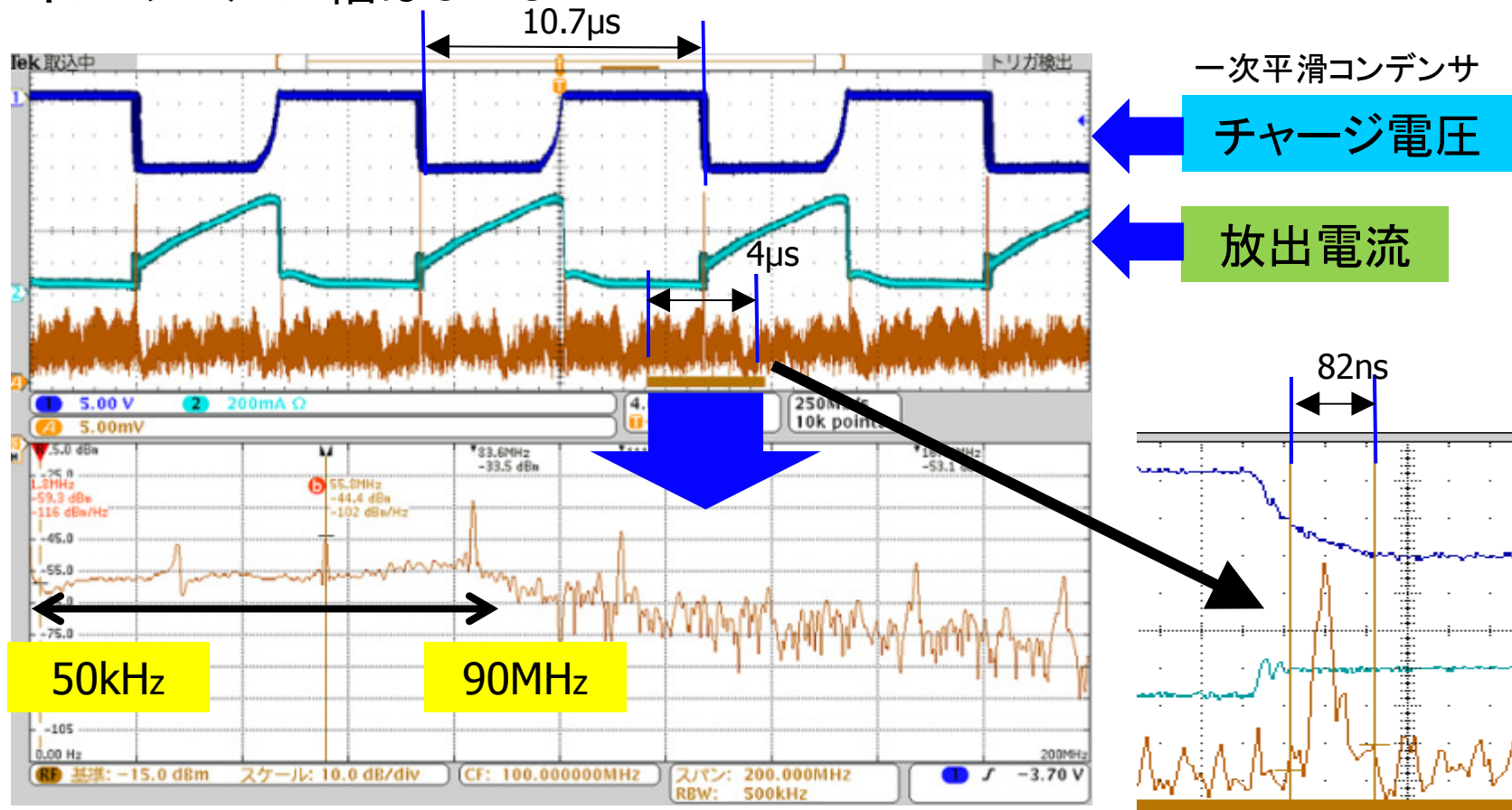
青色トレース:
PFCのドレイン
電流

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



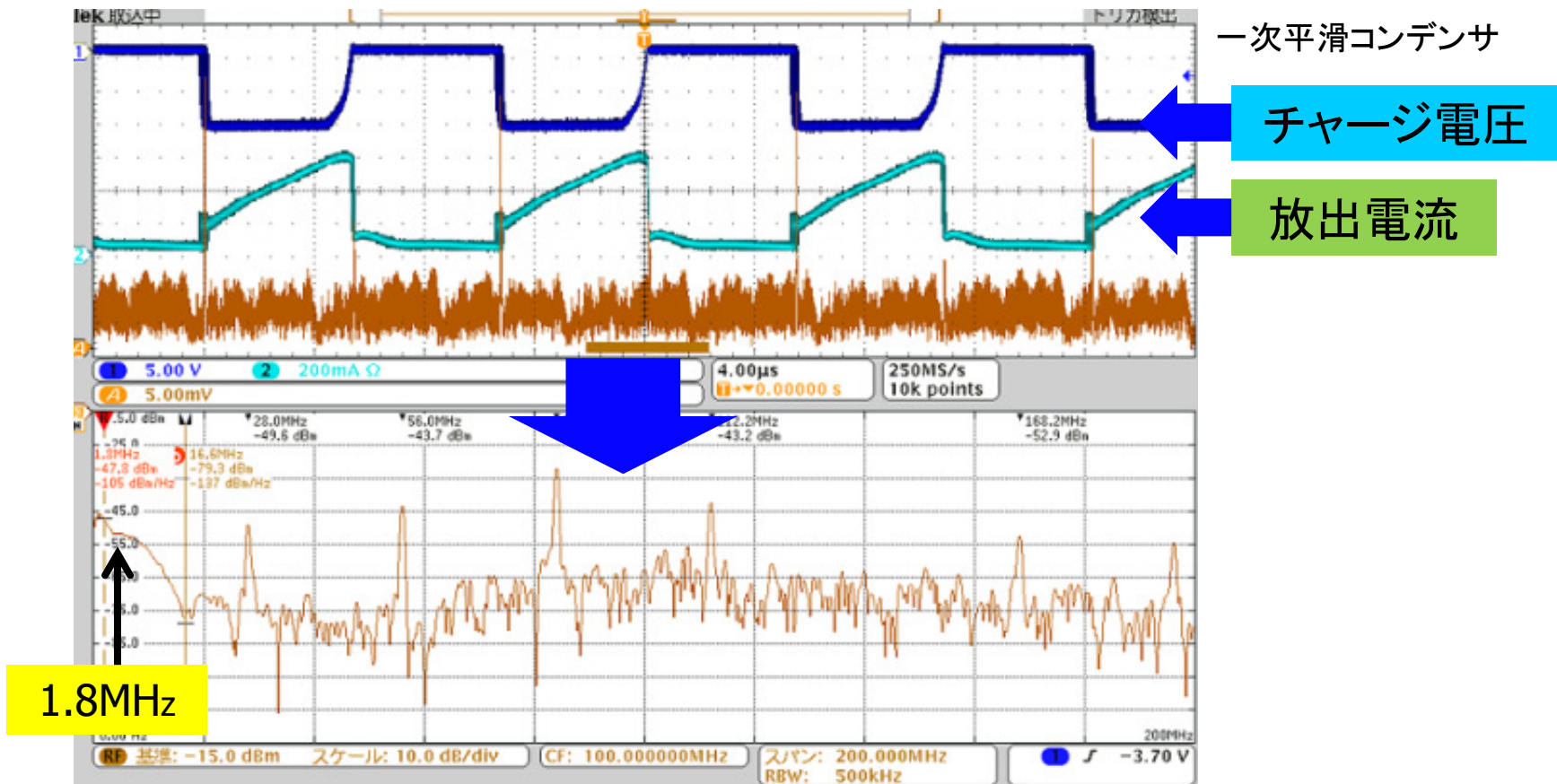
広帯域パルスノイズ測定 スイッチング電源のノイズ測定例

- **チャージ電圧**の立下がり時に50kHz~90MHzの**広帯域ノイズ**発生
- ノイズのパルス幅は82ns



広帯域パルスノイズ測定 スイッチング電源のノイズ測定例

- 放出電流の立下がり時は1.8MHzの狭帯域ノイズ発生



基板(PCB)レベルでのノイズ対策の重要性

