

# 近距離ワイヤレス・ネットワークと障害解析



テクトロニクス・イノベーション・フォーラム2011

小野寺 伸之

[www.tektronix.com/ja](http://www.tektronix.com/ja)

# 目次

- 近距離無線ネットワークとアクセス・ネットワーク
- Wireless のシーン
- Wireless ネットワークの規模
- Wireless ネットワークとスタンダード
- 通信規格の比較
- Wireless の市場動向
- Wireless の問題点
- 混雑の増大
- 小電力近距離無線通信技術
- 周波数チャンネル(中心周波数)
- 送信電力
- コンプライアンス／テスト／評価
- レギュレーション(電波法)
- コンプライアンス・テスト
- 良く見かけるトラブル例
- トラブルの原因
- データ・レートが低下または停止する要因
- 信号送出のタイミン
- データ・レートを低下させない工夫
- 外部環境
- RFデバイスの問題
  - 実装の問題
  - 内部・外部ノイズの影響
  - 送信相互変調
  - 周波数／チャンネル選択性能
  - 入力感度
  - CAA の性能確認
- 2つの新しい計測器
  - MDO のメリット
  - DPX Live スペクトラム表示
  - DPX Live スペクトラム + Density トリガ
  - 可能になる事

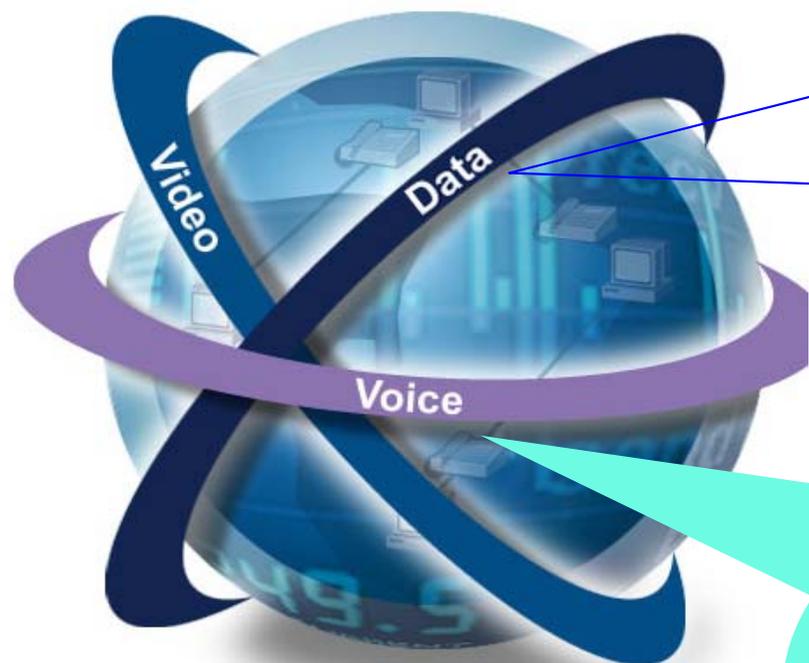
# 近距離無線ネットワークとアクセス・ネットワーク

- ユビキタス社会が着実に実現しつつある

パーソナル・エリア・ネットワーク



近距離無線ネットワーク



有線によるブロードバンド・ネットワーク  
IMT2000 によるグローバル・ネットワーク

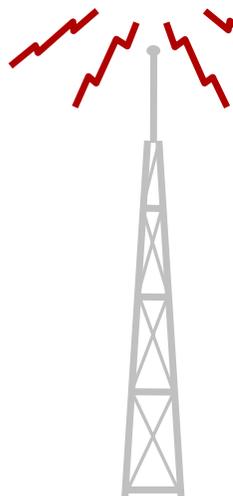
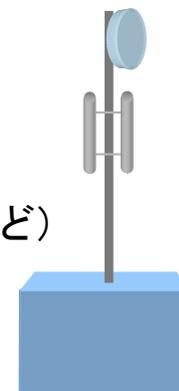
無線ネットワーク・アクセス



# Wireless のシーン



IMT-2000  
(3GPP,  
3GPP2,  
HSDPA,  
HSUPA など)  
WiMax



TV 衛星放送  
TV 地上波放送  
(データ放送含む)  
(フル・セグ、ワン・セグ)  
AM/FM 放送

ホーム・エリア・ネットワーク

# Wireless のシーン



GPS 衛星



キーレス・エントリー  
ナビゲーション (GPS)  
空気圧センサー  
車々間通信  
衝突防止



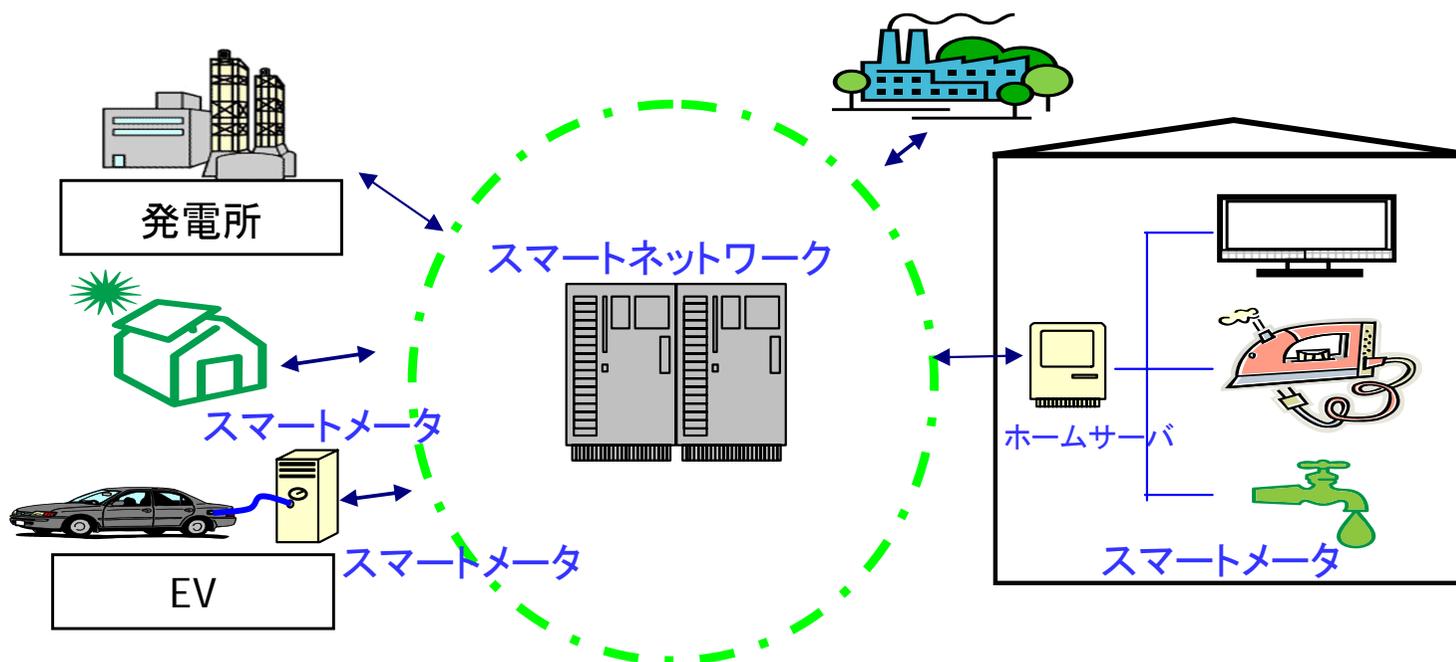
Suica, PASMO, etc.

ETC/DSRC



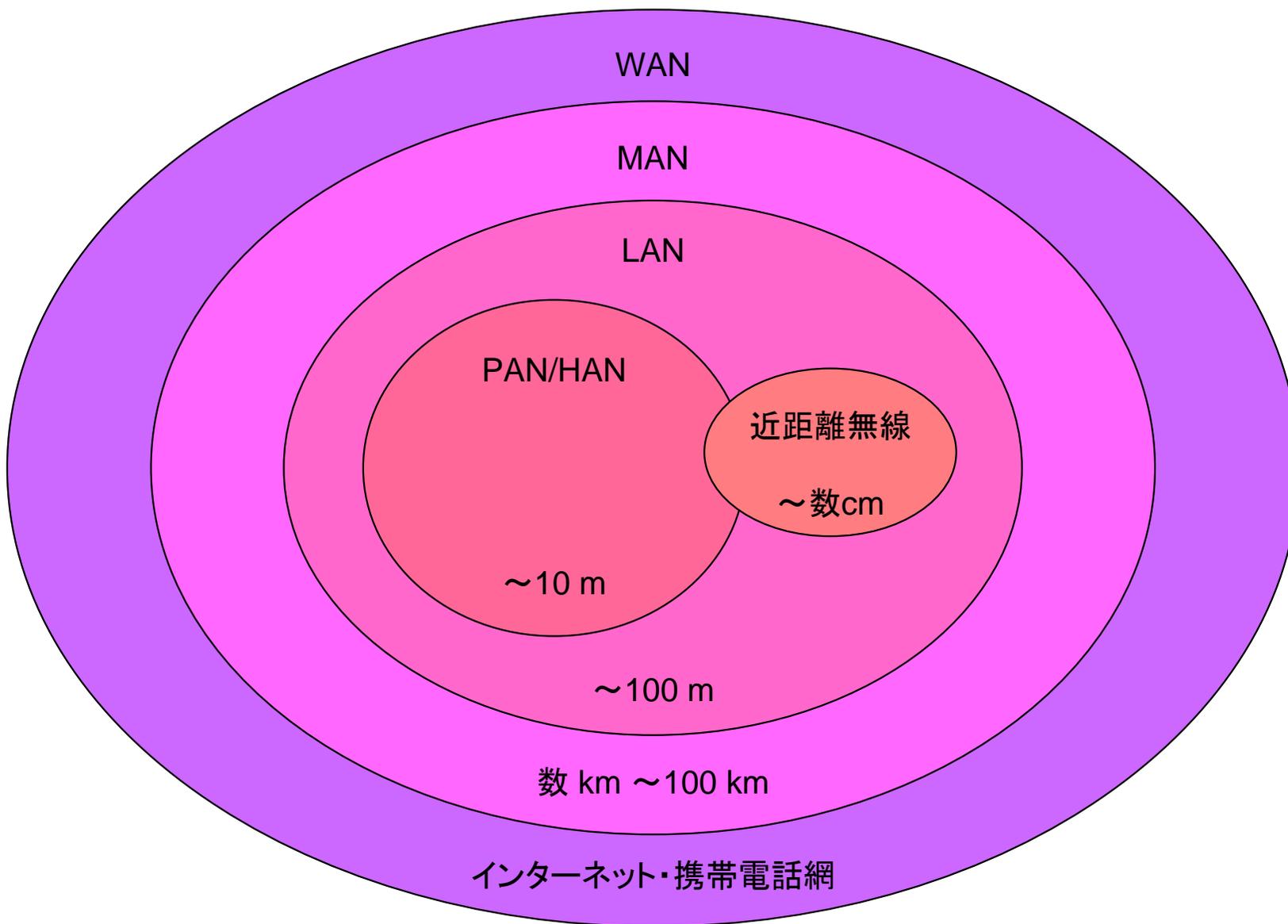
# Wireless のシーン

- Wi-Fi や携帯電話無線が利用されている例には、自動販売機の管理やガス・水道メータの管理、などにもおよぶ。
- 近年では、スマート・グリッドや制御用のネットワークに近距離無線通信 ZigBee や Bluetooth、無線LAN の利用が検討されている。



**ネットワークの信頼性が重要**

# Wireless ネットワークの規模



# Wireless ネットワークとスタンダード

ネットワーク	スタンダード	例	関連業界・団体・名称等
近距離無線	方式毎に個別に存在	RFID	
		DSRC	ITS Japan, ETC
		NFC	NFC Forum, etc.
	Transfer Jet	TransferJet	Suica, PASMO, ICOCA, TOICA, etc. TransferJet Consortium
PAN/HAN	IEEE802.15	Bluetooth	Bluetooth SIG
		ZigBee	ZigBee Alliance
		UWB	WiMedia Alliance、USB-IF/Wireless USB
	Wireless HD	Wireless HD	Wireless HD Consortium
LAN	IEEE802.11	WLAN(11, 11b/a/g/n)	WiHi Alliance
MAN	IEEE802.16	WiMAX	WiMAX Forum
WAN	3GPP	WCDMA、HSPA	3GPP
	3GPP2	cdma2000、1xEVDO	3GPP 2
	LTE	LTE	3GPP

**NFC:** Near Field Communication

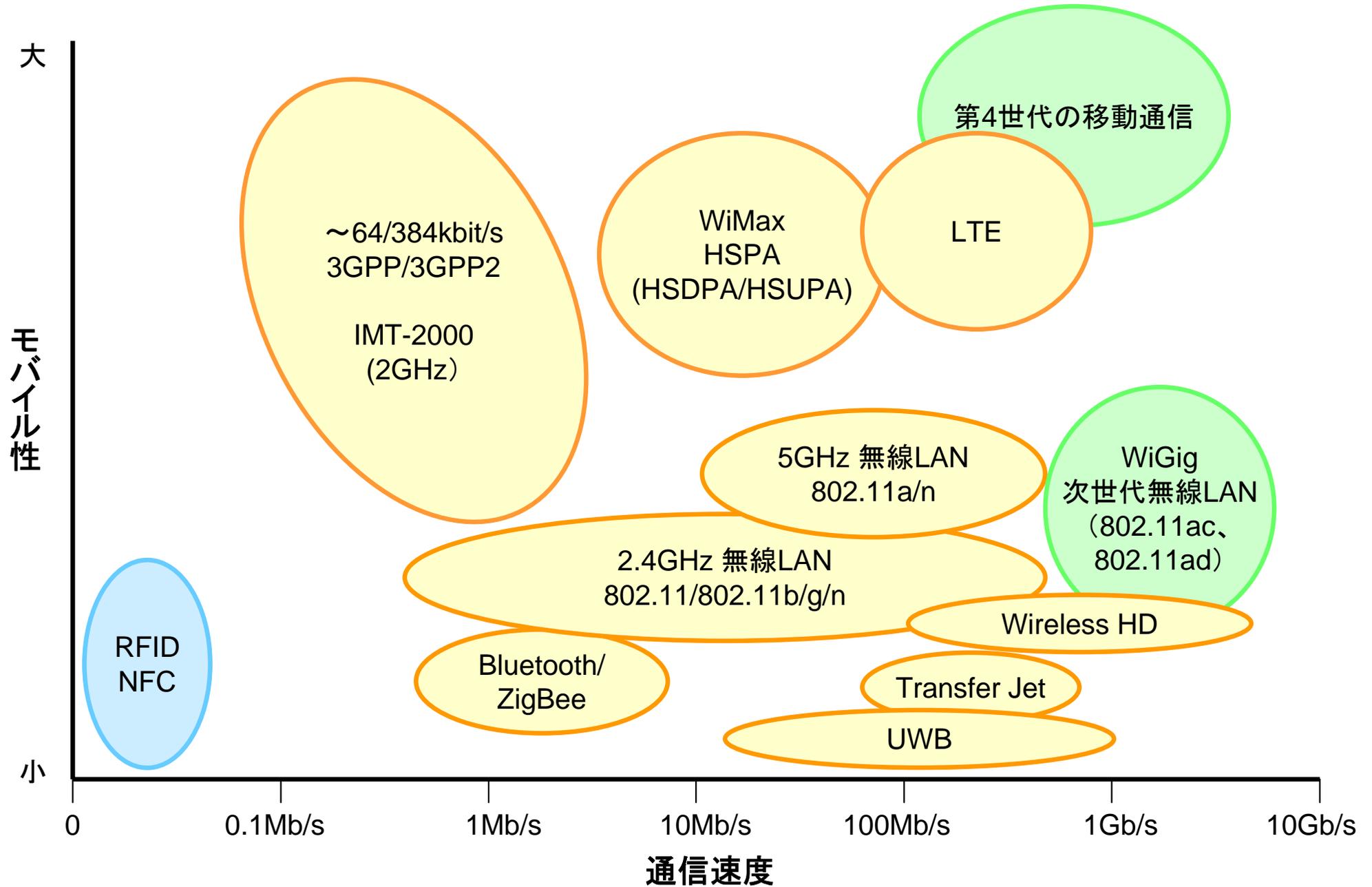
**DSRC:** Dedicated Short Range Communication

**LTE:** Long Term Evolution

**ITS:** Intelligent Transport Systems

**ETC:** Electronic Toll Collection

# 通信規格の比較



# Wireless の市場動向

- グローバルな国際化のスマートメータ需要に合った規格も重要爆発的な無線技術の発達 (データ転送のための) は、従来の有線通信をすぐに置き換えるばかりか、用途を拡張している。
- 特に、スマートフォンやゲームなどの電子機器のインターフェースとして組み込まれる例が増加傾向にある。
- また、無線LANの Wi-Fi Direct などのような新しい使い方の提案が無線デバイスの増加を促進している。
- 今年には10億個を超えるRFデバイスが出荷される予想されている。
- 多くの組み込みシステム設計は Wireless に対応
  - 38% が wireless 機能付きと予測
- 既成の安いコンポーネントやモジュールによって対応
  - Zigbeeの無線モジュールが \$2.50 未満



