

## RSA6100Aシリーズ・リアルタイム・スペクトラム・アナライザを使用した最新のスペクトラム管理



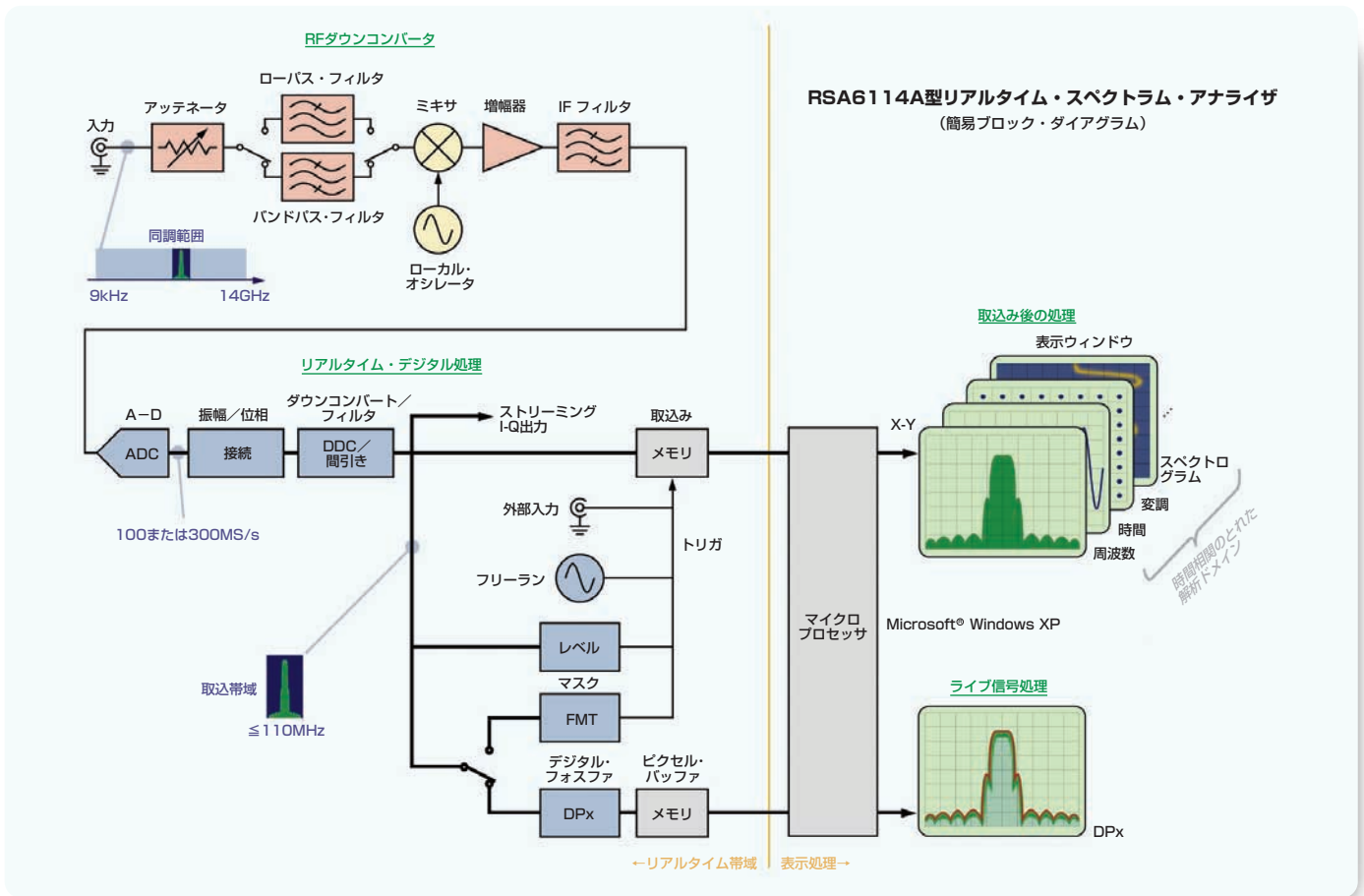
RF信号の監視やスペクトラム管理のアプリケーションでは、一般的な無線レシーバやスペクトラム・アナライザの性能をはるかに上回る要件が必要になることがあります。リアルタイム・スペクトラム・アナライザ（RTSA）は、信号監視とスペクトラム管理のアプリケーションにおいて数多くの優れた機能を装備しています。

このアプリケーション・ノートでは、当社RSA6100Aシリーズの優れた性能、機能によって実現される、最新のスペクトラム管理について説明します。特に、RTSAの2つの技術革新であるDPX®ライブ・スペクトラム表示と、広帯域110MHzリアルタイム・トリガ/取込みによるアプリケーションを中心に説明します。

RSA6100Aシリーズは、14GHzまでの周波数をカバーし、最大110MHzのリアルタイムIF帯域幅と73dB以上のダイナミック・レンジを同時に実現し、業界をリードします。このハードウェア性能に加え、革新的なDPX®ライブ・スペクトラム表示が可能なRSA6100Aシリーズは、最先端のスペクトラム監視ニーズに最適な計測器です。

# RSA6100Aシリーズ・リアルタイム・スペクトラム・アナライザを使用した最新のスペクトラム管理

▶ アプリケーション・ノート



▶ 図1: RSA6114A型リアルタイム・スペクトラム・アナライザとDPX® (デジタル・フォスファ技術) のリアルタイム・アーキテクチャを示した簡易ブロック図。

## はじめに

近年、無線デバイスとRF通信の急激な発展により、電波の取り締まり、干渉検出が非常に難しくなっています。このアプリケーション・ノートでは、RTSA技術が、今日の混雑した電波利用環境において、常に判断材料となる重要な情報の取得が可能だということを説明します。

RTSAを使用して、効率よく必要な情報を取込む様子を説明する前に、まずRTSA技術について簡単に説明します。次に、革新的なDPX®ライブ・スペクトラム表示のために開発された新技術を詳しく説明し、信号監視でのアプリケーションについて説明します。

さらに、RTSAの110MHz取込み帯域による広周波数帯域での信号検出の課題について説明します。ここでは、いくつかのスペクトラム管理アプリケーションをご紹介します。

最後に、外部での復調または記録のためのアナログおよびデジタル両方のIF出力、測定結果の保護のための特殊な機能についてもご紹介いたします。

## RSA6100Aシリーズの性能

RSA6100Aシリーズ・リアルタイム・スペクトラム・アナライザは、今まで困難であったスペクトラム管理や信号監視の問題を解決し、1台の測定器で帯域幅、周波数範囲、ダイナミック・レンジ、画像処理における解析機能を備えています。以下に、RSA6100Aシリーズのユニークな機能を説明します。

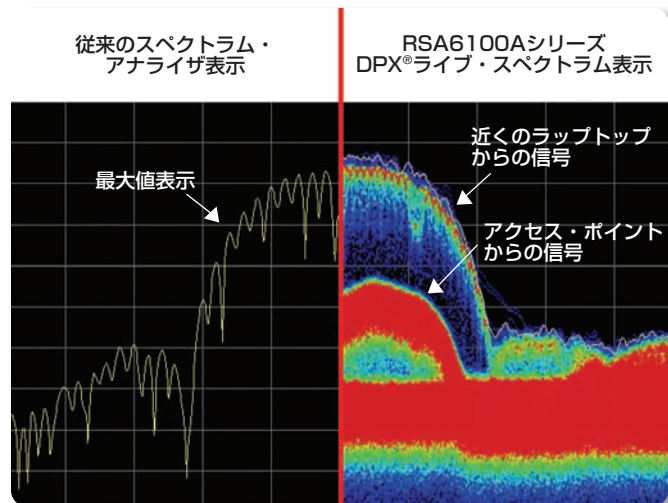
### 周波数レンジ

RSA6114A型の受信信号パスは、アナログRFダウンコンバータから始まります。他のスペクトラム・アナライザと同様、RF部は複数のコンバータで構成されていますが、IF帯域が非常に広いことが特徴です。

9kHz～14GHzの周波数レンジで同調可能なダウンコンバータは、通常必要とされる通信帯域を十分にカバーしています。

### 広帯域

RSA6100Aシリーズは、40MHz（標準）または110MHz（オプション110）の取込帯域と高ダイナミック・レンジを同時に備えています。従来のスペクトラム・アナライザのアーキテクチャでこの取込帯域を実現するには、RF部を変更する必要があります。従来の計測器では、狭帯域同調フィルタのプリセクタでイメージとスプリアスを取捨選択していました。このようなフィルタでは同調にヒステリシスやバンドパスにバラツキがあるため、複数の測定で再現性のある結果を得るのは困難です。広帯域の測定が必要な場合、従来の計測器ではYIGフィルタをバイパスしなければならず、スプリアス・フリー・ダイナミック・レンジが小さくなる原因となります。このような理由から、RSA6100Aシリーズでは、8GHz以上のイメージとスプリアス制御には複数のバンドパス・フィルタを切り替えて、スプリアスのない高ダイナミック・レンジと広い取込帯域を同時に実現しています。