- **ノイズの発生源に対策を打つ**⇒コスト・ダウン、品質向上
- **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



比較的安価な設備投資金額

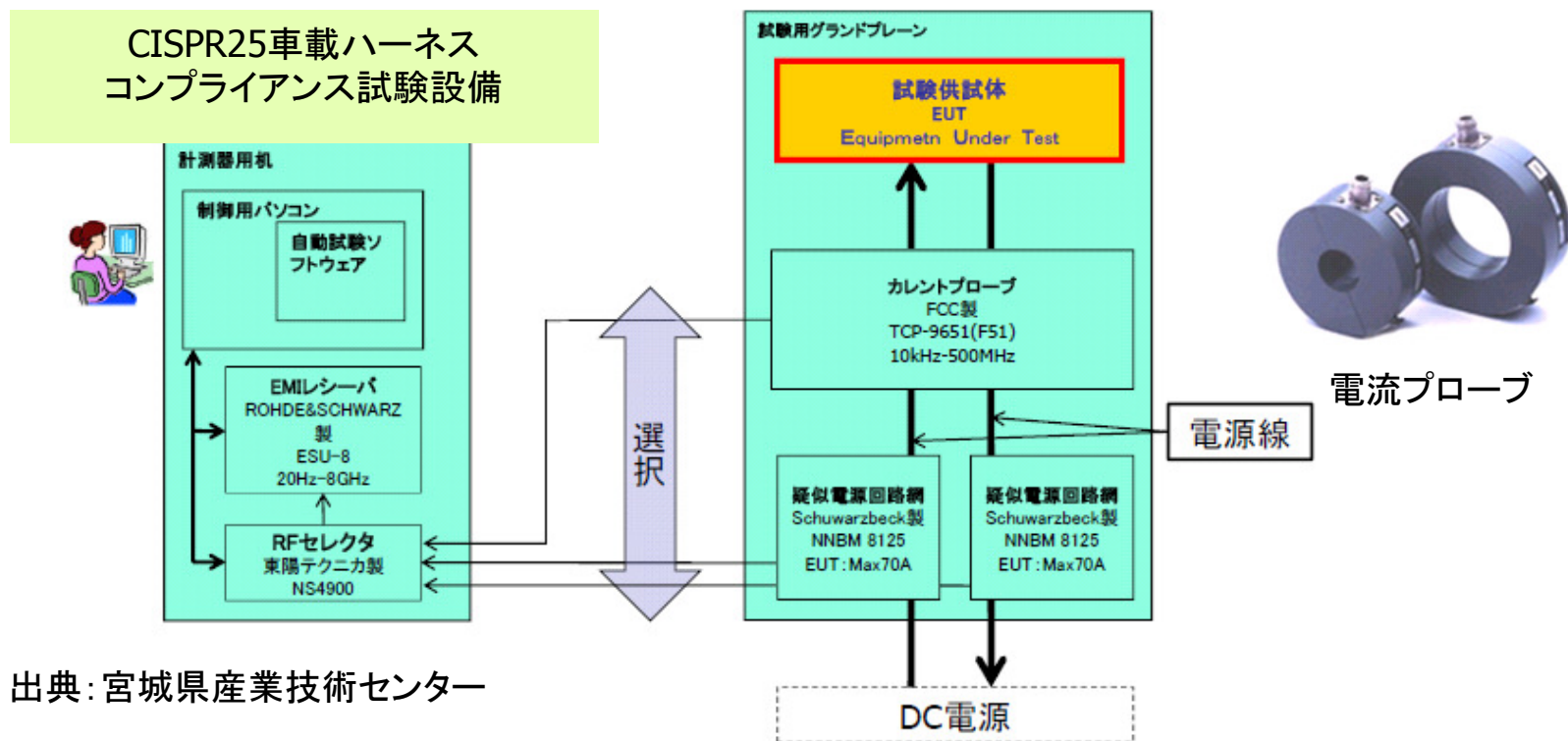
シールド・テント シールドBOX 電波暗箱



50~150万円 -30~-80dB

(例)自動車ワイヤ・ハーネスのノイズ対策

- CISPR25の規格に従いコンプライアンス試験を行った結果、対策が必要
- ハーネスに**シールド対策**を行うと**コスト高**になるので、ECU/PCUのPCB側にノイズ対策を行う
⇒ **トータルコスト削減**