# Wireless の問題点

- Wireless には、Wireless 特有の問題
  - 国別のレギュレーション
  - ライセンス
  - メディア
    - 干渉とノイズ
    - 空間と時間で品質に変化
    - 粗悪な品質の RF デバイスとのシェア
    - 複数規格のデバイスとのシェア
    - 電子レンジや医療/工業機器
  - 完全な接続性の困難
    - 隠れ端末問題など
  - モバイル性
    - リンクの信頼性に多様性
    - バッテリーの使用(電力管理の必要性)
    - 境界の無い接続性
  - セキュリティ
    - 物理的な境界が無い
    - ネットワークのオーバーラップ
- 特に、ライセンス不要な周波数帯である 2.4GHz 帯と 5GHz 帯での混雑の問題は大きい



Fluke Networks  
AirCheck Wi-Fi Tester

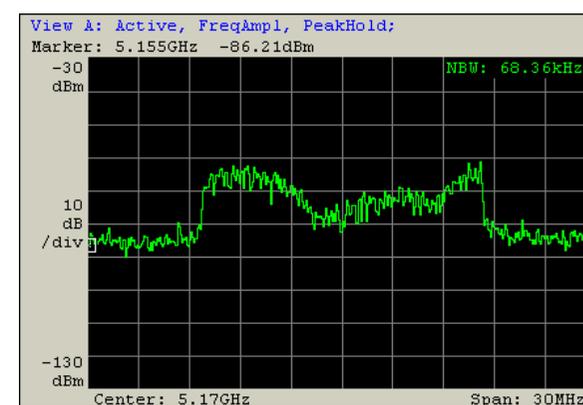
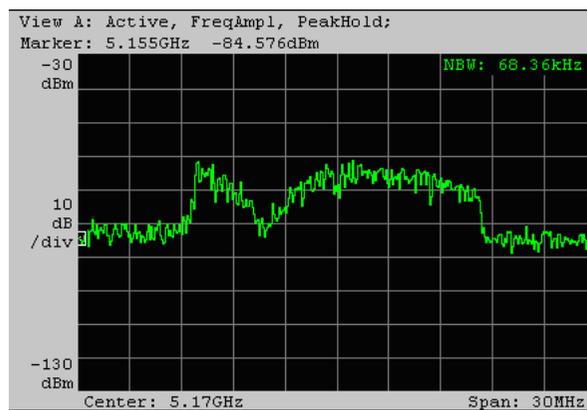
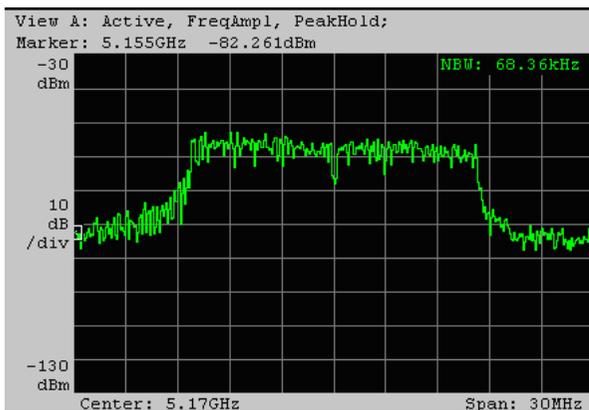
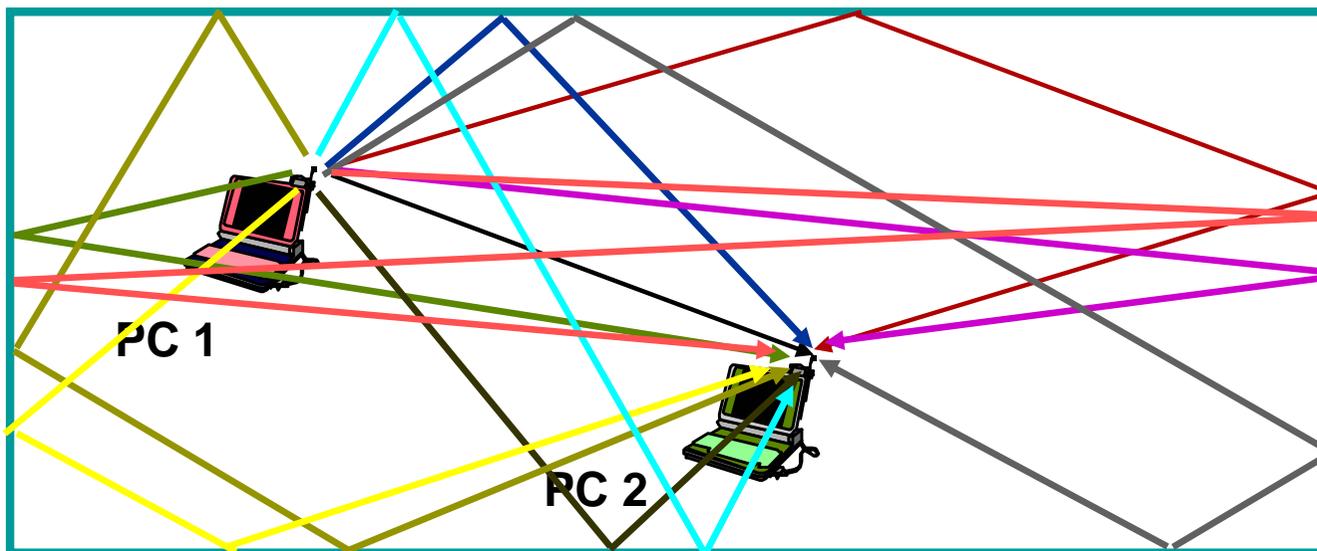
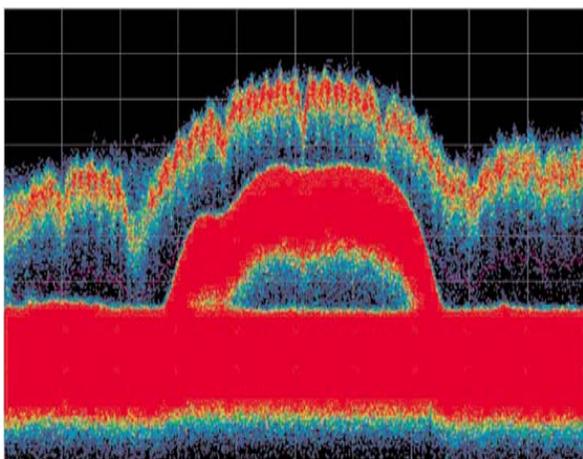
Fluke Networks  
AirMagnet Spectrum XT



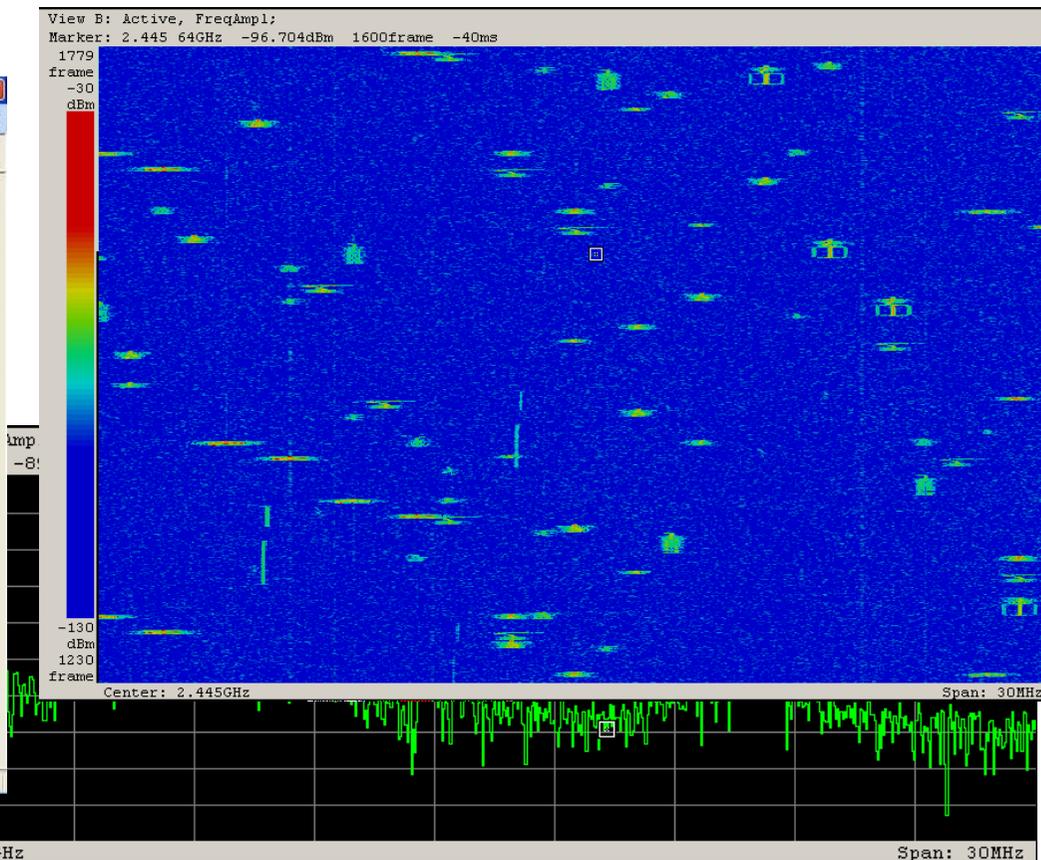
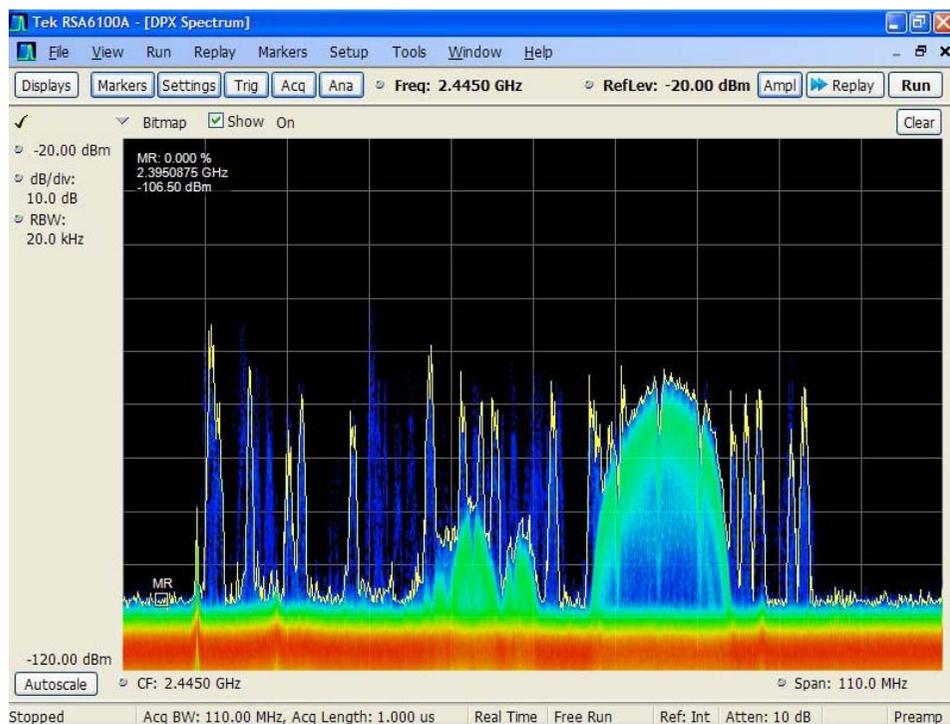
# Wireless の問題点

## 屋内での運用

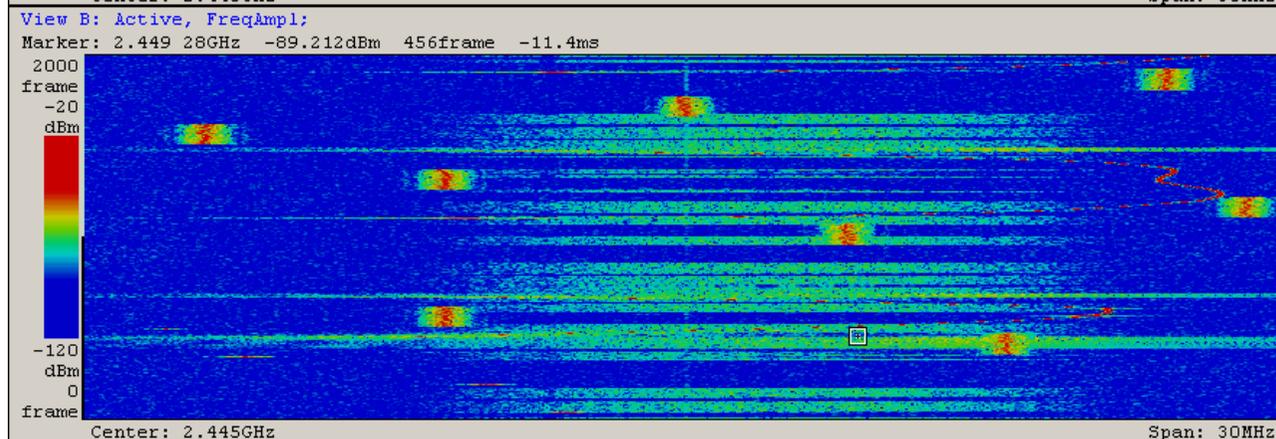
- マルチパス・フェージング
  - 部屋の環境に応じて、十数本から数百本のパスの合成波として受信される。



# 混雑の増大



- 今後益々混雑が予想される
- もっともっと便利に使えるか？
- データ転送速度は落ちないのか？



# 小電力近距離無線通信技術

## 混雑／マルチパス対策

- **スペクトラム拡散技術**
  - － スペクトラム拡散は、干渉に強く、共存に適している。
  - － これらの周波数帯域では、スペクトラム拡散無しの通信方式は許可されていない。
  - － **周波数ホッピング方式**
    - 干渉を低下させ、信号の共存に適している。
    - Bluetooth や、初期の 無線LAN(11)、デジタル・コードレス・フォン、などに使用されている。
  - － **直接拡散方式**
    - 干渉に対して強く、信号の共存に適している。
    - 無線LAN(11/b/g)、ZigBee、などに使用されている。
  - － **OFDM 方式**
    - 狭帯域信号との干渉、および、マルチパス・フェージングに強い。
    - チャンネル推定機能が付加でき、伝送上での信号劣化を復元できる可能性がある
    - 高速伝送、大容量通信が容易な方式。
    - 無線LAN(11a/g/n)、UWB(WiMedia-MBOA)、Wireless HD
- **MIMO(Multiple Input Multiple Output) 技術**
  - － 高速データ伝送のためのアンテナ技術。
  - － 干渉や共存の意味合いは少ないが、ダイバーシティの要素もあるので、干渉の軽減に役立つ可能性はややある。
  - － 無線LAN(11n)に使用されている。無線LANとしては、初めて 100Mbps を超えた。

# 小電力近距離無線通信技術

## 混雑／マルチパス対策

- エラー訂正

- ビットエラーが発生したら、そのビットを訂正する技術。
- FEC 方式が採用されている。エラー訂正では、rate というパラメータが使用される。Rate が小さいほど、冗長度が増すが、訂正能力は強力になる。
- 無線LAN 802.11b:
  - オプションである PBCC(Packet Binary Convolutional Coding) 変調方式で、BCC rate ½ Convolutional Encoding が使われる。802.11b では、標準で CCK スペクトラム拡散方式が使われており、PBCC 方式が使われる例はほとんど無い。
- 無線LAN 802.11a/g/n:
  - Convolutional Encoding が標準。データ・レートとの組み合わせで、rate ½, 2/3, ¾ が使用されている。
  - インターリーブ(ビット入替)と一緒に使用し、ブロック・エラーやバースト・エラーにも対応している。
  - 6Mbps (rate=1/2、BPSK 変調)は、最も信頼性の高いデータ・レートで、ヘッダは、この方式で転送されている。
- Bluetooth:
  - パケットの種類に応じて、2つの FEC が用いられている。エラー訂正を行わないパケットもある。
  - FEC rate 1/3 は、単純にビットを3回繰り返す。
  - FEC rate 2/3 は、(15, 10) shortened Hamming code が使用されている。
- ZigBee:
  - 使用されていない。
- UWB(MBOA)
  - Convolutional Encoding が標準。データ・レートとの組み合わせで、rate 1/3, ½, 5/8, ¾, 4/5 が使用されている。
  - インターリーブ(ビット入替)と一緒に使用し、ブロック・エラーやバースト・エラーにも対応している。
- Wireless HD
  - 
  -