▶ 図2：DPX®ライブ・スペクトラム表示では、重なり合った複数のWLAN信号の詳細を表示することができます。従来のスペクトラム・アナライザでは、モノクロ表示による振幅のピーク値しか観測できません。この画像の左右の信号は同じものです。

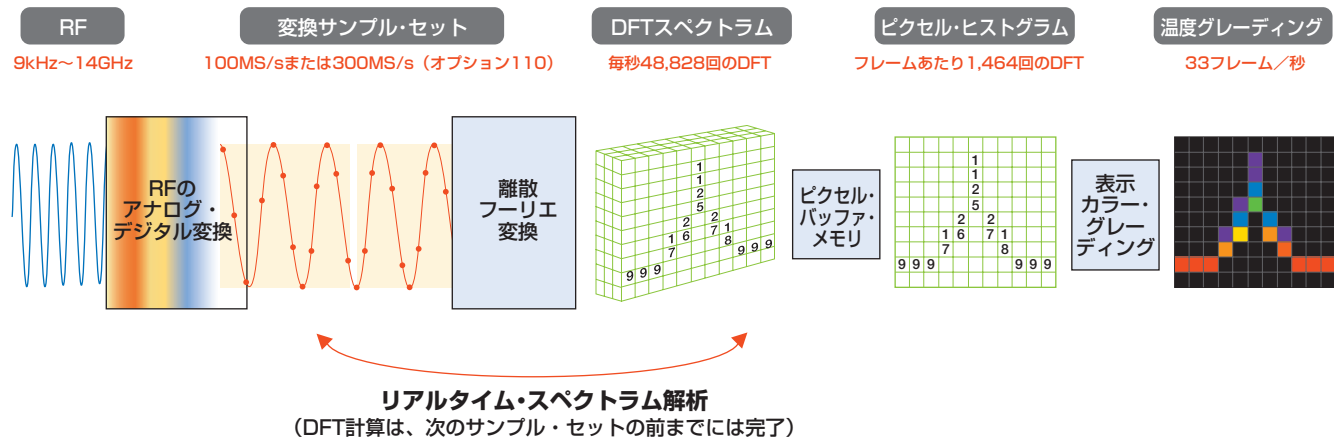
### DPX®ライブ・スペクトラム表示

スペクトラム管理において、RSA6100Aシリーズで特に斬新な機能がDPX®ライブ・スペクトラム表示です。DPX®システムは1秒間に48,000回以上のスペクトラム測定が行え、短時間の現象を確実に検出することができます。DPX®表示技術による信号検出機能は、特に予期しないトランジェント異常、または他の信号スペクトラムに隠れた信号の検出に有効です。

従来のスペクトラム・アナライザによる表示とDPX®ライブ・スペクトラム表示を比較することにより、その違いをはっきりと確認することができます。図2では、2種類の表示を並べて比較しています。DPX®ライブ・スペクトラム表示ではカラー階調で表示され、頻度の低いイベントは青で、ノイズ・フロアなどの頻度の高い現象は赤で表示されます。掃引型アナライザでは、マックスホールドにより最も大きな信号を捉えることはできますが、弱い信号を捉えることはできません。また、信号の発生頻度を表示することもできません。

# RSA6100Aシリーズ・リアルタイム・スペクトラム・アナライザを使用した最新のスペクトラム管理

▶ アプリケーション・ノート



▶ 図3：DPX®エンジンは、まずADコンバータのデジタル出力から始まり、周波数ドメインに変換し、結果を圧縮して目に見える形で表示します。

## DPX®変換技術

図3に、RSA6100Aシリーズのリアルタイム・スペクトラム処理とDPX®変換エンジンを示します。アナログRF入力信号はダウンコンバートされ、変換サンプル・セットにセグメント化されます。各サンプル・セットは、離散フーリエ変換 (DFT) によって周波数ドメインに変換されます。周波数変換は非常に高速に行われるため、24 $\mu$ sのトランジェント信号でも正確な振幅のDPX®ライブ・スペクトラム表示が得られます。

DFTスペクトラムは、発生ピクセルのヒストグラムが蓄積されるDPX®ピクセル・メモリ・バッファに送られます。各フレームが蓄積された後、発生回数によりカラー・コード化され、ディスプレイに出力されます。

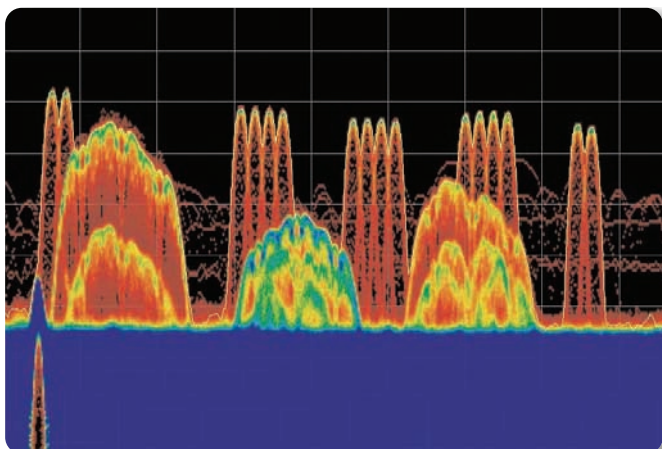
DPX®のスペクトラム処理速度は人間の視覚や画面表示させるには、追いつかないほど高速であり、ライブ信号を目で確認するには、情報を失うことなく画面更新速度を落とす必要があります。DPX®表示プロセッサは、測定結果を1秒間で約33画面に圧縮し更新します。1つの表示フレームにつき約1,464回のスペクトラム測定を実行し、続いて画面の各ピクセル位置で観測されたスペクトラム通過回数を蓄積していきます。各ピクセルの色は、表示フレームの各ピクセル位置で見つかったスペクトラム通過回数によって決まります。

各表示フレームは、蛍光体のようなパーシスタンス (残像) 調整が可能であり、短時間のイベントであっても、人間の目で確認するのに十分な期間だけ画面上に表示できます。この革新的な技術に関する詳細は、当社発行の「リアルタイム・スペクトラム・アナライザにおけるデジタル・フォスファ技術の基礎」(アプリケーション・ノート) をご参照ください。

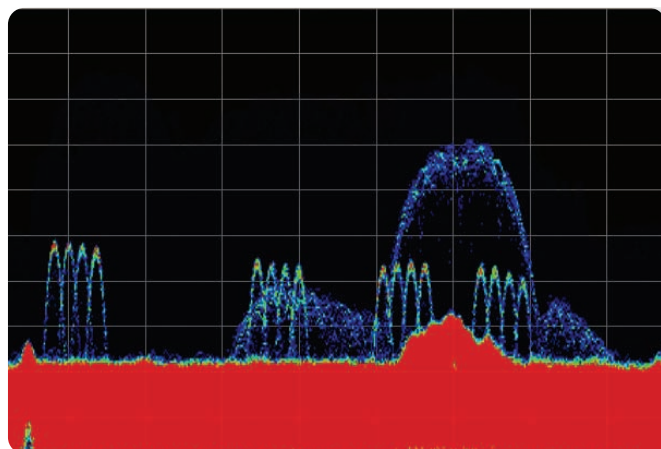
## DPX®と混雑したスペクトラム

激しく変化する信号があり、複数の信号が同じ周波数帯を共有しているケースを考えてみます。すべての信号が観測できないと、これらの信号が効率的に時間共有しているか、またはお互いに著しく干渉しあっているかわかりません。

DPX®ライブ・スペクトラム表示では、従来分離できなかった、または観測すらできなかった、変化しているRF信号を観測することができ、混雑したスペクトラム環境において通常見ることができなかった、捕捉の難しいRF信号を確実に表示することができます。



▶ 図4：2.4GHz帯で数多くの信号が同時に観測されています。3種類のWLANチャンネル、Bluetoothの信号セット、非常に広い帯域の間欠的な信号が背後に表示されています。



▶ 図5：ここでは、WLANアクセス・ポイントの信号を観測しています（ノイズに埋もれた赤の盛り）。それよりも遠いところに、さらに弱い信号が見えています。カラー階調表示では、赤はほぼ連続的に伝送が行われていることを示しています。同じチャンネルで最も強い信号が、近くにあるラップトップ・コンピュータのもので、青で表示されています。4つのチャンネル、4つのキャリアは、すべてBluetooth信号です。