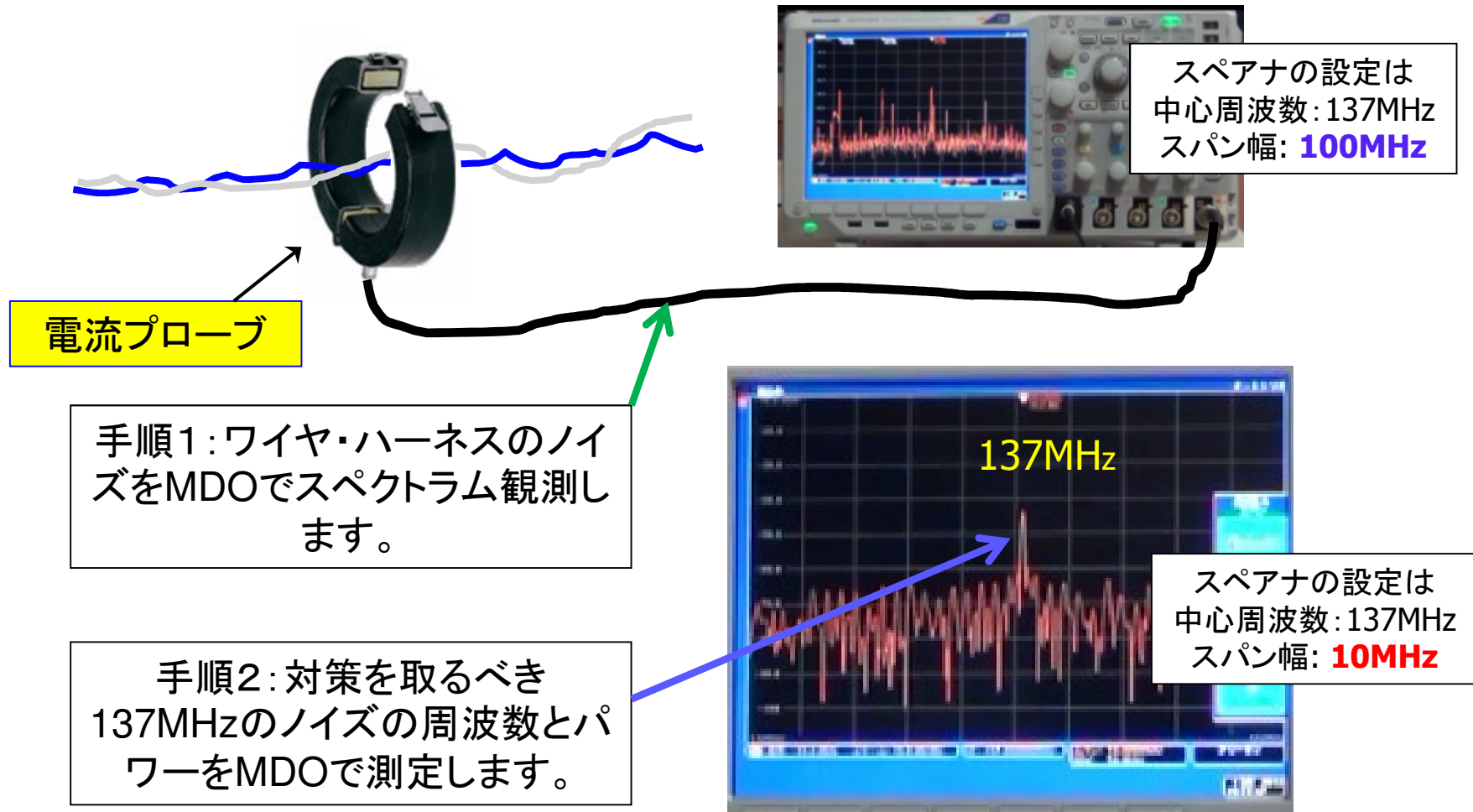


出典:宮城県産業技術センター

伝導エミッション測定時の構成

狭帯域・変動ノイズ測定 自動車ワイヤ・ハーネスのノイズ対策事例

- （事例）ハーネスの137MHzの伝導ノイズ対策



自動車ワイヤ・ハーネスのノイズ対策事例

ノイズ発生源探索用の
近接界プローブ



手順3:ハーネスが接続されている制御回路上のノイズを近接界プローブで探索してMDOで周波数観測します。

手順4:MDOスペアナのRF振幅対時間表示を使用して、対策を取るべき137MHzのパワーの時間変動を測定します。

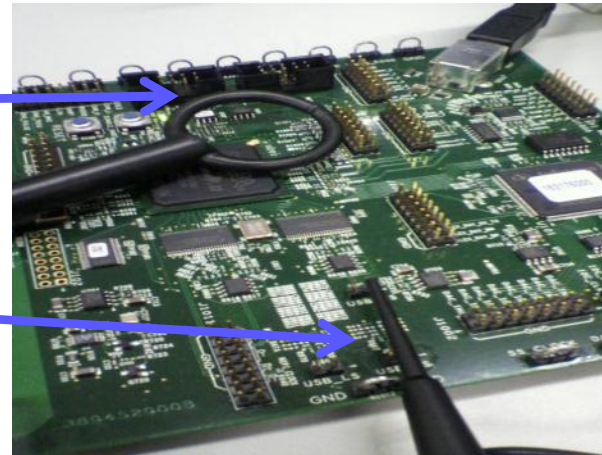
掃引型スペアナではゼロスパンの帯域幅をRBWで設定しますが、MDOは**スパン幅 (10MHz)**が時間軸の帯域幅になります。