# 小電力近距離無線通信技術

## 混雑／マルチパス対策

- AFH (Adaptive Frequency Hopping)
  - 周波数ホッピング方式において、使用されている周波数領域は、自動的にホッピングを停止する。使用が無くなれば、再び、ホッピングの対象周波数領域となる。
- DFS (Dynamic Frequency Selection)
  - レーダ等の用途で使用されている場合、その信号を検知し、周波数チャンネルを使用していないチャンネルに切り替えなければならない。
  - DFS の機能がない場合、指定の周波数チャンネルを使用できない。
- DAA (Detect and Avoidance)
  - UWB の 3.4 ~ 4.8GHz のバンドを使用する場合の干渉軽減処置で、日本と欧州で使用されている。
  - DFS と同様の機能であるが、レーダ等の信号を検出した場合には、周波数を変える代わりに、信号の送出を停止するか、そのバンド・グループ内で、該当のバンドを避けるようなバンド・ホッピングをするように変更する。
- LDC (Low Duty Cycle)
  - UWB のセンサー／レーダ用途で使用される干渉軽減処置で、欧州で使用されている。
  - 一定時間内の利用を制限したり、パルス間隔を長くする方法。
  - ZigBee でも同様のモードがあり、rate を 250kb/s から 20kb/s に落として、他への影響を小さくする。
- TPC (Transmit Power Control)
  - アクセス・ポイントと端末間で、通信電力を自動的に調整し、不必要な干渉や妨害等を防ぐ事を目的としている。
- 5GHz 周波数帯の有効利用のため、DFS や TPC のような条件付きで、利用周波数範囲が広がられた。

# 小電力近距離無線通信技術

## 混雑／マルチパス対策

- CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Accesses with Collision Avoidance と CCA (Channel Clear Assisment)
  - 無線LANや ZigBee に採用されているアクセス技術
  - キャリアセンスを行い、その周波数チャンネルがビジーでなければ、送信を行う。
  - 「隠れ端末問題」があり、RTS/CTS (Ready to send / Clear to send) 機能と併用する事が多い。
  - PCF (Point Cordination Function) 機能を導入し、CSMA/CA の問題であるリアルタイム性能低下の問題を補っている場合も増えている。
- Master/Slave ネットワーク
  - Bluetooth などに採用されているネットワーク方式
  - Master が全ての Slave デバイスを管理する
- Superflame ネットワーク
  - CSMA/CA の欠点を補うように開発されたネットワーク方式
  - ピコネットのようなネットワーク向けに開発された方式で、ZigBee や UWB に採用されているアクセス方式
  - ネットワーク・コーディネータが Superframe を形成し、ネットワークに参加するデバイスは Superframe に従って動作する方式
  - ネットワーク・コーディネータによって、Superframe に通信が管理される領域とランダム・アクセス可能な領域 (CSMA/CA を使用) が定義されている。

# 周波数チャンネル(中心周波数)

- 2.4GHz 帯周波数チャンネル

- 北米
  - 2.412~2.462
- 欧州
  - 2412~2472
- 日本
  - 2412~2472
  - 2.484 (11bのみ)

- ZigBee は、センサー・ネットワークとして、日本を除き、特別な周波数割当が行われている。
- 各国共通: 2.45 GHz帯(2405~2480MHz)
- 欧州: 868 MHz帯(868~868.6MHz)
- 北米: 915 MHz帯(902-928MHz)

- 5GHz 帯周波数チャンネル

- 北米
  - 5.180~5240
  - 5.260~5.320(DFS, TPC 必須)
  - 5.550~5.558、5.680~5.700(DFS, TPC 必須)
  - 5.745~5.825
- 欧州
  - 5.180~5.240
  - 5.260~5.320(DFS, TPC 必須)
  - 5.500~5.680(DFS, TPC 必須)
- 日本
  - 4.920, 4.940, 4.960, 4.980 (40/20 MHz 幅が対象)
  - 5.180~5.240
  - 5.260~5.320(DFS, TPC 必須)
  - 5.500~5.700(DFS, TPC 必須)

IEEE802.11b/g/n			
IEEE802.11a/n			
J52	W52	W53	W53

5.250-5.3725 GHz  
公共機関の気象レーダー

# 送信電力

- 2.4GHz 帯

- 米国 1000 mW
- 欧州 100 mW(EIRP)
- 日本 10 mW/MHz

- 5GHz 帯

- 米国

- 200 mW(EIRP) : 5.180~5.240GHz
- 1000 mW(EIRP) : 5.260~5.320GHz
- 4000 mW(EIRP) : 5.745~5.825GHz
- TPC 機能は 500mW(EIRP)を超える場合に必要

- 欧州

- 200 mW(EIRP) : 5.180~5.320GHz
- 1000 mW(EIRP) : 5.500~5.680GHz

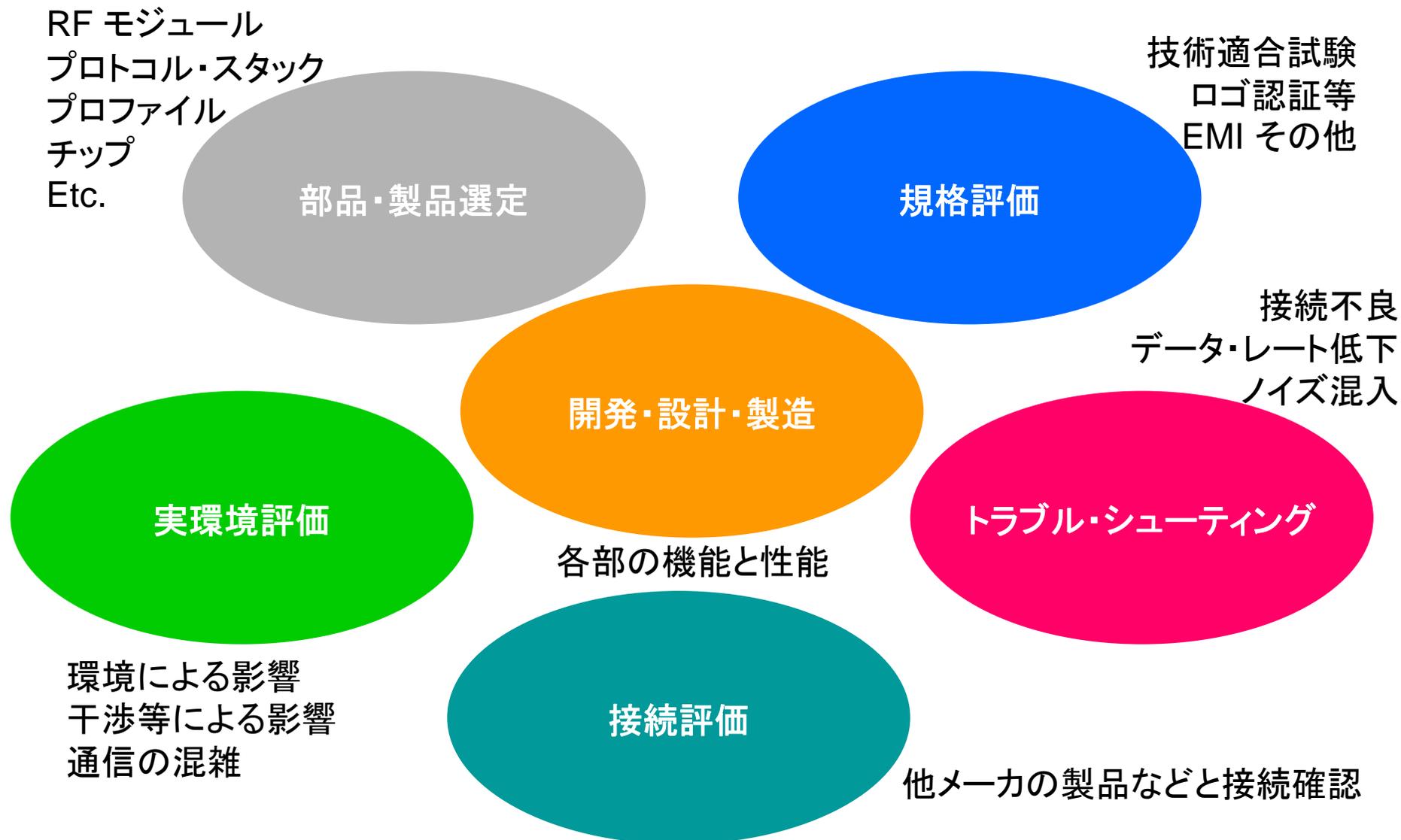
- 日本

- 50mW/MHz、5000mW(EIRP) : 4.920~4.980GHz
- 10mW/MHz : 5.180~5.700GHz
- 40 MHz 帯では ½ の電力密度となる。
- TPC 機能有り : 50mW/MHz(EIRP)
- TPC 機能無し : 25mW/MHz(EIRP)

•特定省電力無線局の空中線電力は、原則 10mW 以下であった。  
•無線LANは、10mW/MHz で、実質、高い電力線が可能であった。  
•2011年3月より空中線電力の上限が 1W に変更された。

**EIRP: Effective isotropically radiated power**

# コンプライアンス／テスト／評価



# レギュレーション(電波法)

- 2.4GHz帯高度化小電力データ通信システム
  - 周波数の偏差
  - 占有周波数帯域幅
  - 不要発射の強度
  - 空中線電力の偏差
  - 拡散帯域幅
  - ホッピング周波数滞留時間
  - 副次的に発する電波等の限度
  - 混信防止機能
- 5GHz帯小電力データ通信システム(I) (5.2GHz帯、5.3GHz帯)
- 5GHz帯小電力データ通信システム(II) (5.6GHz帯)
  - 周波数の偏差
  - 占有周波数帯域幅
  - 不要発射の強度
  - 空中線電力の偏差
  - 等価等方輻射電力
  - 隣接チャンネル漏洩電力及び帯域外漏洩電力
  - 副次的に発する電波等の限度
  - 混信防止機能
  - キャリアセンス機能①
  - キャリアセンス機能②(動的周波数選択(DFS))
  - 送信バースト長

電波の利用  
異なる規格の共存が主な目的

# レギュレーション(電波法)

## DFS と TPC (5GHz帯)

- 認証:
  - 北米
    - FCC 5GHz Part 15.407、FCC test procedure 06-96A1
    - DFS 干渉検出能力と条件:
      - -64dBm(最大 EIRP が 200mW 以上の場合)
      - -62dBm(最大 EIRP が 200mW 未満の場合)
    - TPC 条件:
      - 装置の全電力が 3dB 低減可能なこと
  - 欧州
    - ETSI EN 301 893 1.4.1
    - DFS 干渉検出能力と条件:
      - -64dBm(最大 EIRP が 200mW 以上の場合)
      - -62dBm(最大 EIRP が 200mW 未満の場合)
    - TPC 条件:
      - 装置の全電力が 3dB 低減可能なこと
  - 日本
    - TELEC、「5GHz帯省電力データ通信システム」と「5GHz帯無線アクセスシステム」の特性試験
    - DFS 干渉検出能力と条件:
      - -64dBm(最大 EIRP が 200mW 以上の場合)
      - -62dBm(最大 EIRP が 200mW 未満の場合)
    - TPC 条件:
      - 装置の全電力が 3dB 低減可能なこと

# コンプライアンス・テスト

相互接続性の確保  
最大パフォーマンスの確保

- 以下の3つの分類で実施。
- PHY テスト
  - PHY レイヤの性能が、仕様を満足しているかどうかを確認す。
  - PHY レイヤの性能は、通信範囲、通信スピード、通信容量など、仕様の最も重要なパラメータを決定す。
- Functionality/Protocol テスト
  - MAC レイヤおよびその上位レイヤが、正しくインプリメントされているかどうかを確認。
  - MAC レイヤおよび上位レイヤは、PHY レイヤと上位アプリケーション・レイヤの間に位置し、アプリケーション機能とPHY レイヤの制御を行って上位アプリケーションの機能を実現する役割を担う。
  - このテストは Profile/Protocol テストとも呼ばれる。
- Interoperability テスト
  - 特に、異なるメーカーのデバイスが相互に接続できるかどうかを確認。
  - PHY レイヤや MAC レイヤ、および上位レイヤに問題がない場合でも、タイミングや許容範囲の違いにより、接続は容易ではない。
  - 全てのデバイスの相互接続の確認は難しいので、Golden デバイスなどを使用して、接続性の確認を行う。

# コンプライアンス・テスト

## 主要な PHY テスト

### 送信機の特性評価

- 変調品質 (コンスタレーション表示)
- 変調精度 (EVM)
- 中心周波数誤差
- スペクトラム
  - スペクトラム形状 (マスク・テスト)
  - 占有帯域幅
  - 隣接チャンネル漏洩電力 (ACLR)
- 電力
  - 電力 / 電力密度
  - 電力フラットネス

EVM: Error Vector Magnitude

CCDF: Complimentary Cumulative Distribution Function

ACLR: Adjacent Channel Leakage Ratio

### 受信機の特性評価

- CCA
- 最大受信感度
- 最小受信感度
- ACR: Adjacent Channel Rejection
- AACR: Alternate Adjacent Channel Rejection
- NACR: Non-adjacent Channel Rejection

### その他の主要な計測項目

- キャリアの周波数確度と位相ジッタ
  - 無変調状態でキャリアの周波数確度と位相ジッタ
- クロック確度とジッタ
  - シンボル / チップのクロックの精度とジッタ