### 複数の信号を同時表示

1つのスペクトラム・セグメントに複数の信号が存在し、それらが重なり合っている場合、従来のスペクトラム・アナライザでは分離して表示することはほとんど不可能です。通常、デジタル表示では、スペクトラムの各周波数ポイントにおける最も強い信号のみの表示になります。

図4では、WLANの3つのチャンネル、Bluetooth伝送、すべてのバンドにまたがっている、繰り返しレートの低い、非常に広い帯域の信号が観測されています。さまざまな信号が同時に存在する場合、どの信号が同時に、また別々の時間で存在するのか、また、まったく異なった信号を区別することすら困難です。

時間によって変化する2つの信号が重なり合っている場合、DPX®ライブ・スペクトラム表示ではこの2つの信号を区別して表示することができます。図4では、同じチャンネルで重なり合った複数のWLAN信号が簡単に区別されていることがわかります。また、信号の色から各部の発生頻度までわかります。

広帯域のノイズ状の間欠信号が、他の信号に干渉する様を一目で観測することができます。また、意図した信号が干渉信号よりも強いのか、またはどちらの信号の方が弱いのかも簡単にわかります。

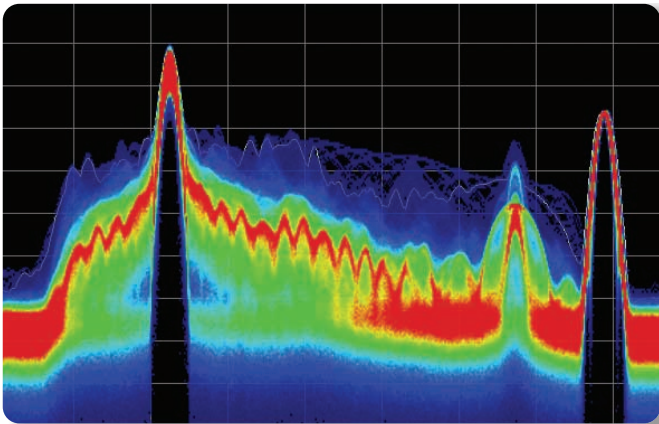
### 異なる時間に発生する信号

時間によって変化する複数の信号が周波数軸上で重なり合っている場合でも、それらを区別して信号の特性を明らかにすることができます。振幅と発生頻度は区別して表示されます。信号が発生している時間の割合は、色で表示されます。

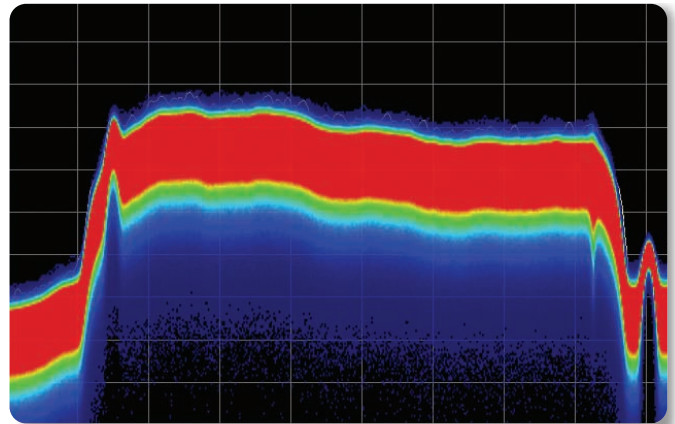
信号の振幅と周波数は、従来のスペクトラム・アナライザの軸で表示されます。DPX®表示にはバリエーション・パーシスタンス機能があり、短いパルス信号でも観測できる可能性が高くなります。

### 時間によって変化する信号

信号によっては、その性質上、時間によってスペクトラムが大きく変化するものがあります。例として、アナログ・テレビ信号があります。主搬送波と音声搬送波は比較的一定していますが、ビデオ情報の変調波は画像変化に伴って常に変化します。細かな画像、色の多い画像、大きな物体の画像などでは、スペクトラム成分が大きく異なります。



▶ 図6：アナログ・テレビの伝送では、伝送される画像が常に変化するため、スペクトラム成分は常に変化します。



▶ 図7：デジタル・テレビの伝送では、アナログ・テレビに比べてより安定したスペクトラムとなっています。このTV局の上側に隣接する周波数帯では、3つの通信信号が使用されています。

アナログTV信号のスペクトラム適合性を測定する場合、DPX®では平均的な占有帯域とその特長、また極端なスペクトラムの広がりなどを観測することができます。

図6は、アナログ・テレビ伝送の例を示しています。従来のデジタル表示では、最後に更新されたスペクトラムを単色で書き換えながら表示するか、または最後に保存された表示がリセットされて新しく保存されたトレースを単色で表示します。

DPX®ライブ・スペクトラム表示では、各スペクトラム成分の発生頻度を“頻繁（赤）”から“稀（青）”まで色彩を変えて表示します。

ここでは、すべてのビデオ画像のスペクトラムが、安定した搬送波が赤で、また、各ライン、フレームから次々と変化するのに伴い動画表示されます。

低周波側に、残留側波帯がはっきりと観測されています。青色は、スペクトラム成分がごくまれにしか発生していないことを示します。これらは、スペクトラム・エミッションの要求に対して違反する恐れがありますが、従来のスペクトラム・アナライザでは容易に見逃してしまいます。

デジタルTVの伝送は、アナログTVに比べると時間的により安定しています。図7には、8-VSB US DTV信号のDPX®ライブ・スペクトラム表示を示します。

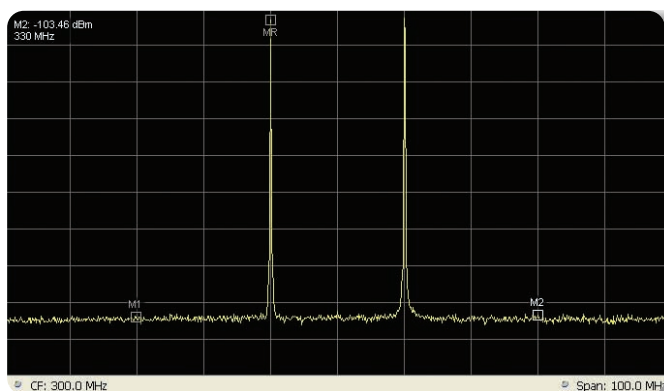
デジタル信号は割り当てられている帯域をほとんど占有してしまうため、デジタルTVではスペクトラム監視がさらに重要です。小さな障害であっても、設定されたマスクに対して違反すると、隣接したチャンネルに大きな影響を及ぼすことがあります。上記のチャンネル4 DTV信号の上側に隣接する周波数帯には、いくつかの72MHzの通信信号があります。この信号は、DTV放送局の混信から保護する必要があります。

DTV送信機でフィルタリングするのは良いのですが、それでも定期的に監視しなければなりません。

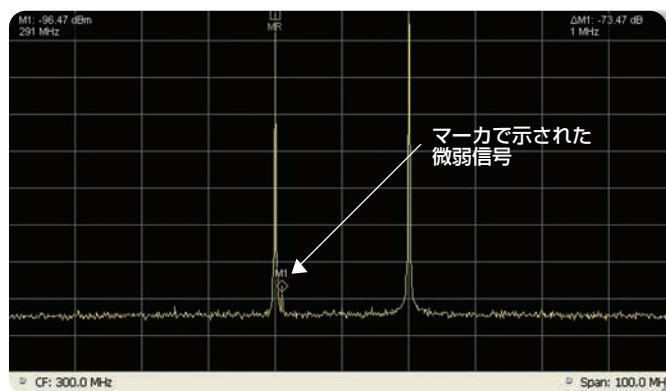
## 110MHzの取込帯域

### 広い帯域とダイナミック・レンジの組合せ

監視機器の重要な要素の一つとして、目的とする周波数の近くにある大きな信号によるジャミングを避けるために十分に広いダイナミック・レンジと選択性能があります。また、1回の取込みですべての通信バンドを取込むだけの広い帯域も重要となります。



▶ 図8：2つの大きな信号があります。アナライザに混変調歪がある場合は、マーカー点にそれらが見えるはずですが、実際には見えません。



▶ 図9：強い信号より74dB下にある微弱信号で1MHzしか離れていない信号でも、100MHzスパンで確実に確認できます。

免許不要の5GHz U-NII帯は周波数帯域幅が100MHz、2.4GHz帯は83.5MHzです。このような広帯域信号でも、RSA6100Aシリーズを使用すると完全かつ連続的に取込むことができます。