自動車ワイヤ・ハーネスのノイズ対策事例

手順5: 137MHzの放射ノイズがどの部分から放出されているか探索します。

手順6: 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探索します。

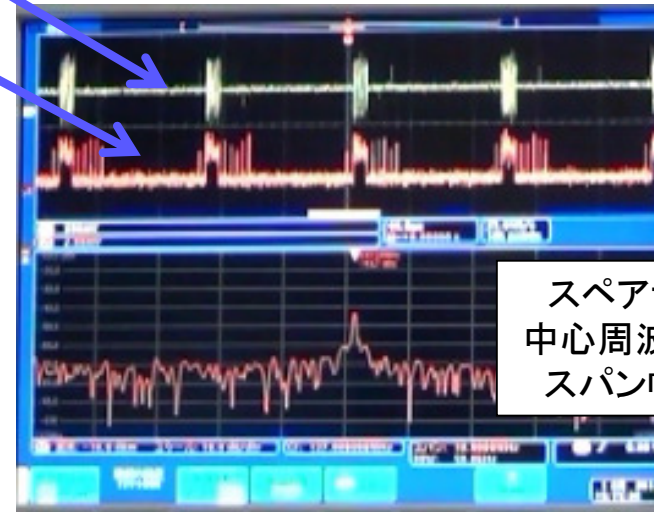


オシロスコープのch1測定

スペアナの振幅対時間測定

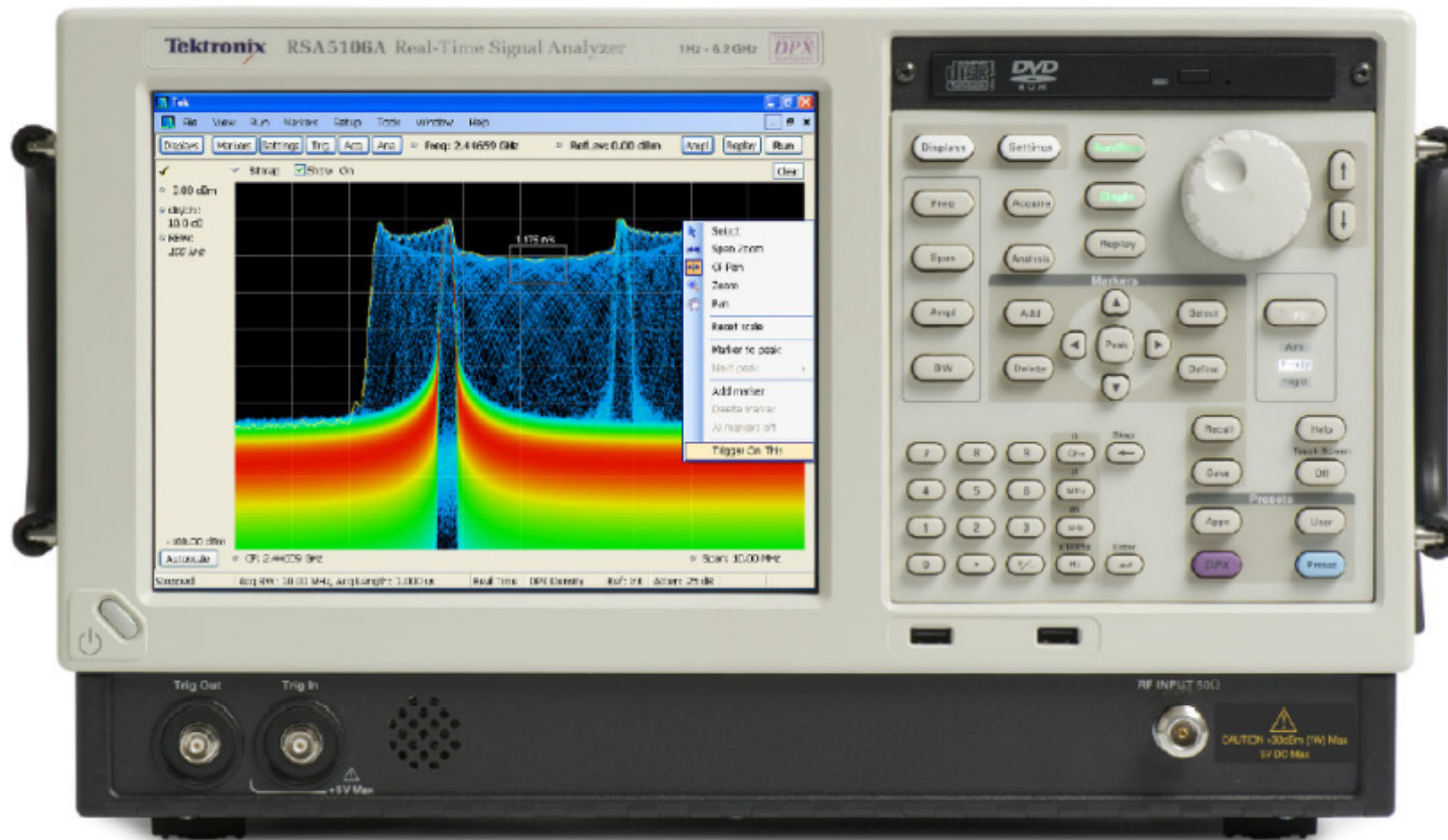
手順7: MDOでオシロとスペアナの時間軸の挙動を同一タイミングで測定表示し原因特定します。