# 良く見かけるトラブル例

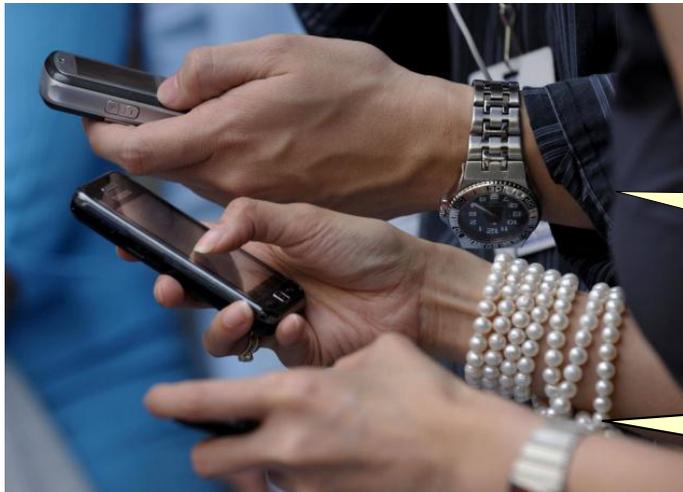


耳につくノイズが多いわね！



また切れた。  
いったいどうなってるの？

この場所はいつも繋がらないな！



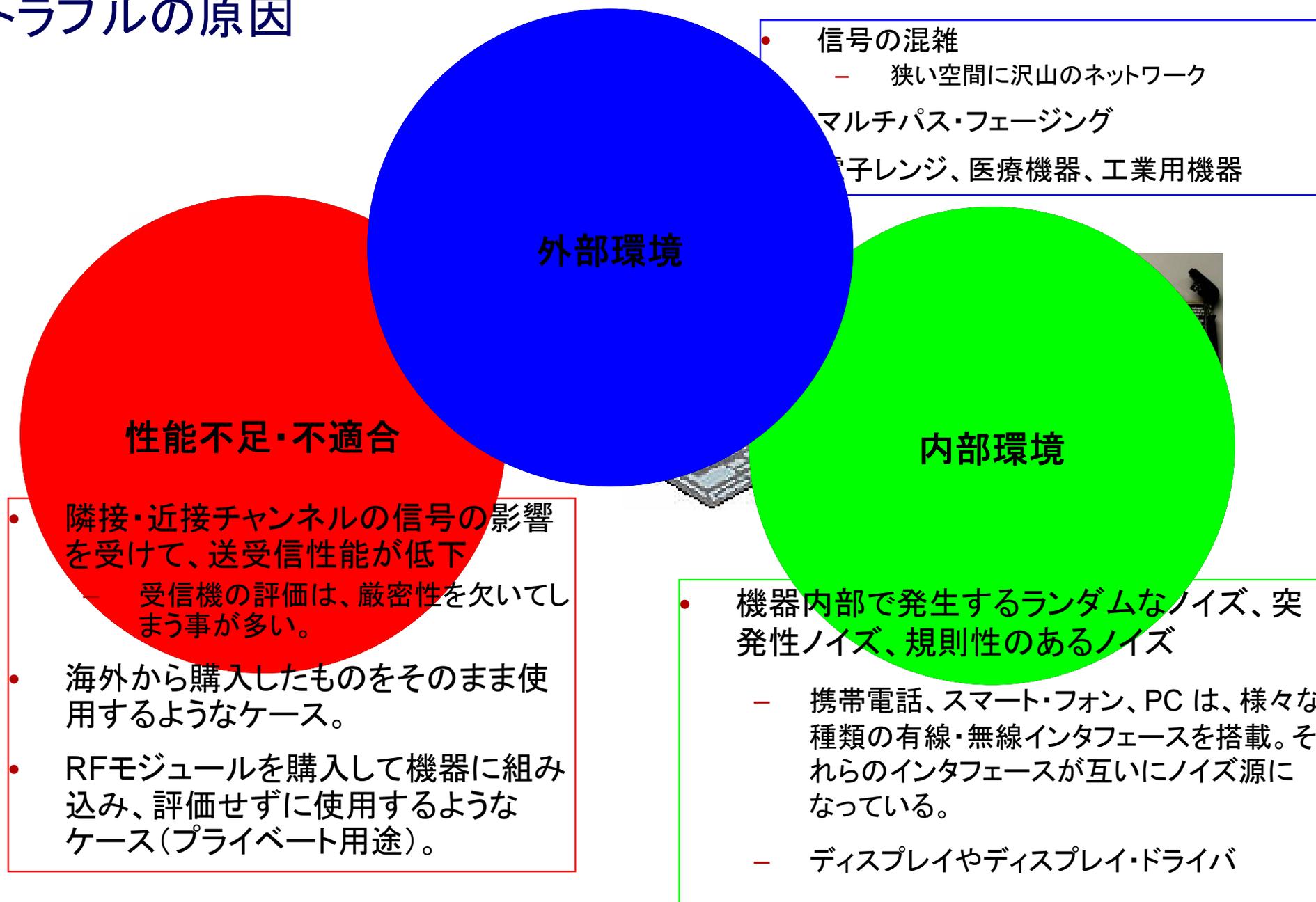
この時間はいつも駄目ね。

1 SEG が受信できないよ！  
そっちはどうだい？

全く問題ないわよ！  
綺麗に見えるわ。



# トラブルの原因



# データ・レートが低下または停止する要因

## 無線LANの例

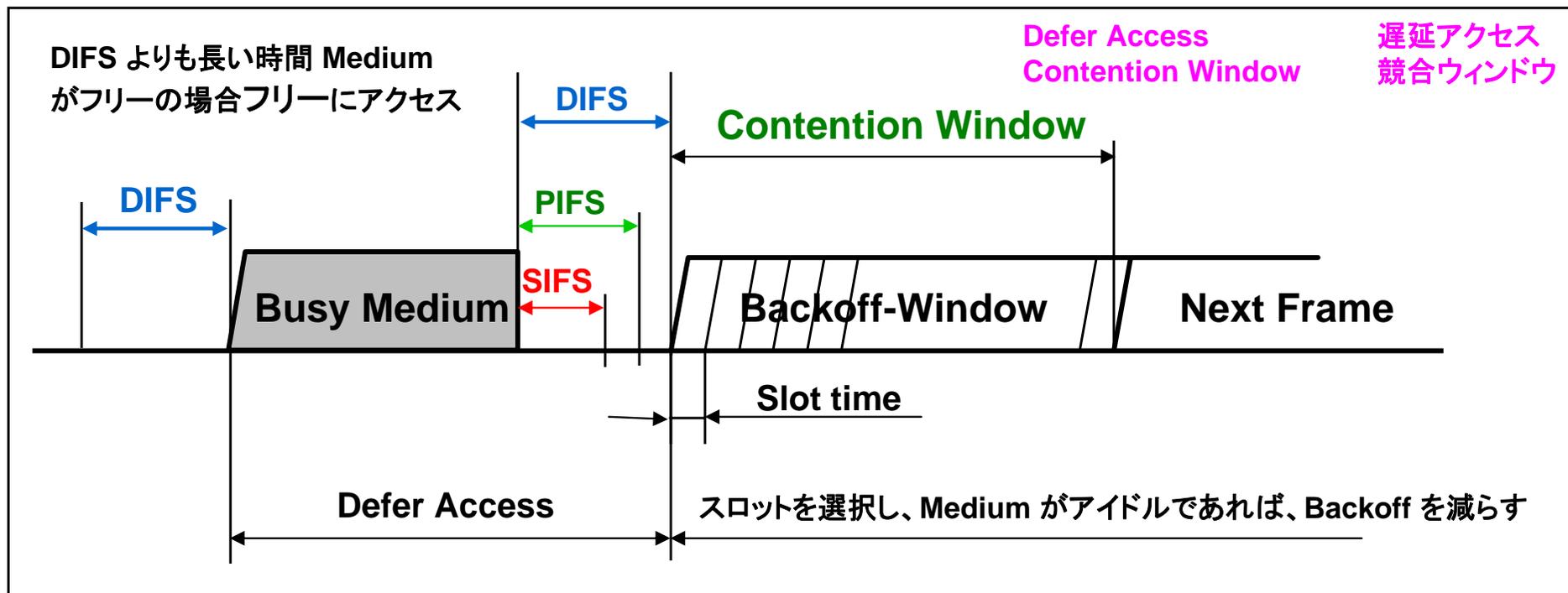
- データ転送エラーが頻発し、再送が多くなった場合：
  - データ・エラーにより、再送要求が多くなると、低いデータ・レートを使用してデータを送出しようとする。
  - 802.11a/g であれば、54→48→36→24→18→12→9→6 Mbps と下げて行き、それでもエラーが頻発すれば、タイム・アウトでエラーとなる。
- 混雑が増大し、バースト信号の送出間隔が長くなった場合：
  - CSMA/CA 方式の場合、データを送出しようとする際には、キャリアセンスを行う。
  - 他で通信が行われていなければデータを送出する(バースト信号の送出)。
  - 他で通信が行われている場合(ビジー状態)は、待ちに入る(ランダム・バックオフ)。
  - 指定時間待った後、再び、キャリアセンスを行う。
  - たくさんの通信が行われていたり、データを送出しようとする機器が多くなると、データ送出待ちが増大する。
  - 極端な場合には、データが送出できなくなり、タイムアウトでエラーとなる。
  - キャリアセンスは、他の規格の信号や電子レンジ等を含む信号を認識した場合でも、ビジーとなる。

※ タイム・アウトやデータ・レートの変更などの基準は、パラメータの設定で変化する点に注意。

# 信号送出のタイミング

## CSMA/CA の動作

- 基本アクセス機能 DCF (Distribution Coordination Function)
  - 衝突回避のため、送信しようとするデバイスは他の通信の存在をモニタする
  - チャンネルがアイドル状態であれば、送信できる
  - ビジーであれば、
    - その送信が終了するのを待つ
    - 次に、ランダム Back-off に入る(複数の STA が送信が終了を待っている可能性があるため)

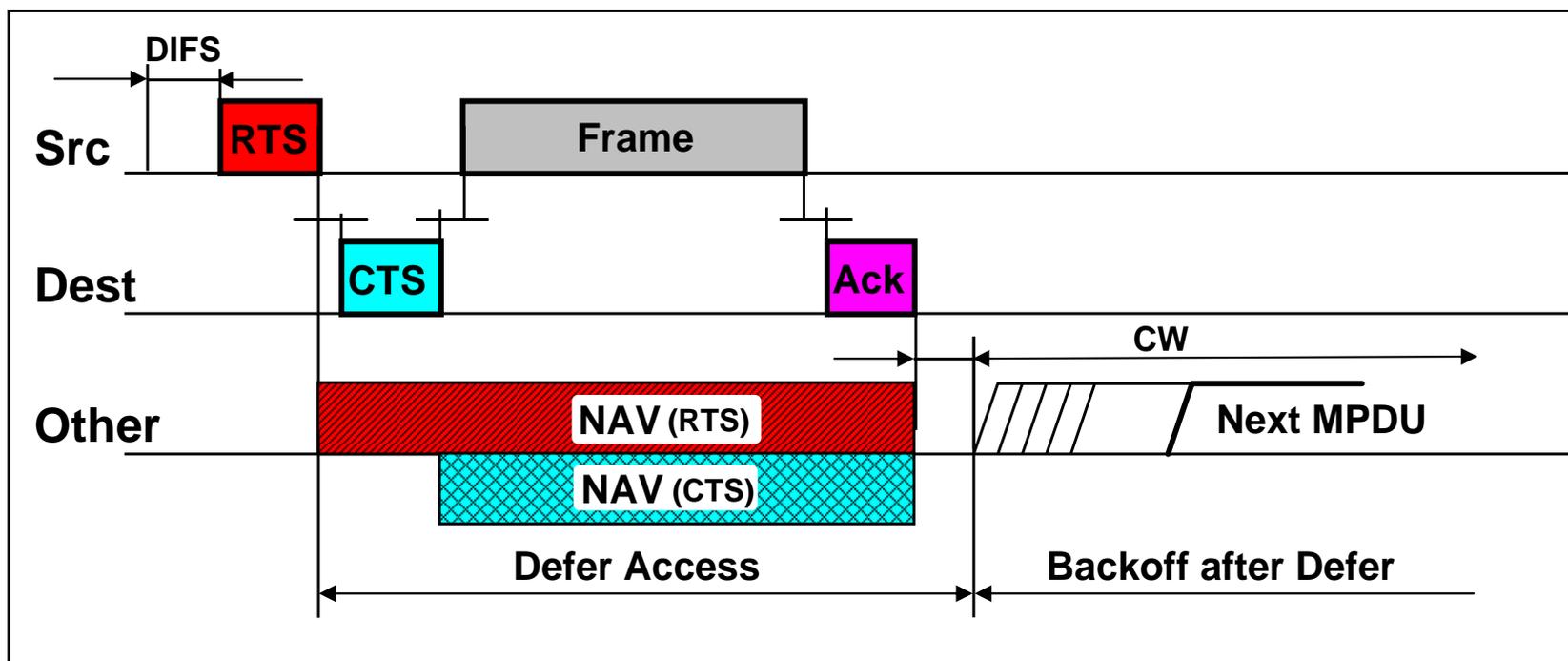
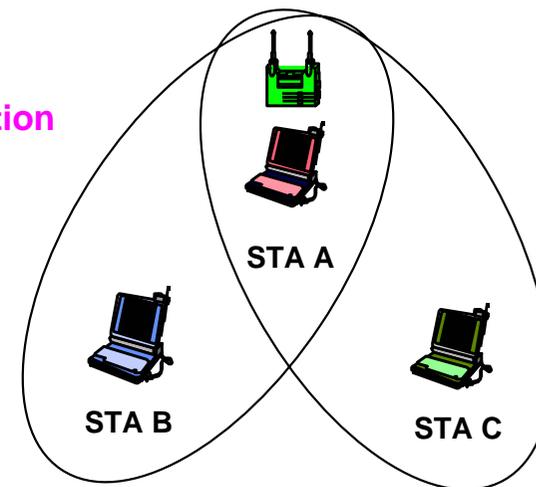


# 信号送出のタイミング

## CSMA/CA の動作

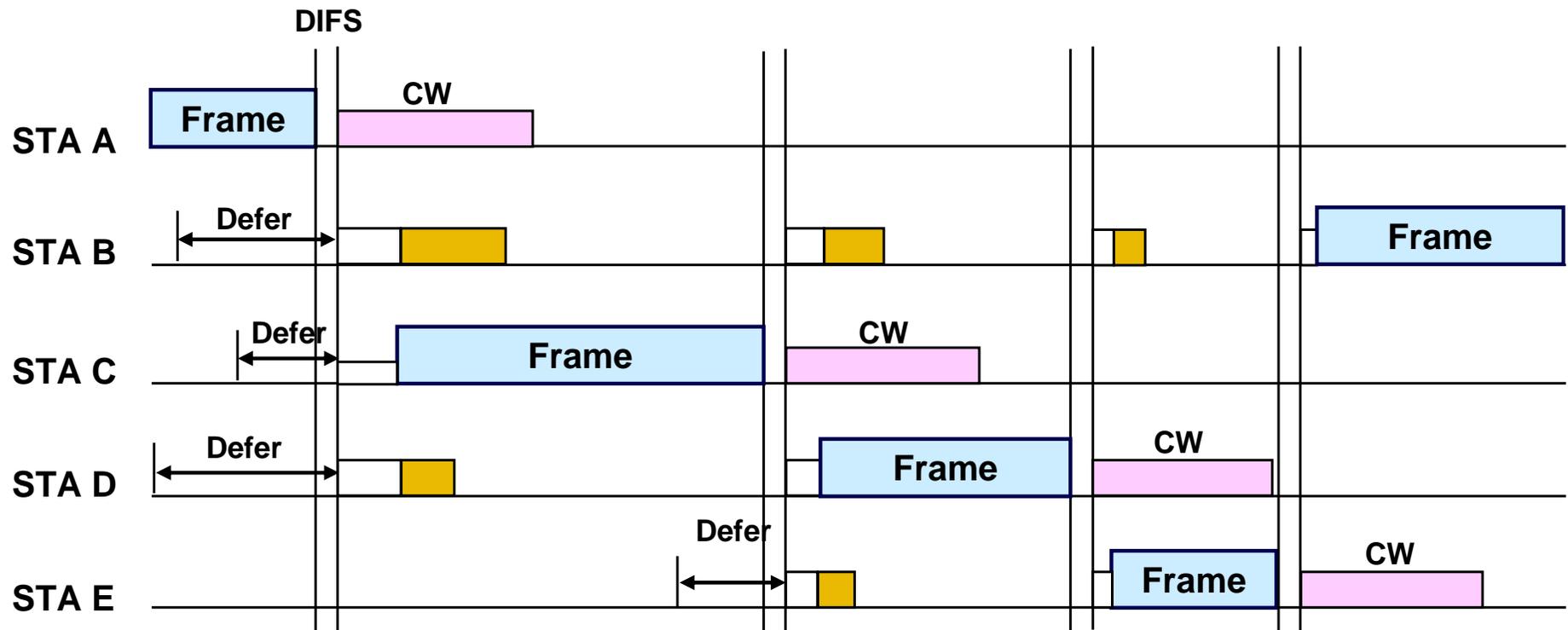
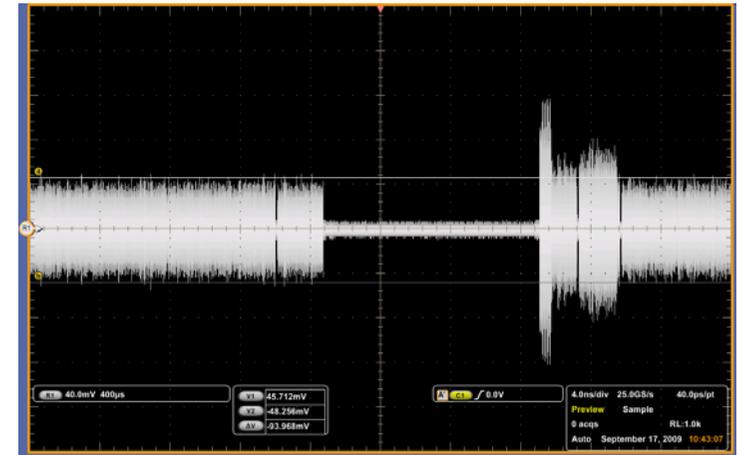
- 隠れ端末の問題の対応
- RTS/CTS 制御はオプション(無線LANのみ)
- シーケンス:
  - Defer アクセス後、RTS信号を送信
  - 受信の準備ができていれば CTS を返送
  - RTS フレームは Duration/ID を含み、続いて送信を行うため、特定の時間を予約できる
  - RTS フレームを受信した全ての STA/AP は、内部の NAV (Network Allocation Vector) にその情報を保持する