帯域内の強い電波障害または隣接信号によりアナライザ内に混変調が発生し、目的の信号の復調ができなくなることがあります。意図しない混変調歪により意味のない信号でスペクトラムが群がり、スペクトラムを調べる作業が遅れることとなります。

図8は、ダイナミック・レンジが広く取れることを実証するため、100MHzスパンのスペクトラム表示で2つの大きな信号を観測しています。

### 帯域と感度の組合せ

表示平均ノイズ・レベル (DANL) は $-151\text{dBm/Hz}$  (代表値) であり、低レベル信号を確実に検出することができます。内蔵のプリアンプを使用すると、RSA6100AシリーズのDANLは $-166\text{dBm/Hz}$  (代表値) となり、さらに感度は向上します。

RSA6100Aシリーズは、110MHzの周波数帯域で73dBのスプリアスフリー・ダイナミック・レンジがあり、広範囲な監視アプリケーションに対応することができます。

図9では、分解能帯域幅を20kHzにすることで、大きな信号から1MHzしか離れておらず、大きな信号に比べて74dBも弱いターゲット信号であるにもかかわらず、はっきりと確認することができます。

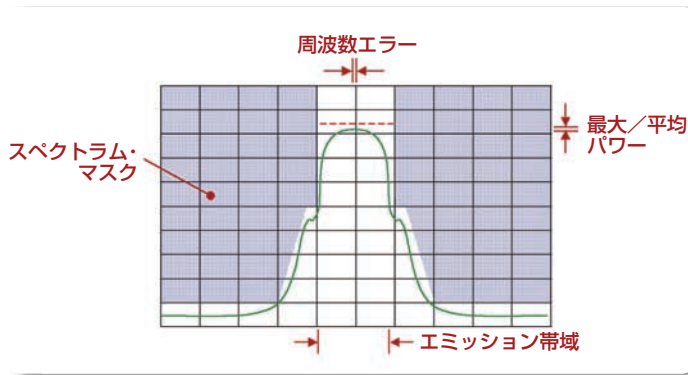
RSA6114型には、これらの性能の組合せに加えて110MHzのリアルタイム解析帯域があるため、混雑したスペクトル環境でも優れた感度でRF信号を取込むことが可能となります。

## 監視アプリケーション

### スペクトラムの規制

無線スペクトラムは、ユーザ間での不要な干渉を避けるために非常に厳しい規制が課せられている共有リソースです。通信機器が規制に適合していることを確認するため、監視機能は定期的に放射を監視しています。

適合性の監視は行政のみが行うものと考えられていますが、近年では多くの一般企業が継続的に信号を監視しています。無線デバイス、報道のグローバル化、周波数帯競争の大幅な増加に伴い、商用の信号監視アプリケーションが著しく成長しています。



▶ 図10：スペクトラム・エミッション・マスクでは違反領域がグラフ上で表示され、RTSAは間欠的に発生する違反であってもこれにトリガして取込むことができます。

不用意な妨害電波は、移動体通信業者に大きな損出を与えることがあります。同様に、商用放送局は管理体制が不十分な隣接チャンネル局により、多くの視聴者を失う可能性があります。通信衛星、地上通信センター、ゲートウェーとしての地上局は、干渉問題だけでなく、資産利用、請求目的のためにも信号を監視する必要があります。干渉による障害の特定には、まず送信スペクトラム放射の監視から始めます。

スペクトラム規制管理者は、強制的な執行の裏づけをとるために、さまざまな種類の信号を監視する必要があります。

### LPD送信バーストの取込み

RTSAは、リアルタイム・トリガ検出によりLPD (Low Probability of Detection、低検出確率) 信号を確実に取込み、検出確率を100%に上げるためのユニークなソリューションを提供します。

RTSAの周波数マスク・トリガ (FMT) により、伝送バーストの入力信号を解析し、LPDイベントに確実にトリガします。RSA6100Aシリーズには110MHzの取込帯域があり、10.3 $\mu$ sの信号期間を100%の確率で取込むことができます。

### 盗聴対策

企業はプロセスと製品が財産になることを考え、彼らのアイデアにおける投資を保護しようとしています。この保護には、競合会社が盗聴器を使って本社オフィスを盗聴する可能性への対策も含まれることがあります。

盗聴器はとても簡単なものもありますが、中には通信に最新のRF技術を使ったものもあり、ますます高度になっています。例えば、「ストア・アンド・フォワード」と呼ばれるデジタル技術を採用したデバイスもあります。この技術では、まず音声をデジタル化してデジタル記録として圧縮します。次に、デバイスは、予め設定された時間あるいはコマンドにより、変調されたRFの短いバーストとしてデジタル記録を送ります。

このバーストはランダムな回数であり、従来の掃引型スペクトラム・アナライザでは、発見することはほとんど不可能です。RTSAは、間欠的なバースト伝送を検出して取込むのに最適なツールです。

このような種類の間欠信号を検出するため、周波数マスクを使って広帯域な信号にトリガして取込みます。周波数マスクは、各地域の規制値を囲むように設定します。図11は、FM放送帯のスペクトラムを示します。



周波数マスクは、たとえ短時間で間欠的なものであっても、正規の信号間に入り込んでくるような信号に対してトリガをできるように設定することができます。

このような「ストア・アンド・フォワード」タイプの盗聴器から、デジタル変調され短時間でバースト的に送信される信号に対してトリガすることができます。RTSAに非常に近い（6m離れた）ところにあるデジタル送信機と24km離れたFM局の送信機の信号をみると、デジタル送信機の信号はFM信号よりも40～50dB小さくなっています。

図12はこれと同じトリガから生成されたもので、FM搬送波間に現れたデジタル信号が、バースト的に出力されたことを示すスペクトログラムです。

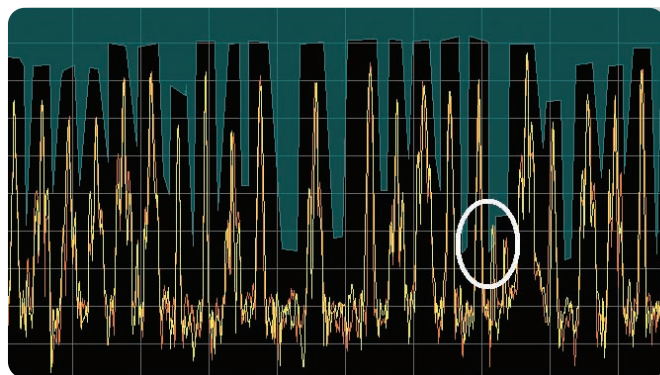
短いバーストを観測するもう1つの方法がDPX<sup>®</sup>ライブ・スペクトラム表示モードです。図13は、図11で示した同じスペクトラムのDPX<sup>®</sup>ライブ・スペクトラム表示です。これは、色によりバーストで出ている信号と、常時でている信号を色で見分けることができます。比較的コンスタントに現れている放送信号は赤で、間欠的に現れるバーストは薄い青で表示されています。DPX<sup>®</sup>ライブ・スペクトラム表示では、バーストが始まってから消えてゆくまでを、DPX<sup>®</sup>パーシスタンス設定により動的に変化させることができます。

### 周波数帯のクリア

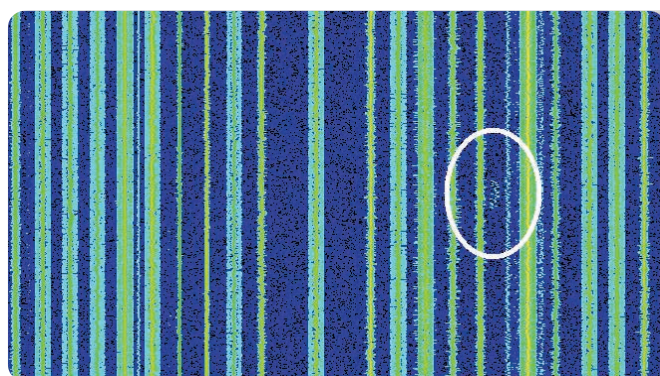
新しい技術が開発され、ユーザからのスペクトラム要求が変化すると、ユーザに割当てられていた周波数を異なるユーザに割り当てるという規制変更を行うことがあります。この割当てが変更されると、再割当てに気づかないユーザがいるかもしれません。このような場合、新しいユーザがその周波数に移行できる準備が完了するまで再割当てを延期しているかもしれません。