手順8: 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す。



スペアナの設定は
中心周波数: 137MHz
スパン幅: **10MHz**

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



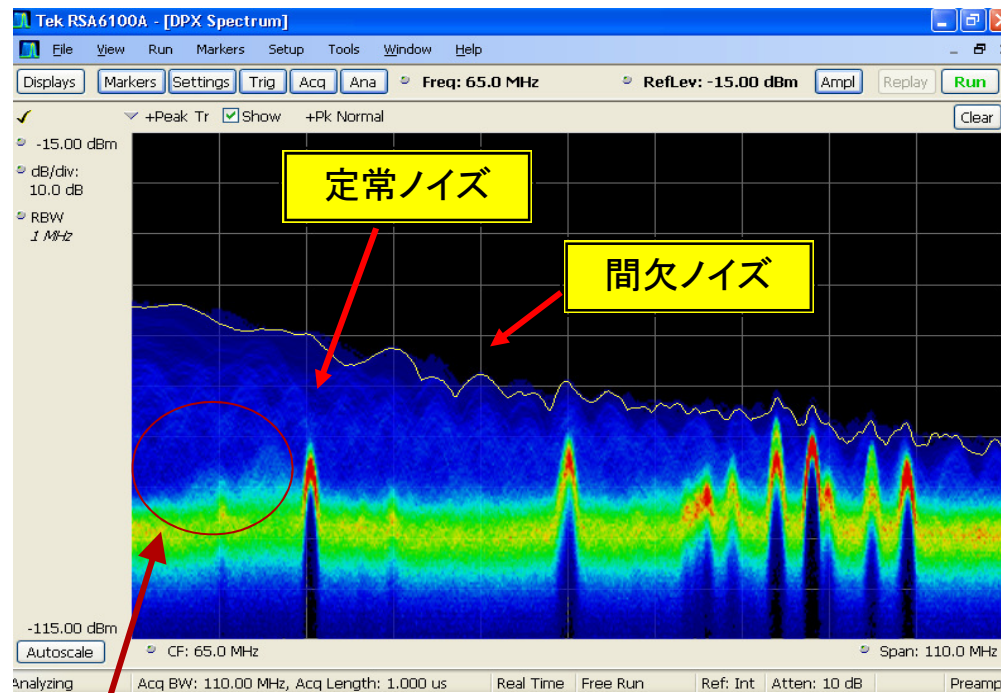
RFノイズの「可視化」

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

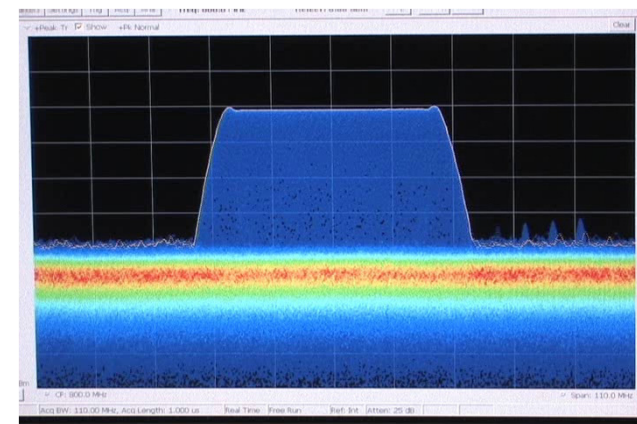


色表示でスペクトラムの発生頻度を表す。

赤:高頻度 青:低頻度



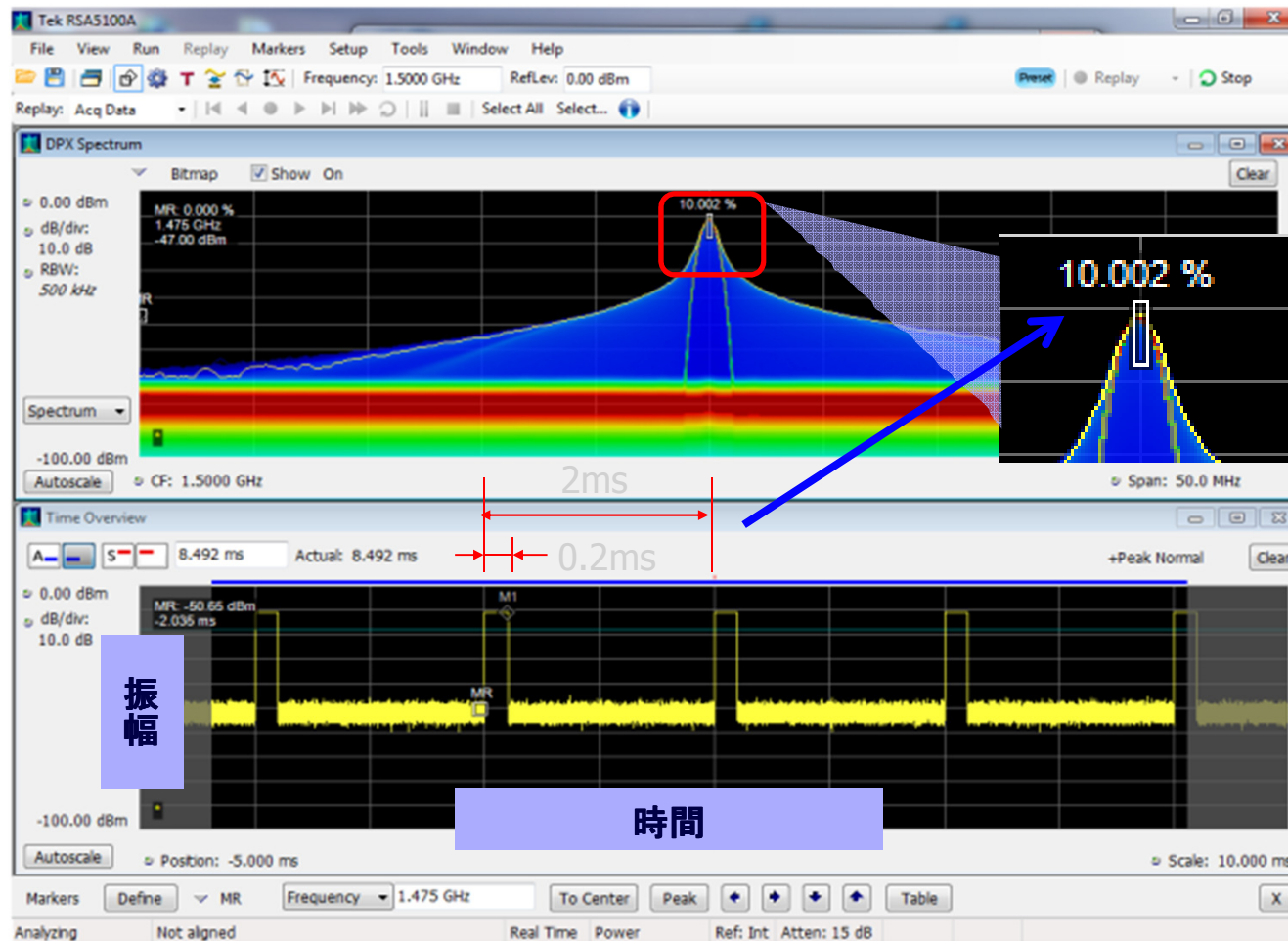
FM波へ侵入する間欠ノイズ



ノイズの電波密度%計測 (最大110MHz帯域幅)

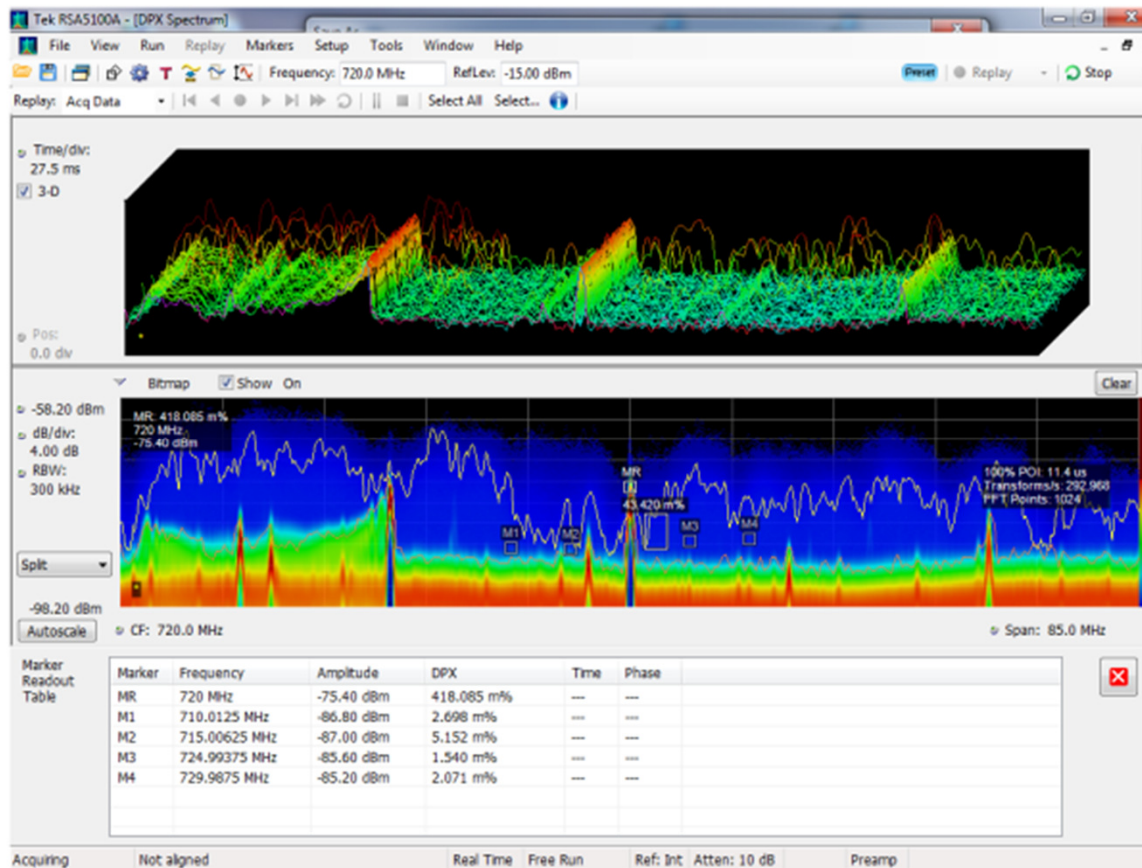
DPX表示の残光時間を「無限大」に設定

- 取りこぼしのない時間軸の存在確率%を計測(最大8時間)