STA: Station



# 信号送出のタイミング CSMA/CA の動作

- 5 STA の例



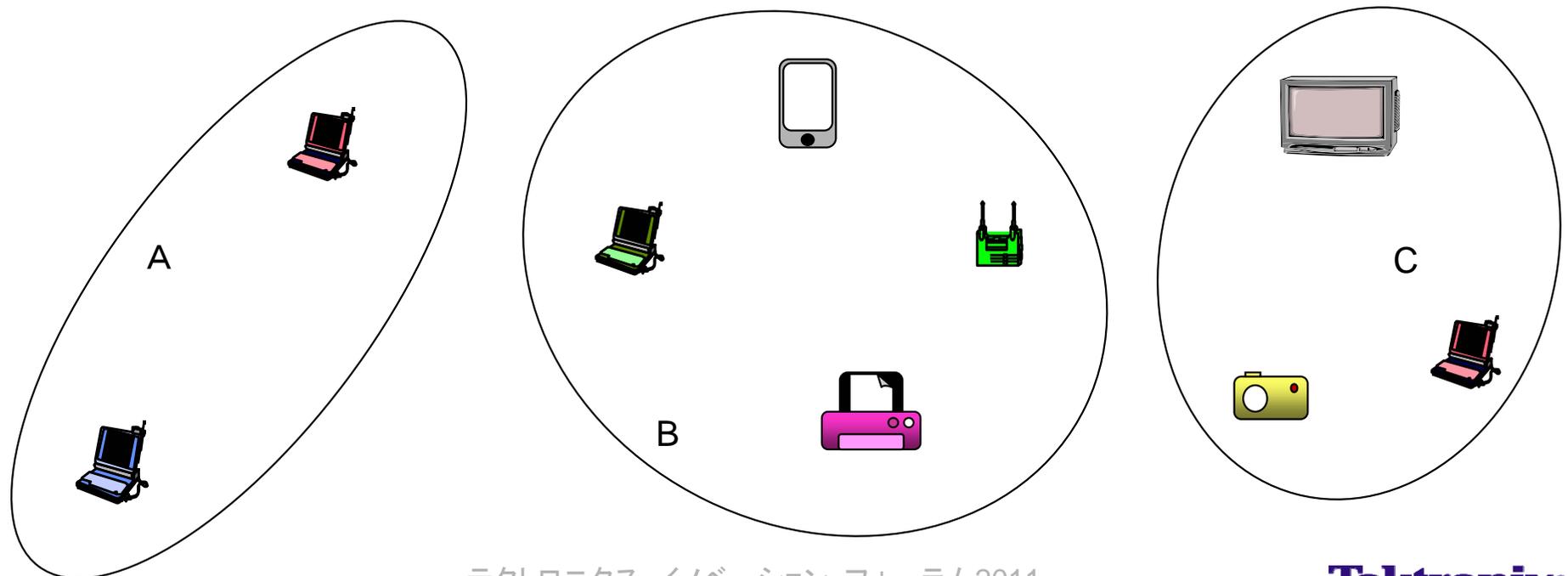
CW

Contention window  
Backoff  
Remaining backoff

# 信号送出のタイミング

## CSMA/CA の動作

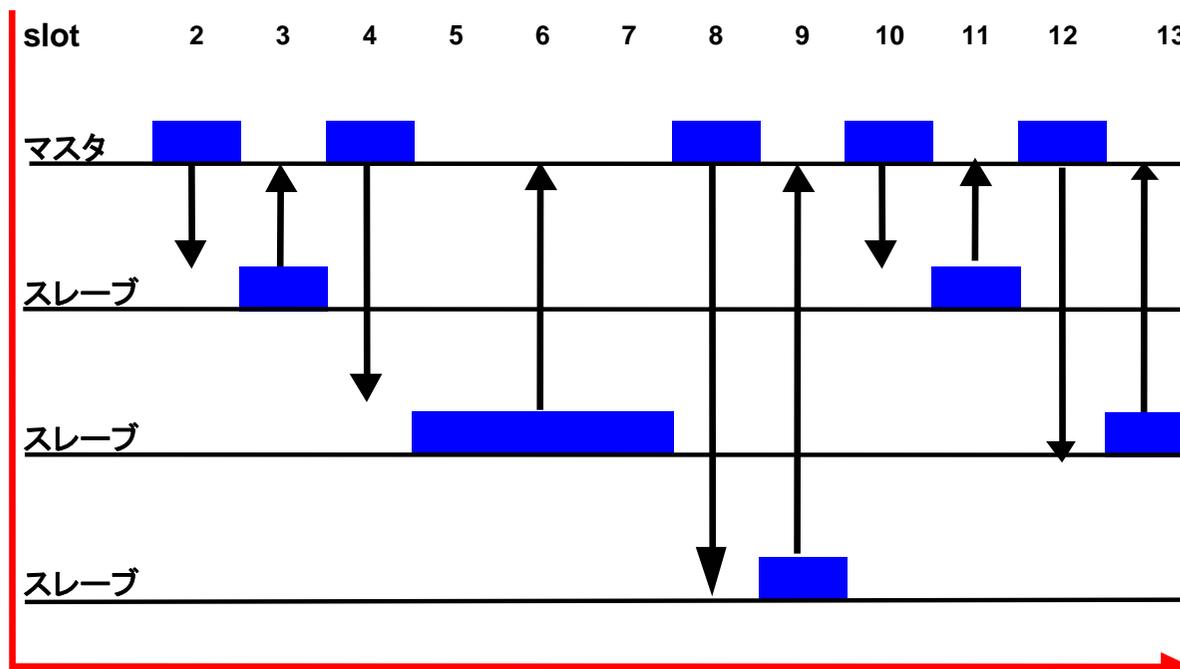
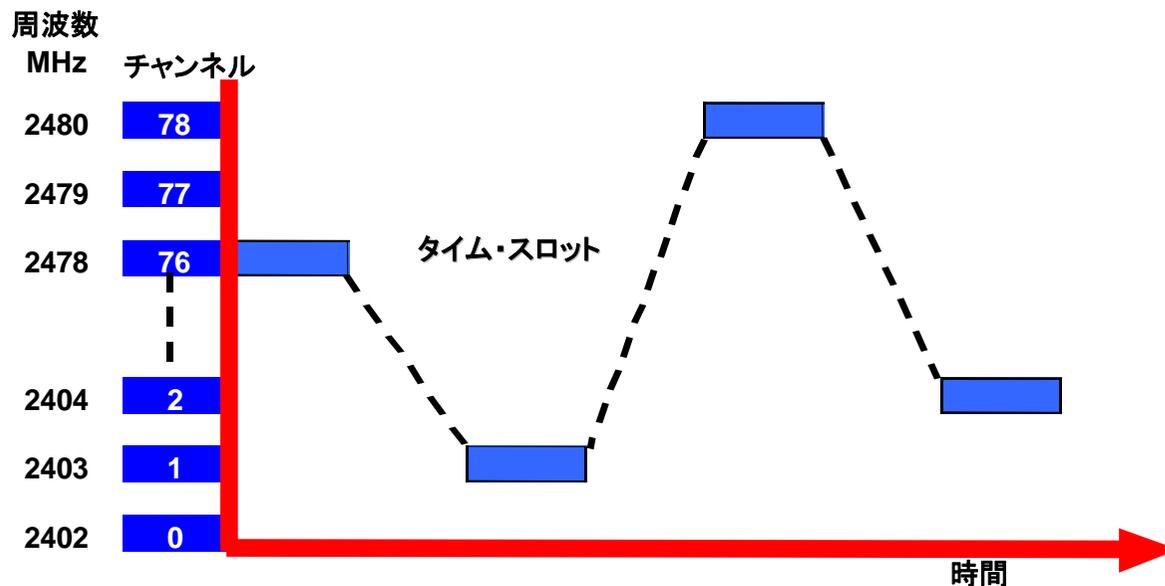
- 展示会場のような比較的広い空間に沢山の CSMA/CA タイプの無線ネットワークがある場合で、かつ、周波数チャンネルが同じだとする。
  - 隠れ端末問題が、少なからず発生する。
  - RTS/CTS 制御を使用して(本来オプションであるが、使用が推奨されている)送信を開始する(A)。
  - RTS/CTS を受信できない他のネットワークの STA が強い電力で送信を開始する(B)。
  - その通信 A はエラーとなるが、次のキャリアセンスまたは、B の RTS/CTS を受信して、通信を避けられる。
  - タイミングによっては、いつもエラーになる可能性もある。



# 信号送出のタイミング

## Bluetooth FH の動作

- ノーマル・モードで 1,600 hops/sec、Inquiry モードで 3,200 hops/sec
- 擬似ランダム・ホッピング・パターンで周波数ホッピング
- 良好な対ノイズ特性
- 強力なリンク維持特性
- 無線LANとの共存
  - エラーが増もリンク維持
- AFH
  - 他規格への影響低下
  - エラー率の低下



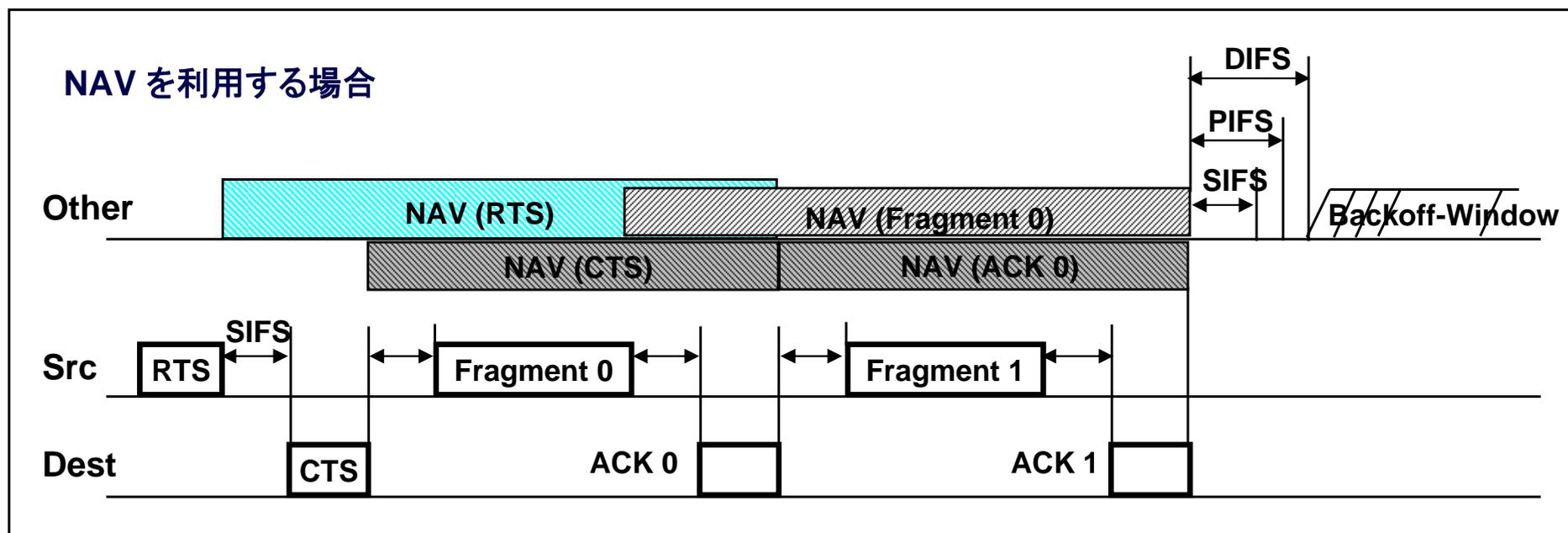
# データ・レートを低下させない工夫

- 規格上の機能を利用する
  - フラグメンテーションの利用
    - 複数のバースト信号に分割してデータを送る。
    - エラーがあった場合には、そのバースト信号のみを再送する。
  - PCF (Point Coordination Function) の導入
    - 指定期間は、キャリアセンスなしで、バースト信号を連続的に送れる。
    - PCF 期間に入る場合には、キャリアセンスが必用となる。
  - Superframe 方式
    - ネットワーク・コーディネータがネットワークを管理
    - CSMA/CA とキャリアセンスの役割を低下させ、キャリアセンスなしのデータ送出を可能にしている。
  - チャンネルの変更 / DFS (Dynamic Frequency Selection)
    - DFS 本来の目的は、5GHz 帯での重要なレーダ・システムへの影響の回避である。
    - 使用中の周波数チャンネルでエラーが大きくなれば、空いていると思われる周波数チャンネルに切り替える。
    - AP を使用している場合には、他のチャンネルを持つ AP に切り替えてみる。
- CAA の性能をもう一度確認する

# データ・レートを低下させない工夫

## パケット分割と部分再送

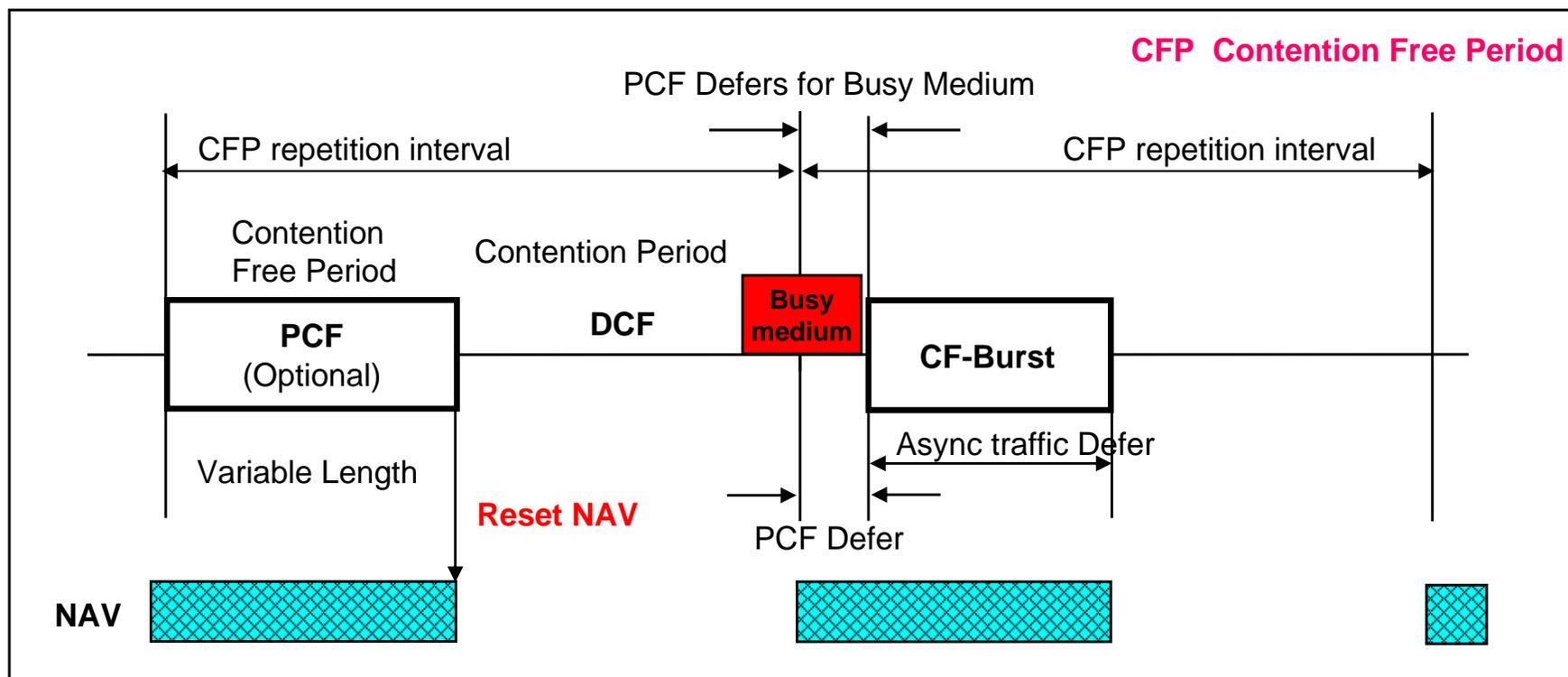
- 複数のパケットに分割して送出
  - 失敗したパケットのみを再送できる
- 個別に ACK されるフラグメントのバースト
- ACK が無いとき、失敗したフラグメントのランダム Back-off と再送
- データ・フラグメントと ACK フレームの *Duration* 情報を NAV にセットする → 予約メカニズム



# データ・レートを低下させない工夫

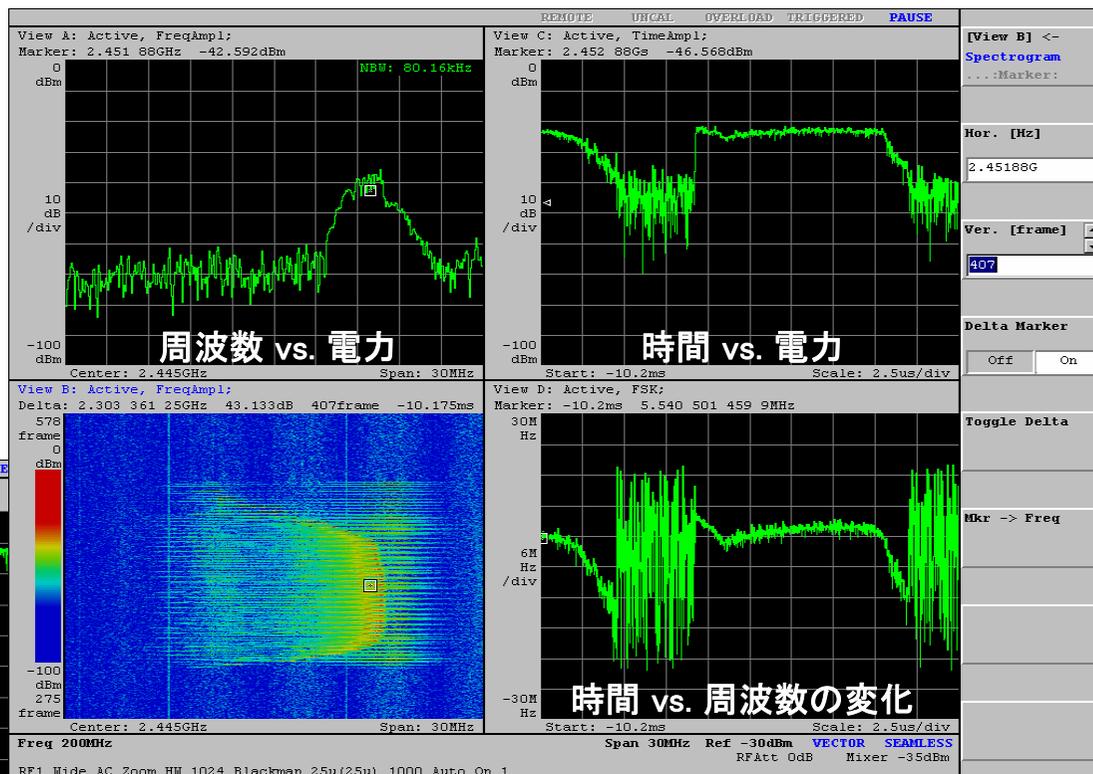
## リアルタイム性

- 本来は、音声や映像などをリアルタイム性が必要な場合に用いる。混雑時は、最大レートを長時間維持できる訳ではない点に注意。
- PCF (Point Coordination Function) の基で Contention と Contention Free の切り替え
- NAV は、最後の PCF トランスファーによってリセットされるまで、Contention トラフィックを防止する。
  - インターバル毎に可変長 Contention Free
- PCF バーストの開始を変化させるため、PCF と DCF の双方が defer する