このような状況では、行政の監督機関または新しいユーザは、古いユーザを特定して新しい周波数に移行するよう告知することが必要になることもあります。

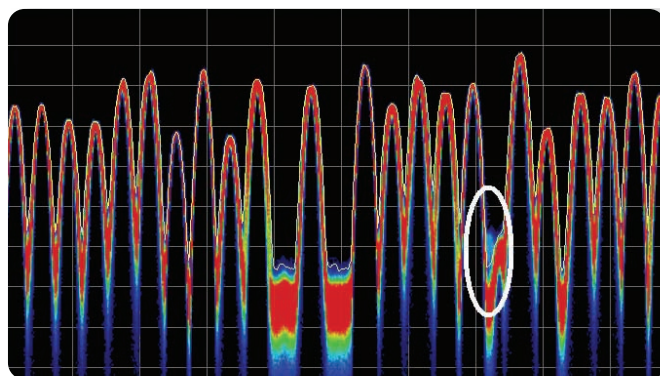
すべての周波数帯で古い信号を特定するためには、広帯域での検索が必要になります。最新のRTSAには110MHzの取込帯域があり、数多くのバンドを同時に調べることができます。



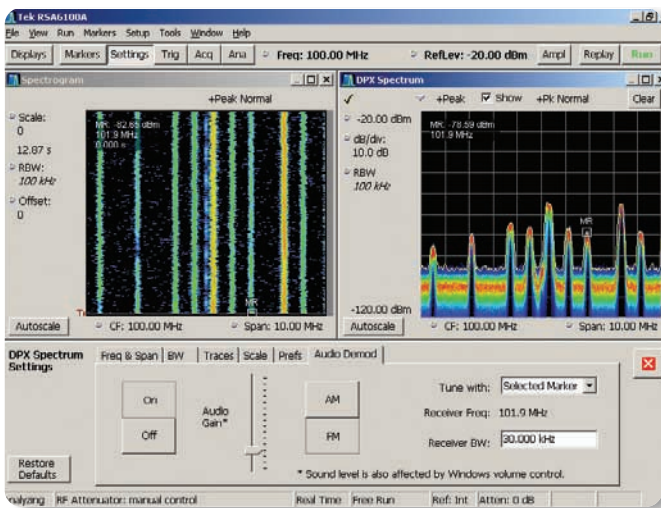
▶ 図11：FM信号を避けるように設定された周波数マスクの例。信号がマスク内に入ると細いバーストにトリガして取込みます。



▶ 図12：スペクトログラムは、細いデジタル・バーストのタイミングを示します。



▶ 図13：DPX<sup>®</sup>では、間欠的なバーストは薄い青で表示されます。



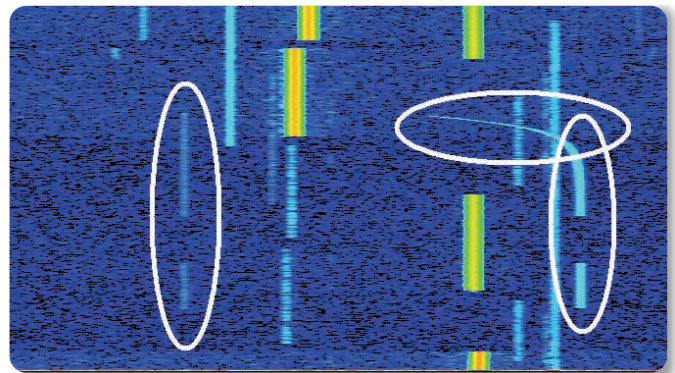
▶ 図14：特定のFM放送の音声復調の様子。選択したマーカによってチャンネルが同調します。レシーバは500kHz帯域まで設定でき、復調出力は計測器のスピーカまたはヘッドフォンから再生することができます。復調するチャンネルはDPX®ライブ・スペクトラム表示から選択でき、この例では選択されたチャンネルがスペクトログラムで表示されています。

## 現実的なスペクトラムの実施

RFスペクトラムは、ますます混雑する状況が続いています。多くの地域では、一人で1台以上の携帯電話を所有するようになっています。多くの民生デバイスが互いに通信を始め、コンピュータ・ネットワークは驚くべき成長率で拡大しています。

このような競合するスペクトラム・ユーザは、干渉することなく共存できなければなりません。たとえ多くのRF信号間に数多くの信号が存在した場合でもです。このようなRF環境では、すべての機器はスプリアス・エミッションの仕様に適合し、隣接した信号が通信できるように信号経路を提供しなければなりません。

時折、よりオープンな環境で数少ない利用者であった場合でも、不調の電子デバイスがライセンス・ユーザに大きな損害を与えることがあり、規制の実施が必要になります。



▶ 図15：左の円内では、適切な送信エミッションを示しています。右の2つの円内は、スプリアス発振を示しています。

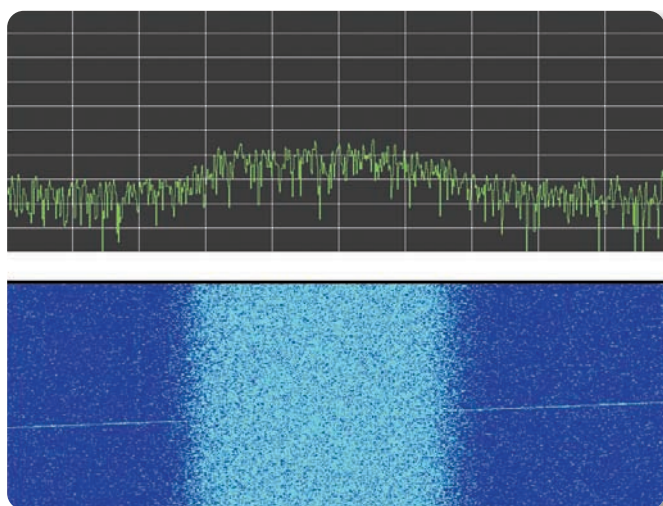
## 解析と信号認識のための音声復調

人間の耳は、信号認識において最も高速な検出器とされています。これは従来のAMおよびFM音声信号、その他の信号でも当てはまり、特定の信号の特定のパターンやトーンに慣れることができるからです。例としては、通常の市民バンド通信や、FMまたはAM無線周波数の音声聞くことです。音声信号の強さは、音声の方向を知るのに役立ちます。RSA6100Aシリーズは、ライブ信号表示機能とライブ信号の音声復調機能の組合せを初めて実現しています。

図14は、このような解析の設定例を示しています。この例ではFM送信バンドを解析しており、特定のチャンネルを調べるために、マーカを特定の周波数に合わせます。RSA6100Aシリーズの専用リアルタイム・ハードウェアにより、復調は他の解析と同時に実行されます。

## タクシー会社の例

スプリアス障害の例として、大都市で使用されている450MHz、460MHz帯の無線通信で発生する一連の通信断があります。障害は数分間発生し、次の数時間は発生しないこともあります。ほとんど問題は発生しないため、だれも障害がすべての通信バンドに影響していることに気づかず、苦情がくることもほとんどありません。



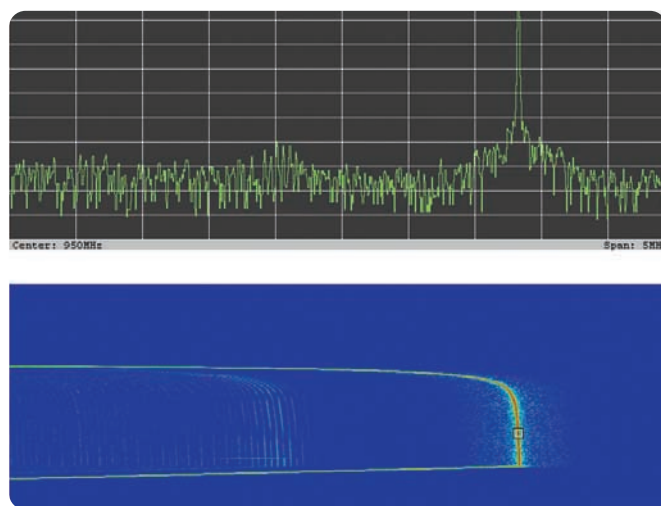
▶ 図16：衛星信号のスペクトラムおよびスペクトログラムによって観測した干渉の掃引例。

この問題の解決には、周波数マスク・トリガとスペクトログラムを使用して障害を検出することができました。

図15のスペクトログラムで示すように、干渉（右側の丸枠で囲まれた高周波信号）は、正常の通信信号（ディスプレイの左側の丸枠で囲まれた部分）の1つと同時に発生しています。すべてのバンドでこのタイミング関係が観測できれば、その都市においてスプリアス発振している1台の送信機を特定することができます。