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

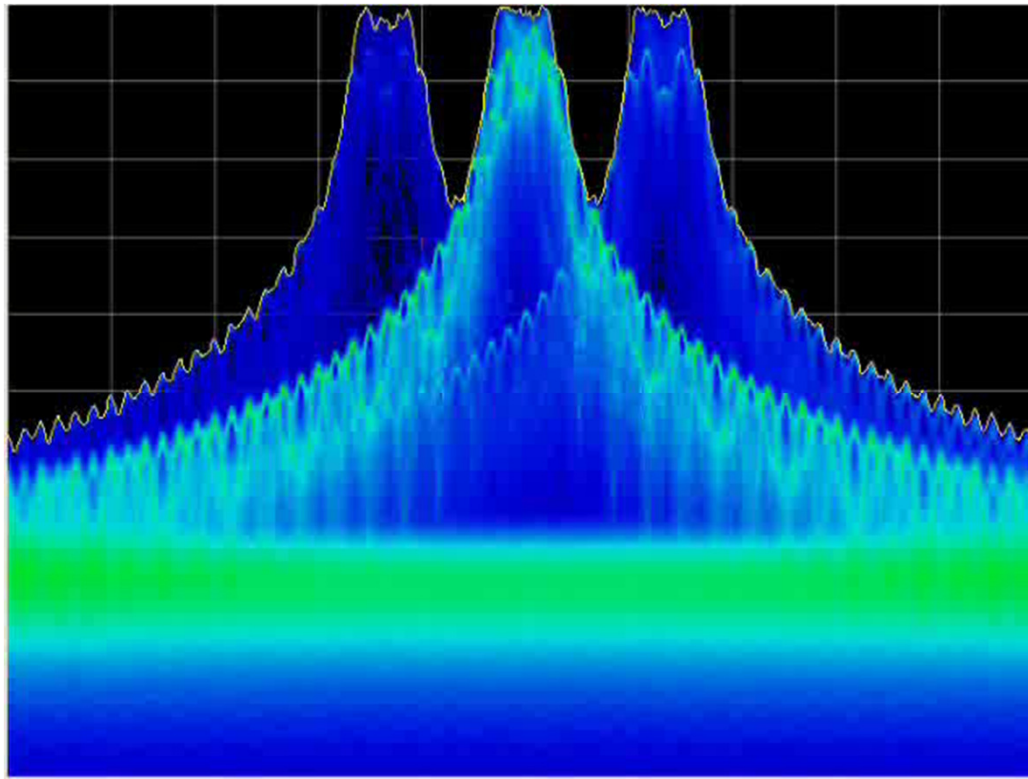
Time Resolution	Trace Length: 801 pts Max: 60Ktraces
110 us	6.6 sec
220 us	13.2 sec
550 us	33 sec
1 ms	60 sec
5 ms	5 min
10 ms	10.0 min
100 ms	100 min
1 s	16.7 h
10	166.7 h
60	42 d
600	416.7 d
6400	4444.4 d

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)