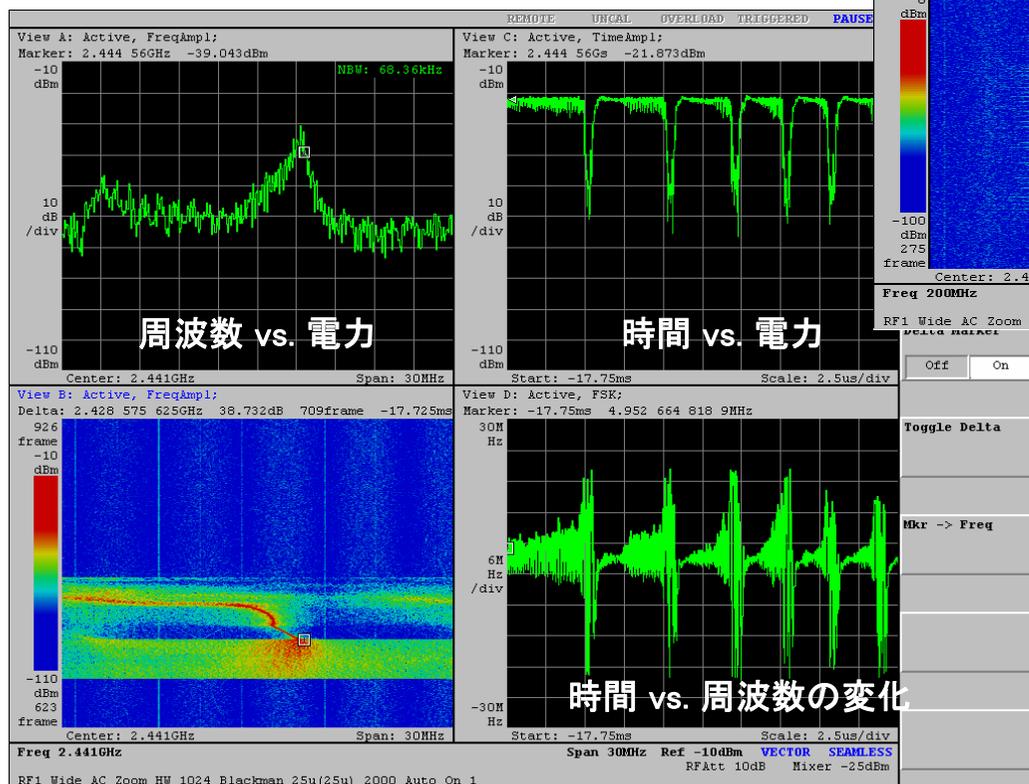
# 外部環境 電子レンジなどからの放射ノイズ(例)

- 家庭、オフィス、コンビニなどでは、昼休みや夕方になると、電子レンジが多用される。
- 影響は大きいですが、場所と時間が限定される。



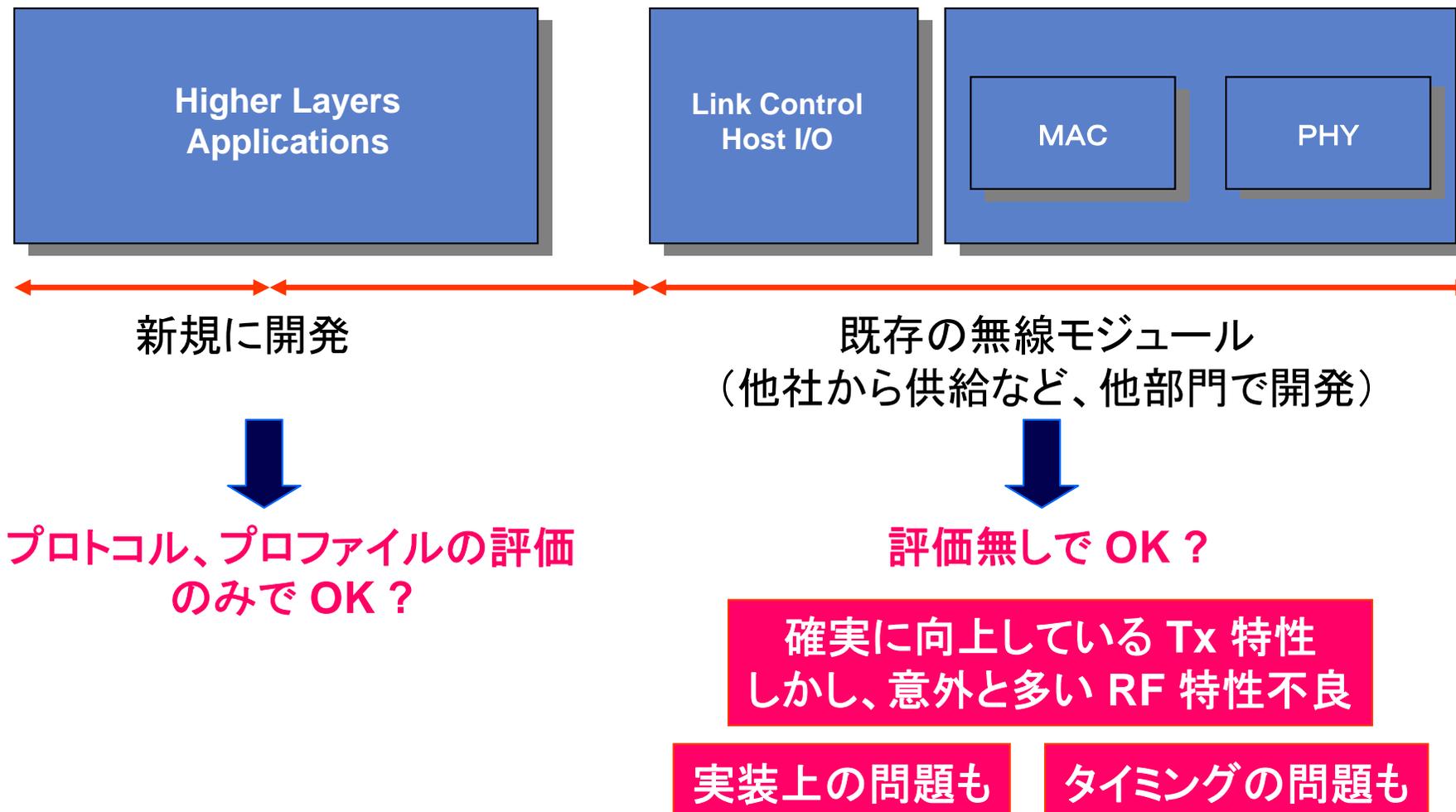
インバータ・タイプの電子レンジ  
電子レンジ前面で測定  
計測範囲: 2430 ~ 2460 MHz

ノーマル・タイプの電子レンジ  
電子レンジ前面で測定  
計測範囲: 2430 ~ 2460 MHz



# RFデバイスの問題

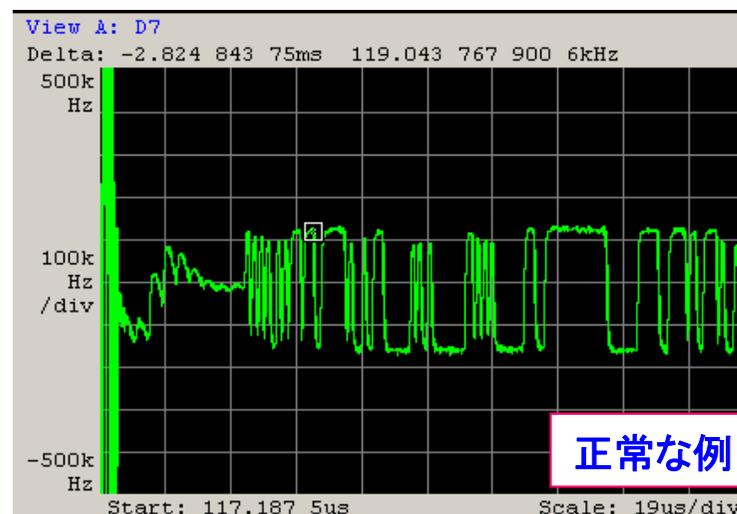
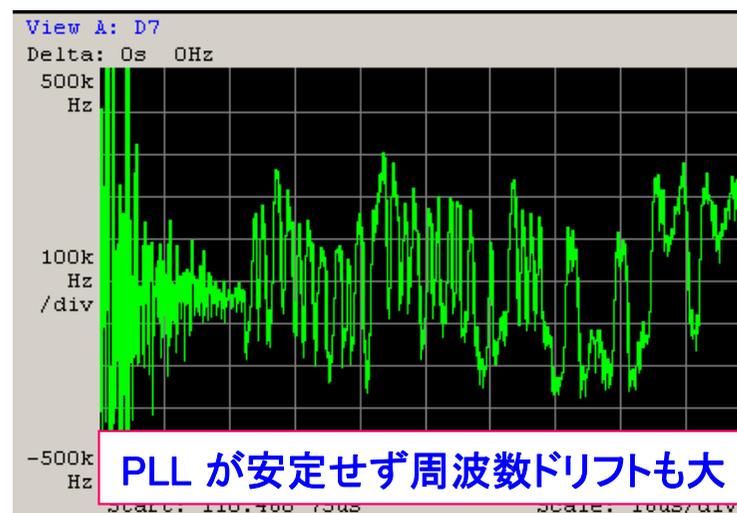
- 電波環境を別にすれば、プロトコルの問題よりも RF の問題が多い



# RFデバイスの問題 実装の問題

- 実装の問題で、PLL の挙動と変調品質に影響を与えている例 (Bluetooth)

## インバンド・スプリアスが現れている例

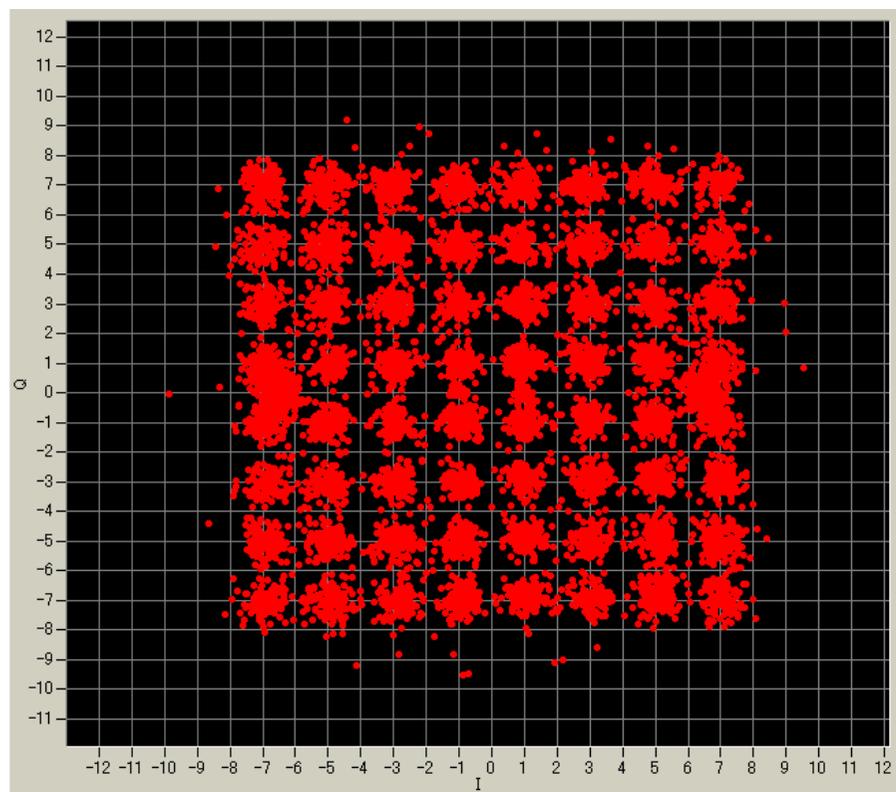


# RFデバイスの問題

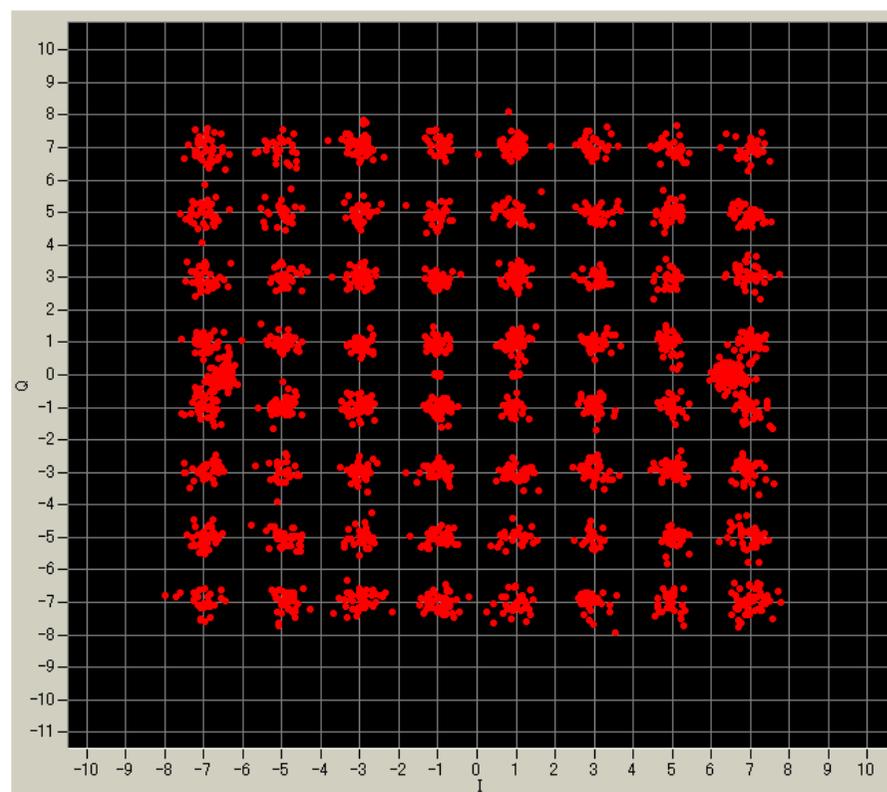
## 実装の問題

- 802.11g 48Mbps の例
- 変調品質が劣化している。

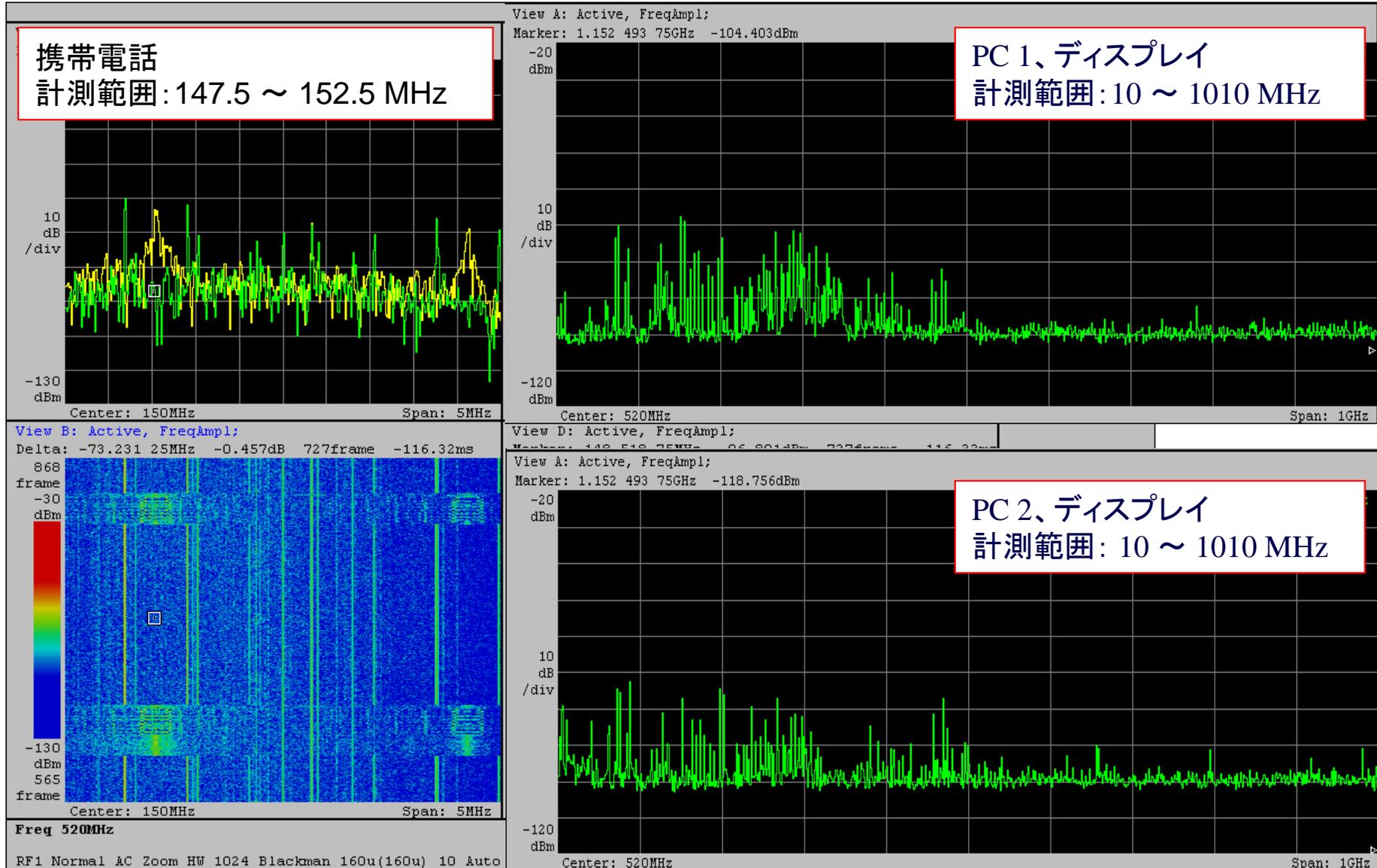
実装後



実装前(評価ボード上)