発振は、その始まりにおける周波数の急激な変化として観測することができます。認可されているユーザの複数のチャンネルをまたいで変動するため、次から次へと通信を不通にすることになります。そして、送信サイトの温度によって決まる周波数に落ち着きます。これが、時間によって障害が変化する理由です。

この例では、タクシー会社が所有する送信機が不適切に改造されていたことがわかり、新品に交換したところ問題は解決しました。



▶ 図17：掃引信号の高周波ピークにおける詳細な時間観測例。

## 民生品からの放射

スペクトラム管理が特に難しい問題は、さまざまな方法でRFを利用する民生品が急増していることが原因となって発生しています。ここでは、救急医療対応のためのトレーニング・ビデオを衛星受信する際の障害について考えてみます。ビデオ受信障害はランダムに発生し、通常は何時間も続きます。

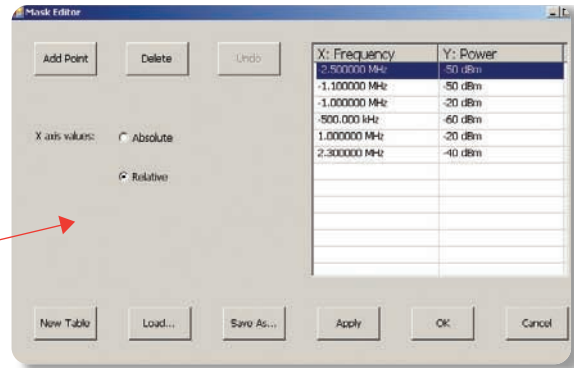
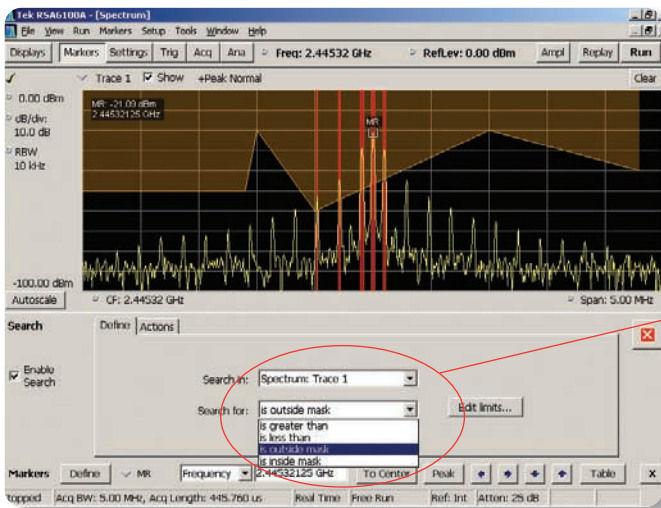
衛星ビデオ・プロバイダも受信機器メーカーも、この問題を解決することができませんでした。従来からあるテスト機器では、この問題を観測することができません。

RTSAを使用することで、干渉信号にトリガすることができました。図16は、IFダウンリードからのデジタル衛星信号のスペクトログラムを示しており、干渉信号はビデオ伝送を通過していません。この信号への干渉はわずか500msでしたが、受信機の信号ロックがはずれるには十分な時間です。

掃引信号の端が見えるまで、RTSAの中心周波数を移動しました。図17は、掃引の高周波端のスペクトログラムを示しています。掃引のトータルは260MHzであり、ランダムな間隔で繰り返していました。掃引の幅も異なる場合があります。

## RSA6100Aシリーズ・リアルタイム・スペクトラム・アナライザを使用した最新のスペクトラム管理

▶ アプリケーション・ノート



▶ 図18：ユーザ定義のリミット・ライン・マスク設定メニューを表示。ユーザは、マスクを描いて特定の絶対または相対の周波数/電力座標を入力することができます。

ここでは信号特性はわかっていますので、信号源を追跡するためにRTSAを車に搭載しました。信号はさまざま方向から同時に来るため、当初は難しいと思われました。しかし、監視車で特に大きな信号を追跡したところ、問題の原因を特定することができました。

干渉信号は、駐車していた車に取り付けられた安価なレーダ検出器から出ていました。このレーダ検出器は市内にはそれほど多くはないのですが、取り付けられている車は衛星受信アンテナから近かったり、遠かったり、さまざまな場所に駐車されることがわかりました。

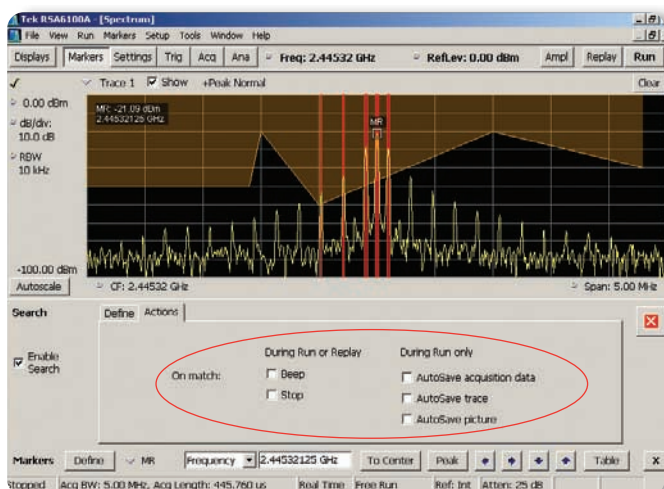
この問題を解決するため、受信アンテナを元々あった屋上ではなく、ビルの陰に移動することにしました。

### 違反に対してリミット・サーチし、データを保存

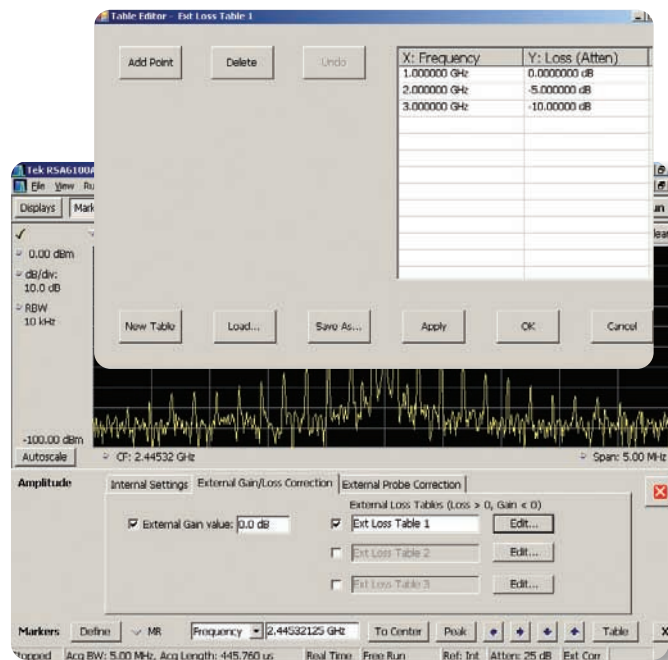
違反を検出する場合、スペクトラムの特定の部分を連続的に監視することは非常に有効な方法です。この方法は、民生品からの放射を測定したり、またはその他のアプリケーションで使用したりします。図18は、RSA6100Aシリーズを使って信号にユーザ定義の領域を設定した例です。リミット値は、ユーザ定義のパワー・レベルであったり、通信規格やEMIなどの仕様から描いたりします。

茶色の領域が違反ゾーンです。信号がこの領域に入ると、赤く表示されます。違反が発生した場合、単にピーブ音を鳴らす、スペクトラム・トレースの情報を保存する、表示された画面のスクリーンショットを保存する、および、取込んだデータの保存など、いくつかの便利なアクションを設定することができます。

場合によっては、外部トリガ、周波数マスク・トリガ、レベル・トリガ、またはユーザによる強制取込みなど、トリガ・イベントのもとになるすべての取込みを保存するのが望ましいことがあります。これは、サーチ基準を、どのような取込みでも違反を検出することが可能、に設定することで簡単に実行できます。この結果は、「トリガで保存 (save on trigger)」となり、後から解析することができます。リアルタイムに信号を監視でき、10.3 $\mu$ sまでの干渉信号であれば100%の確率で検出することができます。リミット・ラインの領域で“Autosave Acquisition Data”オプションを選択すると、周波数マスク・トリガとリミット・ラインを一度でも越えた場合に違反信号を保存することができます。



▶ 図19：マスク違反が発生した場合、スペクトラム・トレース、画面イメージ、またはIQアキュイジション・データなどが保存できます。描かれたマスクが周波数マスク・トリガのマスクと同じ場合、RSA6100Aシリーズはトリガでデータを保存します。