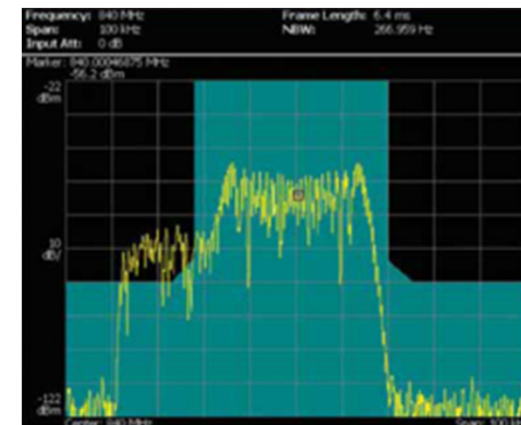
* Tektronixパテント

- 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。

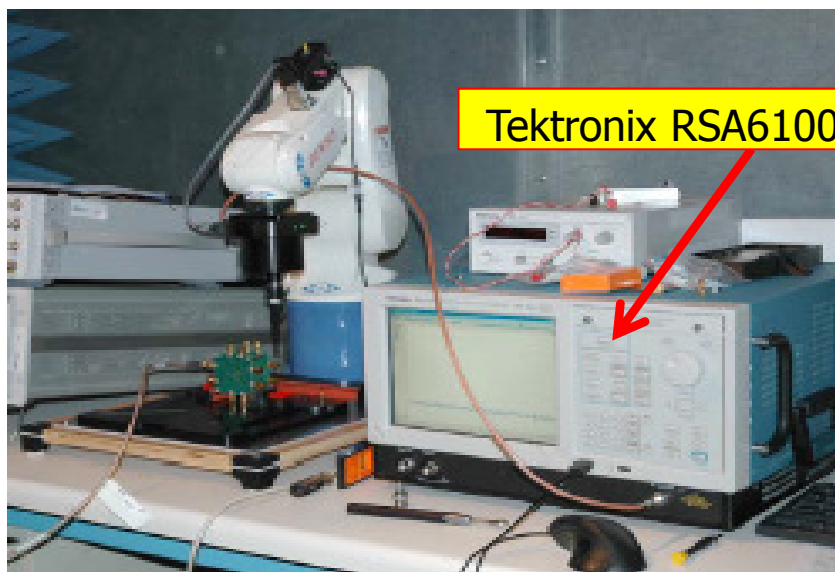


従来の周波数マスク・トリガ



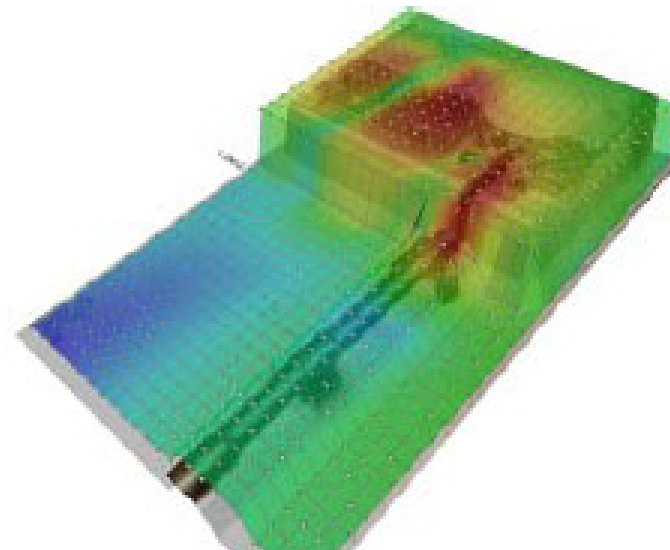
全自動ノイズ・スキャン・システム

- 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
- 3m法、10m法の近似計算ソフトウェア

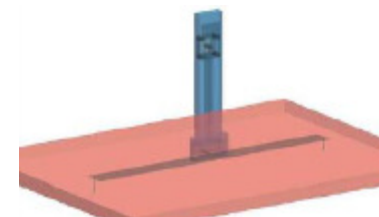


Tektronix RSA6100型

APREL社製 EM-ISight
国内連絡先: 林栄精器株式会社
<http://www.repic.co.jp/>



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

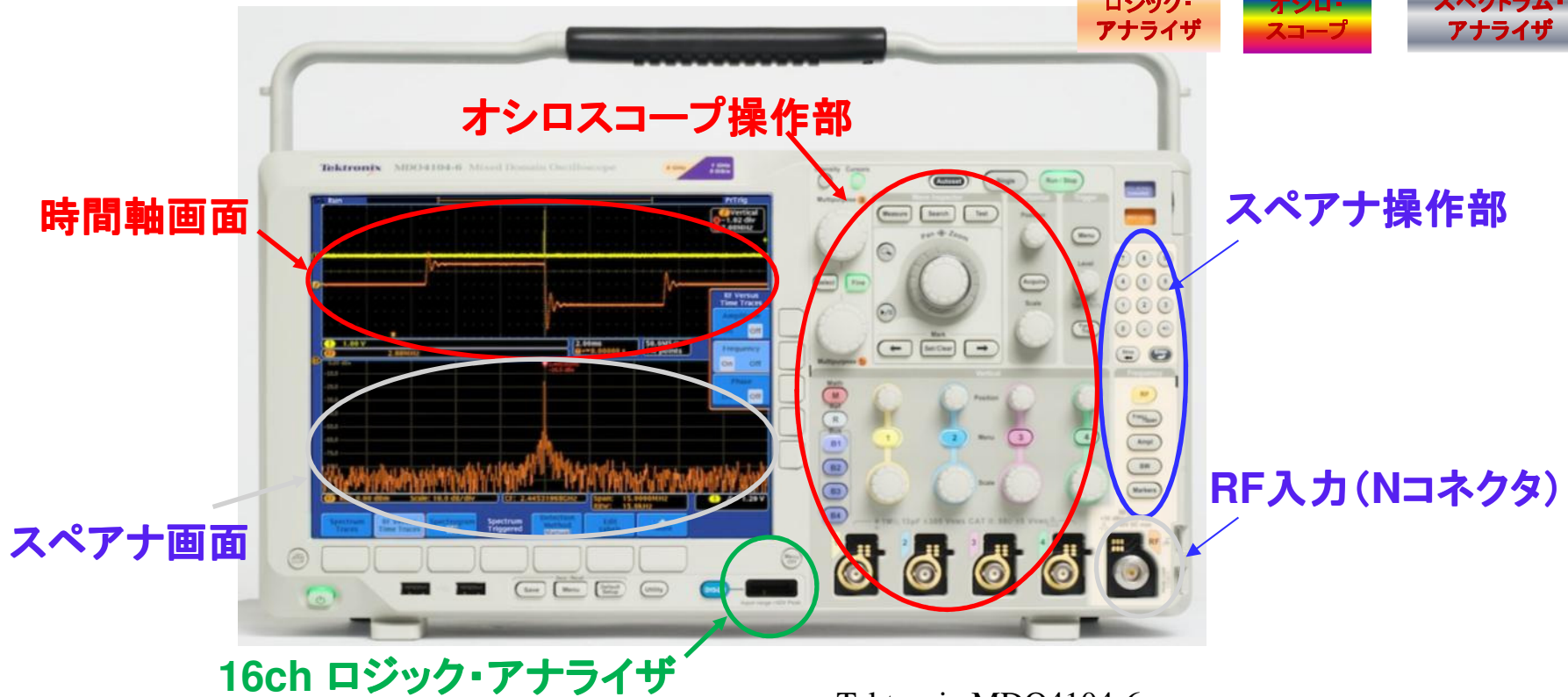
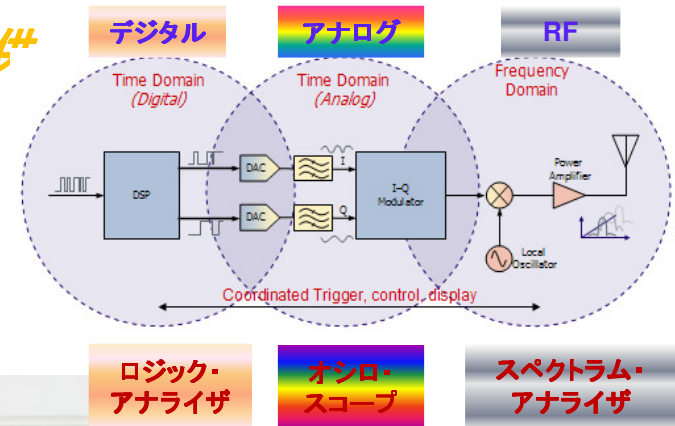
EM-ISightの特徴

- 電波暗室/簡易シールド内での測定が可能
 - － 設計部門の近くで測定が可能
- 近傍界の測定結果から3m/10mサイトでの測定結果を予測
 - － 高精度の予測アルゴリズムを採用
- RSA5000/6000シリーズとの組み合わせによる高速スキャン
 - － 高分解能と測定時間の両立
- 10kHz～20GHzまで1本のプローブで対応
 - － 測定中のプローブ交換が不要
- 茨城県つくば市にデモ用の測定サイトを常設
 - － 実機を持ち込んで検証が可能

MDO4000 ミックスド・ドメイン・オシロスコープ

アナログ／デジタル／RFの時間相関 測定を1台で提供

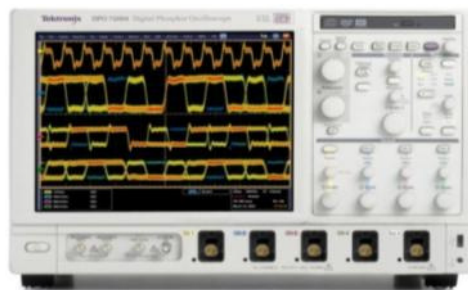
1GHz x 4ch のオシロ +
6GHz x 1ch のスペアナ +
ロジアナ x 16ch = 全21ch



Tektronix MDO4104-6

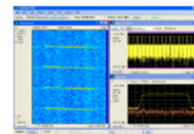
Tektronixオシロスコープ用 SignalVu ベクトル解析ソフトウェア

オシロ・スコープ



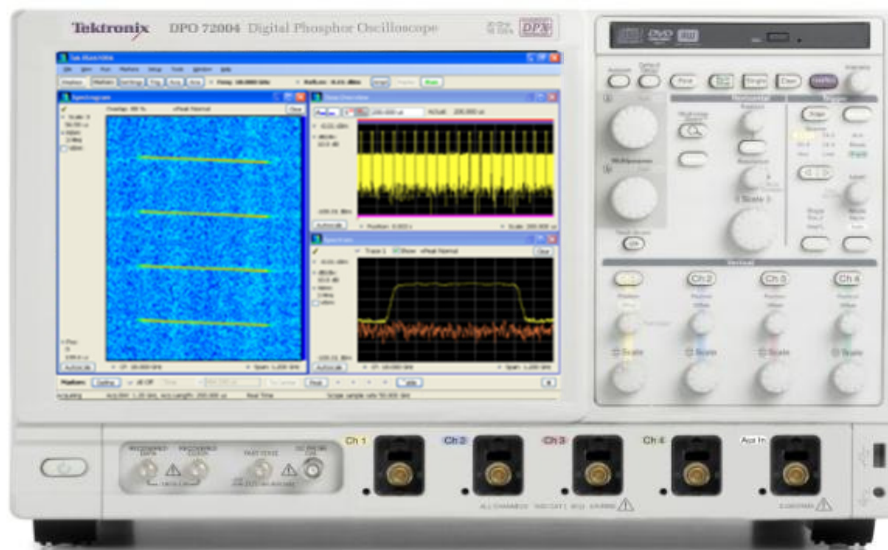
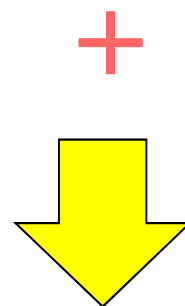
DPO/MSO5000シリーズ
DPO7000シリーズ
DPO/DSA/MSO70000シリーズ