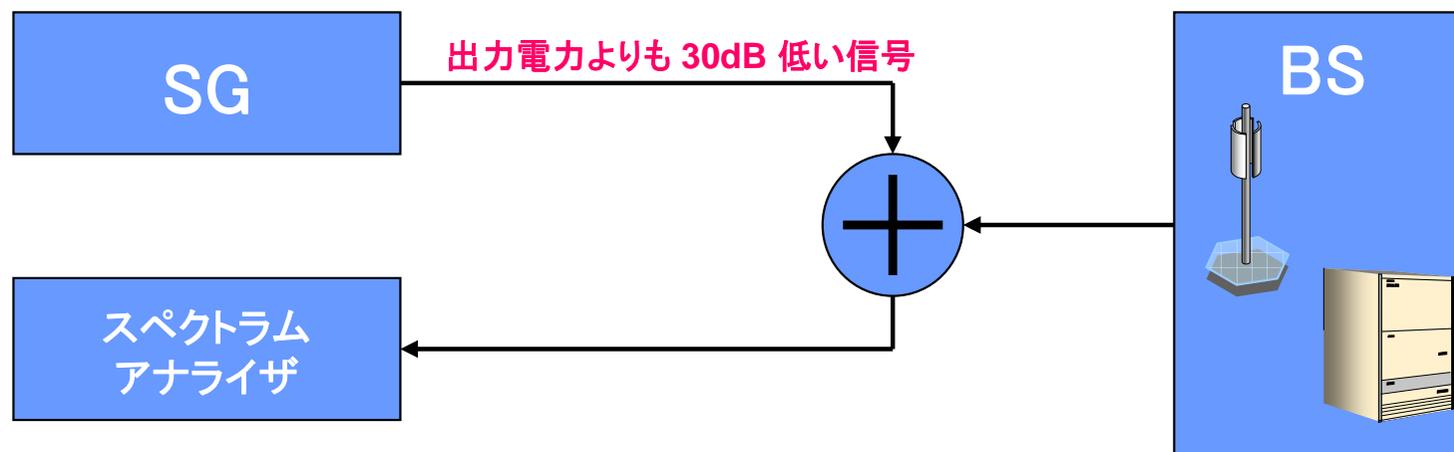
# RFデバイスの問題 内部・外部ノイズの影響



# RFデバイスの問題

## 送信相互変調

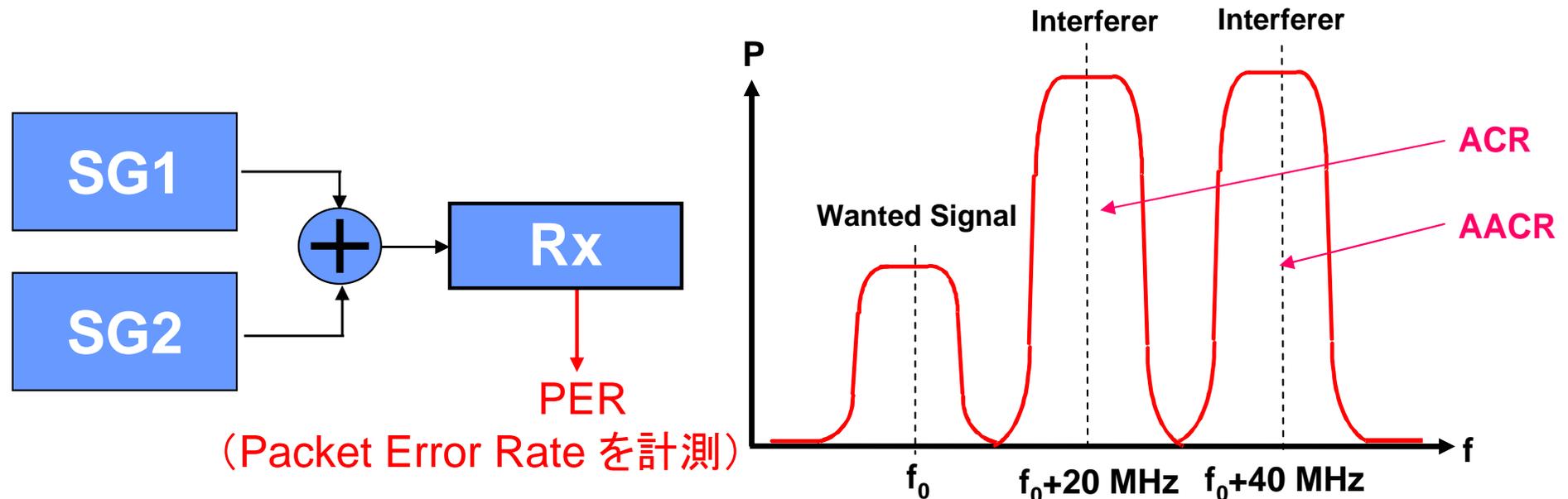
- 3GPP の BS (Base Station、基地局) のコンFORMANCE・テストの PHY 計測項目は、「送信相互変調」と呼ばれる計測項目がある。これは、無線LANや Bluetooth 等には無い。
- RF の出力回路が、帯域内または近接に、外部から強い信号があると、その信号と内部の信号との間で、相互変調を起し、信号品質の劣化とスプリアスを発生させることがある。
- 3GPP の BS は、送信電力が高いため、通常、このテストを実施している。
- 無線LAN等でも、同様の現象が起きている可能性が疑われるものがある。



# RFデバイスの問題

## 周波数／チャンネル選択性能

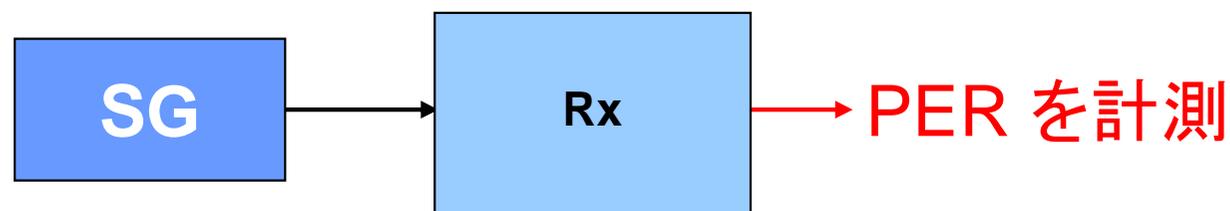
- ほとんどの無線デバイスでは、受信機の ACR、場合によっては AACR が評価対象となっている。
  - ACR (Adjacent Channel Rejection)
  - AACR (Alternative Adjacent Channel Rejection)
- この評価は、受信機の周波数／チャンネル選択性能を評価する。
- また、相互変調歪の影響による受信性能への影響を評価する。
- 特に、混雑時や混雑する周波数帯では、この性能が重要なポイントになる。



# RFデバイスの問題

## 入力感度

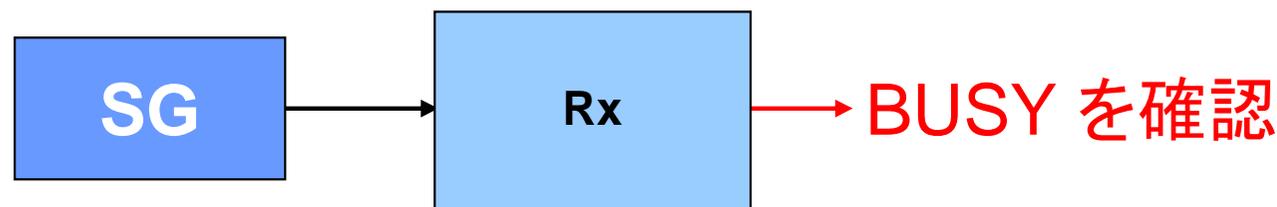
- 入力感度：
  - 最大入力感度
  - 最小入力感度
- 最小入力感度は、キャリアセンス／CAA の性能にも影響を与える。
- 最大入力感度は、近くに Tx がある場合でも、歪まずに信号を受信できる性能である。
- ACR、AACR、CAA も同様であるが、最終実装形態で評価テストを行うのが良い。
- 実装されていると、他のデバイスからのクロストークやノイズの影響を同時に評価可能となる。



# RFデバイスの問題

## CAA の性能確認

- CAA (Clear Channel Assessment) は、CSMA/CA のキャリアセンス機能。
- 受信機の機能を利用し、外部の信号をセンスして、ビジー／クリアのステータスを MAC に報告する。
- この性能が不足していると最高のパフォーマンスが得られない。
- 規格やデータ・レートによって要求仕様が異なる。
- なお、同等の測定がレギュレーション「5GHz帯小電力データ通信システム (I) (II)」にもある。レギュレーションでは、自身のパフォーマンスよりも、他への影響の懸念に重点が置かれている。
- 手 順
  - SG から目的の電力を持った目的の信号を入力する。
  - DUT が BUSY であることを確認する。



# RFデバイスの問題

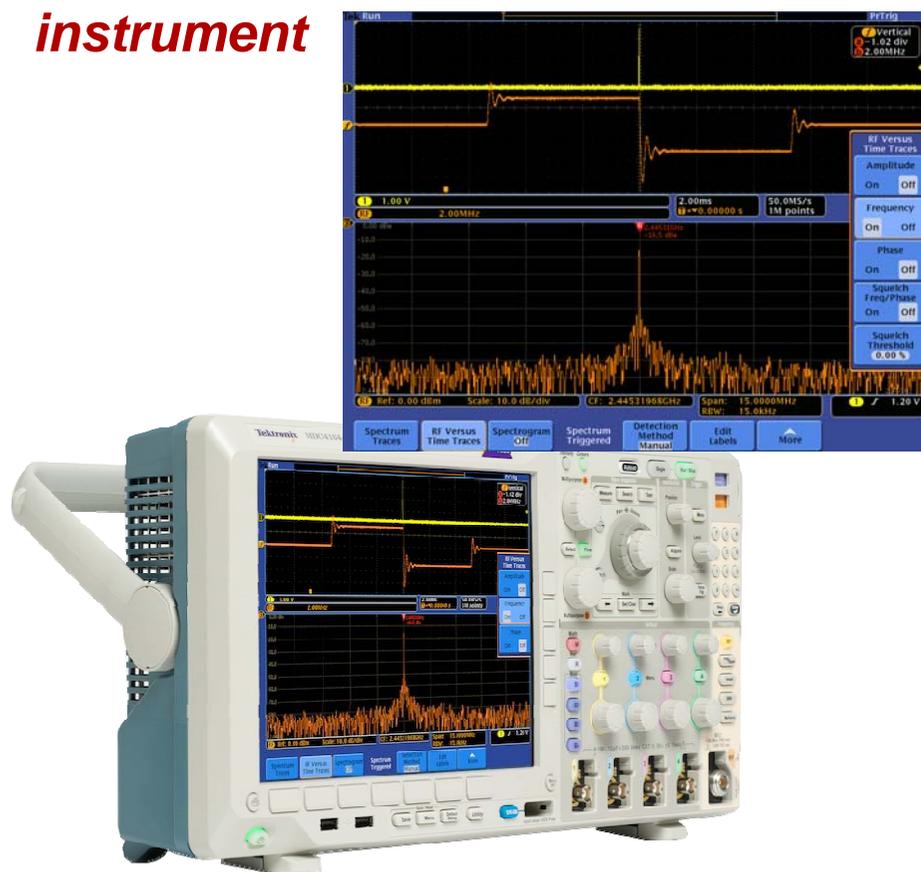
## CAA の性能確認

- CCA の要求仕様(802.11n)
  - 20MHz 帯域:
    - CCA 期間: 4  $\mu$ s 以下
    - CCA 感度(スレッシュホールド) :
      - 20MHz HT 信号 検出: -82dBm (90% 以上の検出確率)
      - HT-GF をサポートしない受信機の HT-GF 信号検出: -72dBm
      - その他の検出: -62dBm
  - 40MHz 帯域:
    - CCA 期間: 4  $\mu$ s 以下
    - CCA 感度(スレッシュホールド) :
      - Secondary channel がアイドルの場合:
        - » 20MHz HT 信号 検出: -82dBm (90% 以上の検出確率)
        - » HT-GF をサポートしない受信機の HT-GF 信号検出: -72dBm
      - Primary と secondary が使用の場合:
        - » 40MHz HT 信号 検出: -79dBm (90% 以上の検出確率)
        - » HT-GF をサポートしない受信機の HT-GF 信号検出: -69dBm
      - その他の検出: -62dBm
- レギュレーション(キャリアセンス機能①)では:
  - 100mV/m を超える場合に電波の発射を行わないこと

802.11a/g  
と同じ

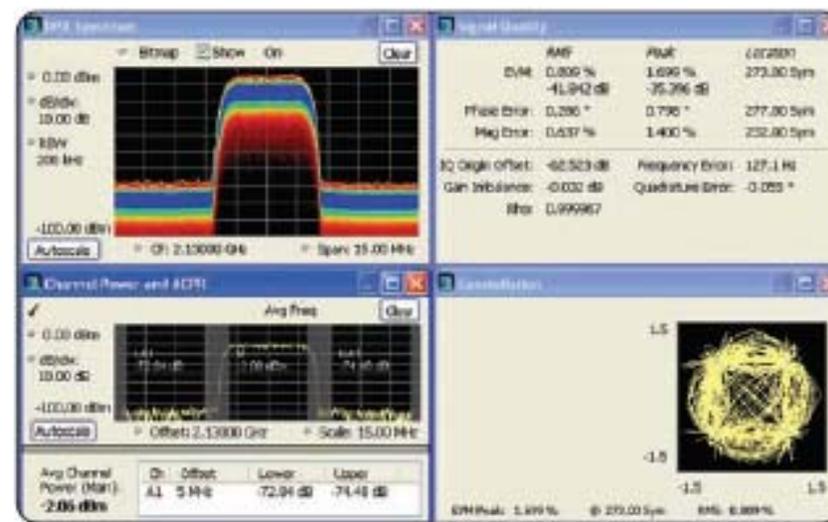
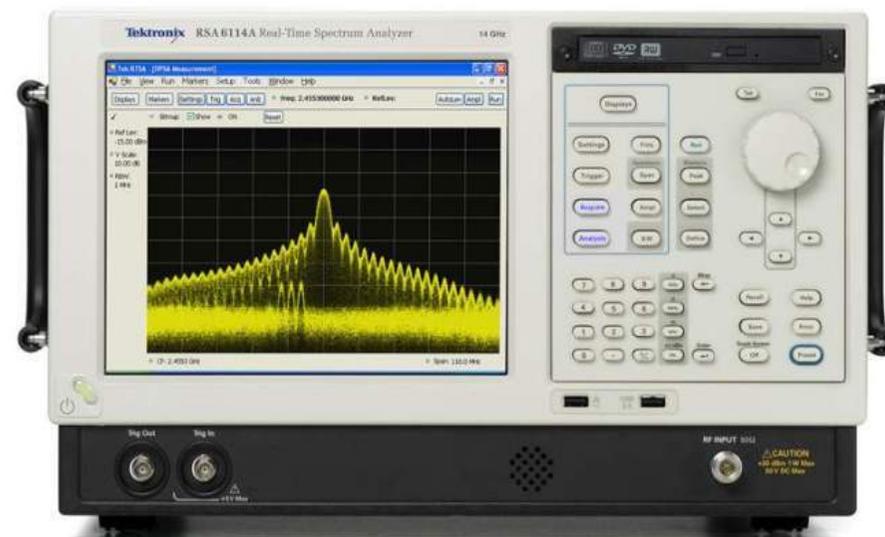
## 2つの新しい計測器

**MDO = Time correlated analog, digital, and RF in a single instrument**



世界初のMDO(ミクスド・ドメイン・オシロスコープ)(上)

世界初のDPX Live スペクトラム表示  
RSAシリーズ・シグナル・アナライザ(下)