▶ 図20：RSA6100Aシリーズによる補正テーブルの設定例。

### 利得／損失の補正テーブル

さまざまなアナライザをスペクトラム管理システムと統合する場合、システムで使用されるアンテナ、変換器、プリアンプなどの外部機器の利得、損失の補正係数を入力することが非常に有効です。RSA6100Aシリーズは、このテーブルに入力することができます。それぞれのコンフィグレーション用に設定を保存することができます。作成するテーブルの数には制限がありません。すべてWindowsファイルですので、オフラインで作成、編集できます。図20は、RSA6100Aシリーズによる補正テーブルの設定例を示します。

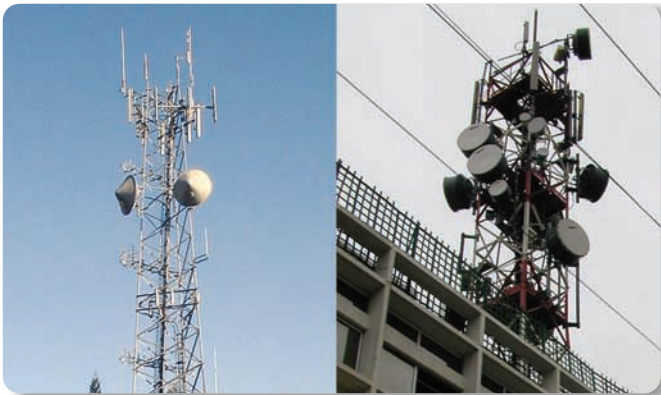
### SDRの検証

SDR (Software Defined Radio、ソフトウェア無線) には、まったく新しい次元の課題があります。多くのバーストタイプの移動無線には、バーストのオン／オフにおける遷移期間があるため、「送信パワー・オン／オフ時のスペクトラム」に関する仕様があります。これが広帯域の干渉を生むこととなります。

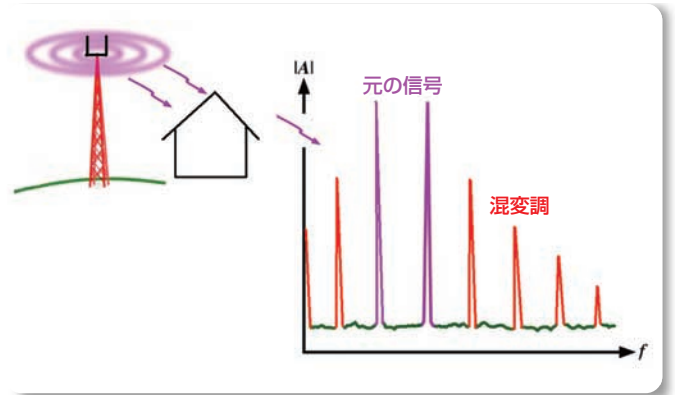
SDRでは、動作時に何種類もの変調形式に切り替わるため、問題はさらに複雑になります。RFのスイッチングは広帯域ですので、すべての通信帯に広がる可能性があります。RTSAはスペクトラムが観測できるだけでなく、変化するRFの時間ドメインを観測することもできます。

SDRの一つに、コグニティブ無線があります。ローカルのRF環境を調べることができ、使用されていないスペクトラムがわかります。また、地域の行政規則を参照して、スペクトラムが使用できるかチェックします。コグニティブ無線には新しい規制があり、最優先の通信免許保有者が送信を始めたら短時間のうちにチャンネルを明け渡さなければなりません。

RTSAは、周波数マスク・トリガを設定することでこの「信号回避」時間を測定することができ、コグニティブ無線が新しい周波数に移る際の時間ドメインの様子を取込むことができます。



▶ 図21：混雑しているVHFと携帯電話の送信タワー、同様に混雑しているマイクロ波の送信タワー。



▶ 図22：錆びた屋根からの干渉

### レーダ・システムの干渉

空港、船舶、気象庁などに見られる、多くの民間レーダ・システムにも相互干渉があります。RSA6100Aシリーズには、最高14GHzの周波数レンジと狭いパルスの検出機能があり、このような干渉を測定することができます。

パルス測定機能を装備したRSA6100Aシリーズを使用することで、空港の管理部門は、グランド・コントロール、交通管制、気象など、空港内にある同じ種類のレーダからの干渉を切り分けることが可能になります。しかし、空港が船舶の港に近い場合は、相互干渉がより大きな問題となります。

### 混雑したバンドによる混変調

無線スペクトラムが混雑してくると、送信機が設置される物理的な場所も混雑してきます。地域の区画規制によってこの問題はますます深刻になっており、RF送信機は施設を共有せざるを得ません。

図21は、この例を示しています。このようなサイトにおける技術的な問題点は、複数の信号が近くにあることによって引き起こされるミキシングまたは混変調です。複数の信号は、アンテナおよび関係のない送信機のノンリニア・アンプに入り、複数の不要な信号を発生し、再送信します。これは、問題となる送信機のアンテナ接続部に、フィルタおよびフェライト・アイソレータを追加することで簡単に解決できます。

しかし、ノンリニアのミキシングを解決するためのより難しい問題は、ビル近くにある錆びた屋根、または送信タワー自身の錆びたボルトが原因となるものです。図22に示すように、いくつかの信号がミックスされて送信トラブルの原因となっており、RTSAのスペクトログラムと周波数マスク・トリガを使用し、何時間もかけて信号をトリガし、ミックスされるさまざまな信号の時間関係を測定する必要があります。

多くの混在している信号と無数の混変調は100MHz幅近くのスペクトラムを占有しますが、RSA6100Aシリーズは、110MHzのリアルタイム帯域幅をもっているため、このような問題の解決に適しています。計測器のダイナミック・レンジは、問題の原因となる放射をマスクしてしまうような、計測器自身の混変調を含んではいけません。

## デジタル・サンプル・データ出力

### 外部処理または外部記録するための出力

RSA6100Aシリーズの信号出力には、アナログIFとRFデジタル化された波形のタイム・サンプルの2種類の形式があります。

デジタル・データ・サンプルにアクセスするには、アキュイジション・ファイル、またはストリーミング・ダイレクト・ハードウェア・アクセスの2種類があります。これらの出力は、計測器の110MHz帯域で提供されます。

### RSA6114A型のI-Qファイル・エクスポート・モード

計測器に保存されている校正／補正データ・ファイル（内部 tiq フォーマット）は、Ethernet、USBまたはCD/DVDでエクスポートできます。RSA6100AシリーズはASCIIでもエクスポートできるため、取込んだ信号を汎用のソフトウェアで処理できます。ファイルのレコード長は、RTSAで利用可能なメモリ長に制限されます。表1は、RSA6100Aシリーズのファイルで実現可能な時間分解能と総レコード記録時間を示します。

| スパン    | 時間分解能         | 最大レコード長 |
|--------|---------------|---------|
| 110MHz | 6.7ns         | 1.7秒    |
| 40MHz  | 20ns          | 5.12秒   |
| 5MHz   | 160ns         | 41秒     |
| 1MHz   | 640ns         | 8.19秒   |
| 100kHz | 5.12 $\mu$ s  | 10.9分   |
| 20kHz  | 20.48 $\mu$ s | 43.7分   |

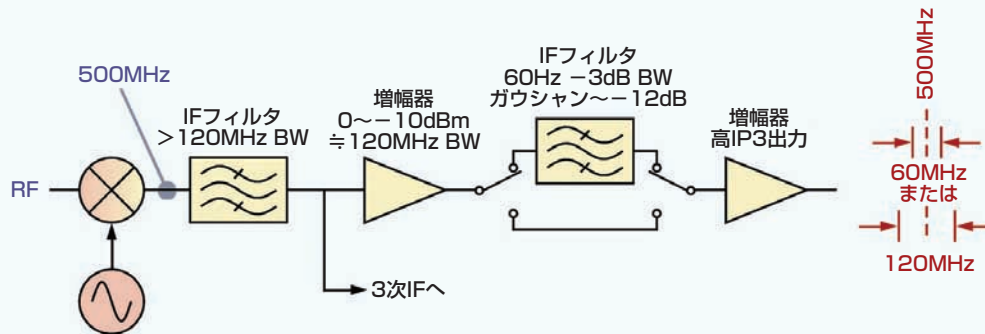
▶ 表1：取込帯域による時間分解能と記録時間長の例。スパンによって取込帯域が変更されます。

### ダイレクト・デジタル出力による連続解析

信号変調が連続的でメモリ長を超える場合、どうすればよいのでしょうか。ファイルのエクスポートは内部アキュイジション・メモリの容量で制限されますが、当社RSA6100Aシリーズには高速のLVDS（低電圧差動信号）接続機能があり、A/Dコンバータの出力を外部に出力することができます。各サンプルは、同相成分 (I) と直交成分 (Q) の2つの値をとります。