ベクトル解析ソフトウェア



SignalVu-SVE
SignalVu-SVM
SignalVu-SVP

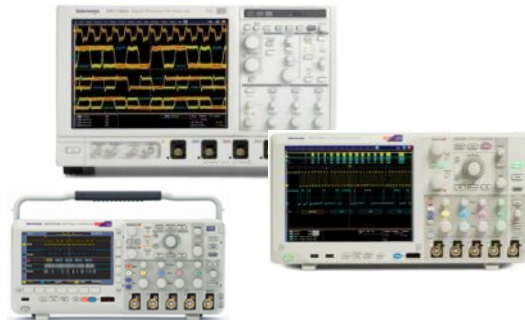
基本ソフト
デジタル変調解析機能
パルス解析機能



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

オフライン解析用 SignalVu-PC ベクトル解析ソフトウェア

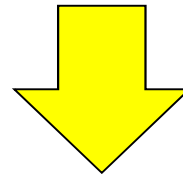
オシロスコープ



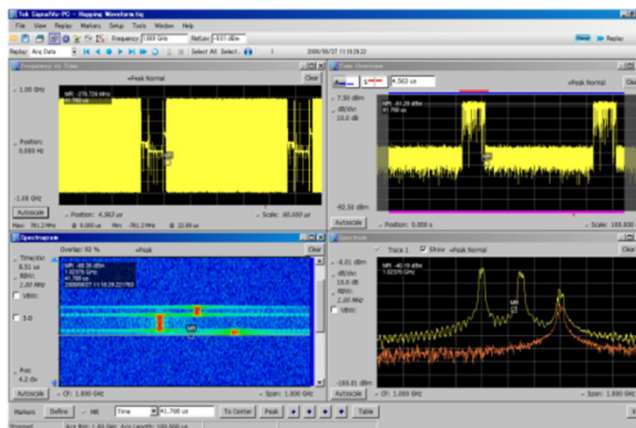
リアルタイム・スペクトラム・アナライザ



MDO4000



TIQ、WFM、ISFファイル



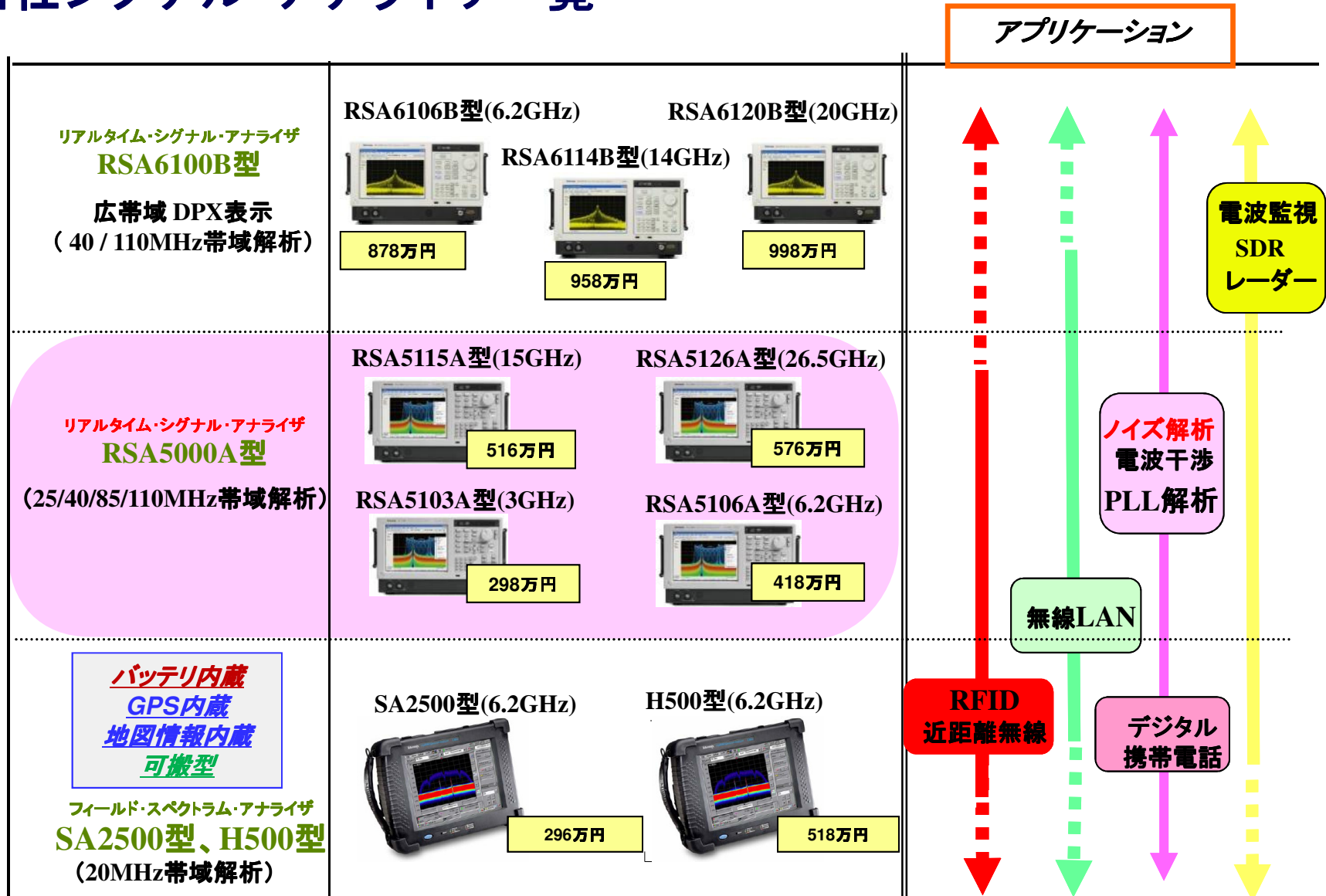
SignalVu-PC-SVE
SignalVu-PC-SVM
SignalVu-PC-SVP
SignalVu-PC-SVO

基本ソフト
デジタル変調解析機能
パルス解析機能
OFDM解析機能


SignalVu-PCEDU

教育機関向けパッケージ

参考:リアルタイム・スペクトラム解析技術を用いた 当社シグナル・アナライザー一覧



価格は2013年7月現在の価格です。



本テキストの無断複製・転載を禁じます。テクトロニクス/ケースレーインストルメンツ
Copyright © Tektronix, Keithley Instruments. All rights reserved.

www.tektronix.com/ja
www.keithley.jp/

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

Tektronix[®] 
A Tektronix Company