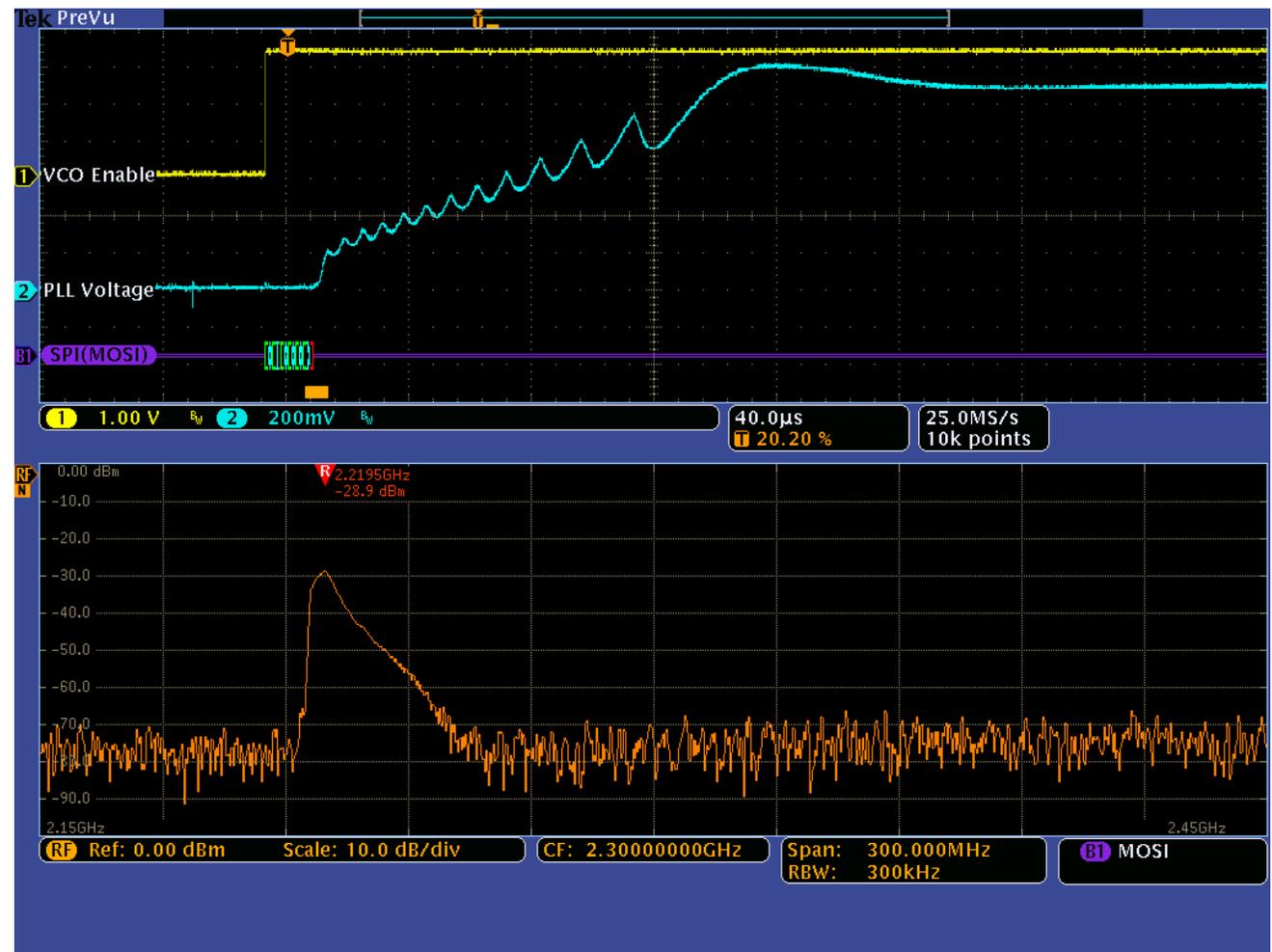


自由度の高いマルチドメイン解析

# 2つの新しい計測器

## MDO のメリット

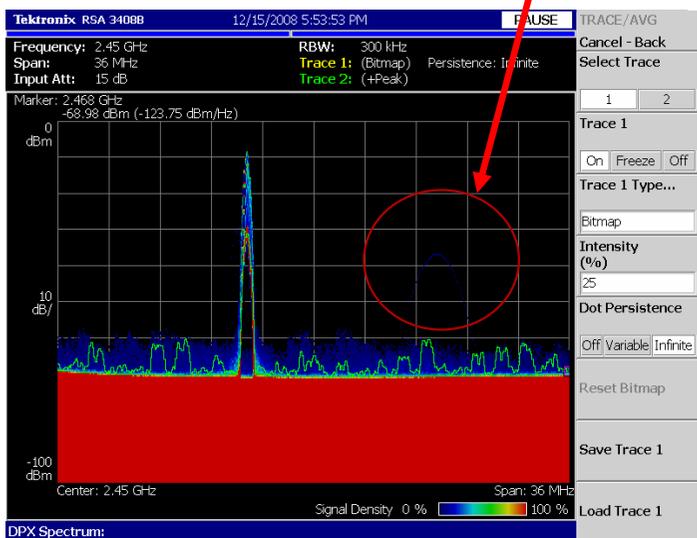
- デジタル、アナログ・ベースバンド、RFスペクトラム、の3つのドメインで、時間相関のあるデータを取得し表示
- 取り込んだ信号全体に渡りスペクトラムの推移を観測
- 測定事例：
  - VCO/PLL立上り時の過渡現象
  - SPIバスはVCOにオン・コマンドを送信
- スペクトラム・タイムをアナログ・タイム全体に移動して何が起きているかを検証



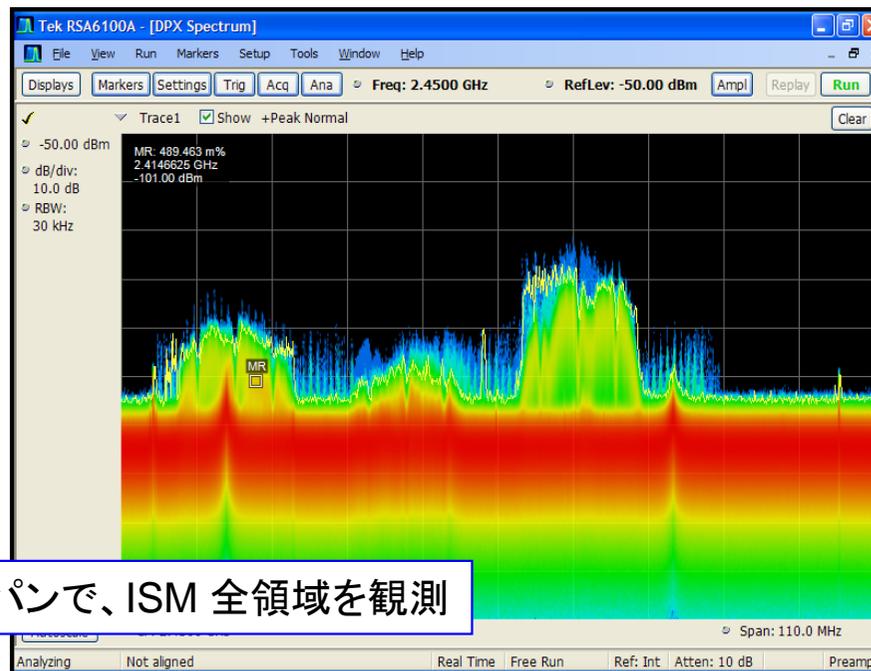
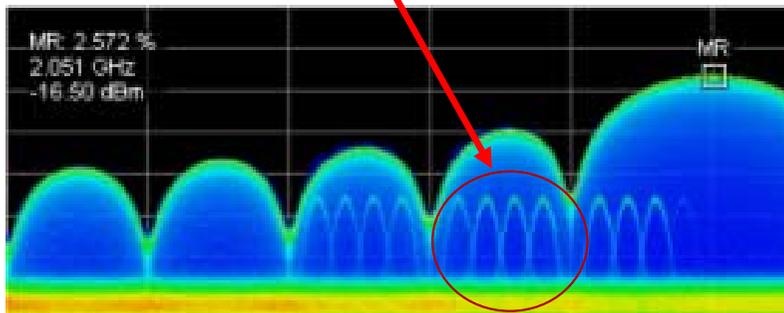
# 2つの新しい計測器 DPX Live スペクトラム表示

- 突発性のノイズや重畳ノイズ、間欠異常現象のリアルタイム観測

出力をONにした瞬間の突発性ノイズ

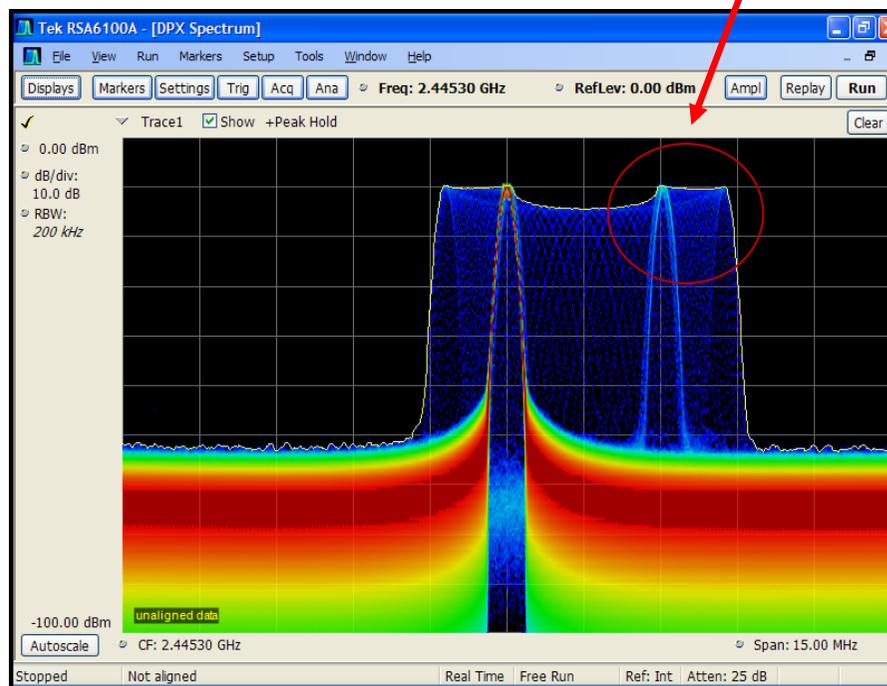


間欠的に偏移する重畳ノイズ



110MHz スパンで、ISM 全領域を観測

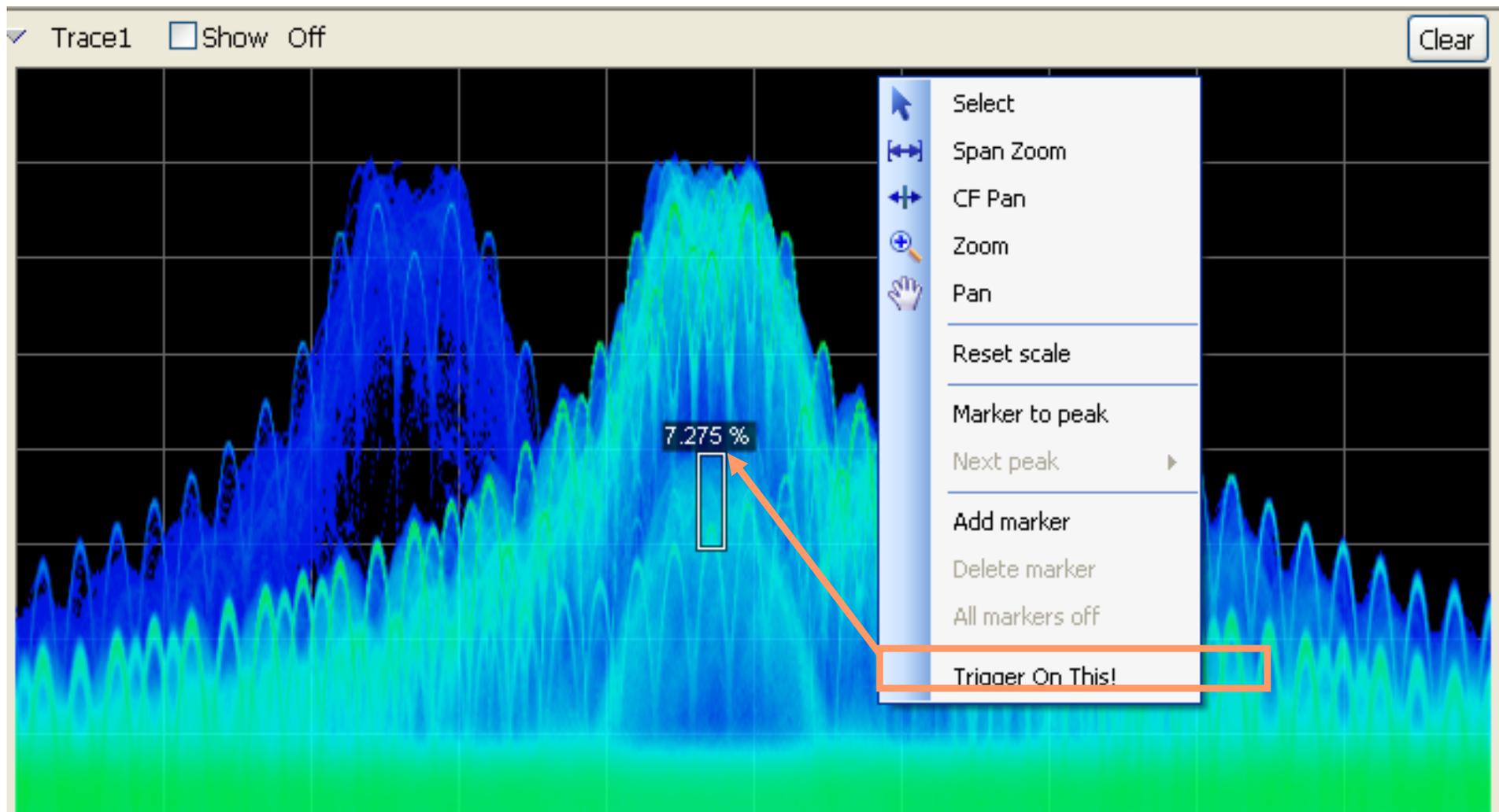
キャリアがフェーズ・ジャンプする間欠異常



## 2つの新しい計測器

### DPX Live スペクトラム + Density トリガ

- スペクトラム表示の表示密度からトリガをかける劇的な手法



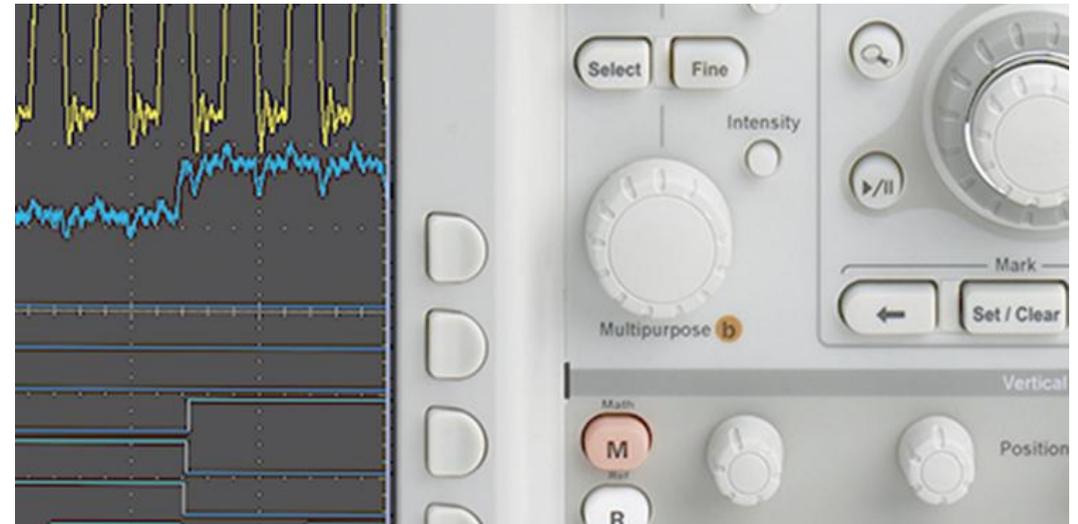
# 2つの新しい計測器 可能になる事

- 新しい機能で、下記の事が可能となります。
  - これまでに出来なかった計測・解析
  - これまで時間を要していた計測・解析
  - 沢山の機器と結線を必用としていた計測・解析を一台で
- DPX Live スペクトラム表示 + Density Trigger
  - 混雑する空間の出来事を素早く認識
  - 稀に発生する出来事を素早く認識
  - これまでトリガをかけるのが難しいとされていた信号へのトリガ
- MDO
  - SSC や PLL の動作の詳細解析
  - CCA の計測のように、信号の入力から、ビジーまたはクリアの認識までの時間計測
  - 無線機器が搭載されているゲーム・コントローラで、アクションを起こしたときだけ Power ON になりコマンドが送出されるタイプの詳細解析。
  - その他



「Suica」は東日本旅客鉄道株式会社の登録商標です。  
「PASMO」は株式会社パスモの登録商標です。  
「Transfer Jet」はソニー株式会社の商標です。  
All other trademarks are the properties of their  
respective owners.

# 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>