RTSAの入力RF、IFセクションは選択された信号を変換し、A/Dコンバータに送ります。デジタル・ストリーミング出力により、デジタル化された時間ドメインの波形の外部での復調、およびその他の処理が可能になります。

### RSA6100AシリーズのアナログIF出力オプション



▶ 図23 : RSA6100Aシリーズは500MHzでIF出力が利用でき、内部で60MHzにフィルタするか、約120MHz幅のままフィルタしないかを選択できます。

### リアルタイム補正データ

デジタルI/Q出力手法（ファイル・エクスポートまたはストリーミング・データ）の優れた機能の一つは、サンプル・データの振幅と位相の変動が常に補正されていることです。

信号がRF変換ステージを通過すると、取込帯域全体にわたってイメージ・フィルタやその他のコンポーネントで振幅と位相の変動を受けます。RSA6100Aシリーズは、A/Dサンプル・データをリアルタイム処理で校正された補正を実施しています。アナログIF出力と違い、デジタルI/Qデータではこの変動を常に補正しています。

したがって、外部のデジタル・プロセッサで復調、その他の処理を実行し、非常に高い精度で入力信号を再生することができます。デジタルIF出力は、RSA6100Aシリーズの仕様精度に補正されます。

### アナログIF出力測定

監視アプリケーションによっては、RSA6100Aシリーズでは実行できない信号測定または復調機能が必要な場合があります。外部のサードパーティのレシーバで復調または専用の信号処理を行うことがあります。

このような環境のために、中心が500MHzのIF出力ポートが装備されており、オシロスコープや外部復調器などを接続することができます。

RSA6100AシリーズのIF出力は、優れた性能のダウンコンバージョン・チューナとして機能します。RSA6100Aシリーズは、14GHzまでの同調レンジ、120MHzのIF帯域を持ち、選択可能なフィルタ、バッファ・アンプなどを装備しているため、他の解析機器に必要とされた機能を大幅に簡素化することができます。

RSA6100AシリーズのIF出力は、オシロスコープに直接接続することができます。IF出力は、アンプ回路を持ち、RTSAの初段ミキサで-25dBmの信号レベルが約0dBm (0.224V) の出力レベルに増幅されます。外部信号を増幅器で調整する必要がないため、セットアップにかかる時間と手間、コストを削減することができます。出力レベルの高い信号をオシロスコープに入力できるので、低いIFレベルによるダイナミック・レンジの低下を防ぐことができます。



図23に示すように、RSA6100AシリーズのIF出力は、リアルタイム・アナライザがその他の測定を行っている間でも有効です。外部のIF処理または復調は、リアルタイム・アナライザのスペクトル測定と同時に実行することができます。これにより、従来の掃引型スペクトラム・アナライザのように、IF出力の使用の際にスペクトラム・アナライザをゼロスパンにするという必要がなくなります。

監視アプリケーションでは、IF出力で信号を復調しながら、スペクトラムまたはDPX<sup>®</sup>機能を使用して新しい信号を検出することが可能になります。

ここで注意しなければならないことは、外部のオシロスコープまたはその他の機器によるアナログIF出力測定と、RSA6100Aシリーズに内蔵の自動測定では異なることがあるということです。RTSAの測定ルーチンでは、使用されるすべてのデジタル・サンプルは振幅と位相が補正されている一方、アナログIF出力には、振幅変動と位相誤差が含まれているので、オシロスコープやその他の外部解析機器での測定ではそれを含まず。

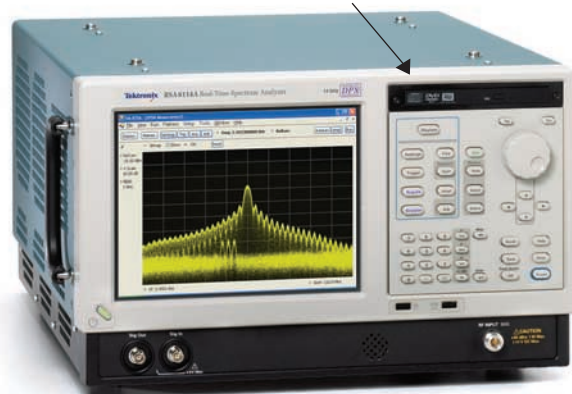
## 機密保持について

### ハード・ディスク・ドライブの交換

スペクトラム監視では、機密保持が問題になります。また、開発環境では、データが保存されたままのテスト機器が、さまざまなプロジェクトで共有されることがあります。

RTSAは、さまざまなプロジェクトで使い方が簡単になるように設計されています。RSA6100Aシリーズは、前面パネルからアクセスできる内蔵ハード・ディスク・ドライブがオプションで装備できます。ハード・ディスクが簡単に着脱できるため、すべてのプロジェクト・データを簡単に抜き取ることができます。別なハード・ディスク・ドライブを差し込むことにより、まったく関連性のないプロジェクト環境で作業できます。

RSA6100Aシリーズの  
リムーバブル・ハード・ディスク・オプション



▶ 図24：RSA6100Aシリーズのリムーバブル・ハード・ディスク・ドライブ・オプション。

## まとめ

近年、無線デバイス、通信リンクが急速に普及するにつれ、信号監視およびスペクトラム管理アプリケーションはますます難しいものになってきました。

リアルタイム・スペクトラム・アナライザのユニークな機能であるDPX<sup>®</sup>ライブ・スペクトラム表示により、優れたトランジェント信号観測が可能になります。また、事前に信号を解析した上でRFイベントに正確にトリガし、取込むことができます。

RSA6114A型の広帯域、高ダイナミック・レンジは、監視アプリケーションでは欠かせません。

リアルタイムFMT、リアルタイムDPX<sup>®</sup>、リムーバブル・ハード・ディスク・ドライブ、全帯域における連続的なI-Qデータ出力、エクスポートなど、RTSAのユニークな機能は、信頼性の高いスペクトラム収集と情報収集には欠かせない機能です。

また、当社特許のDPX<sup>®</sup>ライブ・スペクトラム表示、およびトリガ機能により、検出が難しいLPD、LPI (Low Probability of intercept、低被探知確率性) 信号を確実に取込むことができます。

## 付録1：RTSAの比較

当社のRSA3408A型リアルタイム・スペクトラム・アナライザでも、多くアプリケーションに対応できます。以下の表は、RSA3408A型とRSA6100Aシリーズを比較したものです。アプリケーションに応じて必要な機能を持ったリアルタイム・スペクトラム・アナライザが選択できます。

| 仕様          | 型名                       |                     |
|-------------|--------------------------|---------------------|
|             | RSA3408A型                | RSA6106A型/RSA6114A型 |
| 周波数レンジ      | DC~8GHz                  | 9kHz~6.2/14GHz      |
| 取込帯域        | 36MHz                    | 40MHz/110MHz        |
| 取込メモリ       | 64M/256MB                | 256M/1GB            |
| 最大入力 (CW)   | +30dBm (1W)              | +30dBm (1W)         |
| 最大入力 (DC)   | ±0.2VDC                  | ±40VDC              |
| デジタルI&Q出力   | 16ビット@<br>50MS/sごと       | 16ビット@<br>150MS/sごと |
| アナログIF出力    | 標準                       | オプション               |
| IF出力周波数     | 421MHz                   | 500MHz              |
| IFアナログ帯域    | 36MHz                    | 120/60MHz           |
| IFフィルタ形状    | スクエア・トップ                 | スクエア・トップ/ガウシャン      |
| システム立ち上がり時間 | 25ns                     | 25ns/10ns           |
| 最小DPXイベント期間 | (DPX <sup>®</sup> 機能はなし) | 24μs                |

▶ 表2：当社のリアルタイム・スペクトラム・アナライザは、監視システムのニーズに対応できるさまざまな性能を備えています。



**Tektronix お問い合わせ先：**

アメリカ 1 (800) 426-2200  
イタリア +39 (02) 25086 1  
インド (91) 80-22275577  
イギリスおよびアイルランド +44 (0) 1344 392400  
オーストリア +41 52 675 3777  
オランダ 090 02 021797  
カナダ 1 (800) 661-5625  
スイス +41 52 675 3777  
スウェーデン 020 08 80371  
スペイン (+34) 901 988 054  
大韓民国 82 (2) 6917-5000  
台湾 886 (2) 2722-9622  
中央ヨーロッパおよびギリシャ +41 52 675 3777  
中華人民共和国 86 (10) 6235 1230  
中東アジア/北アフリカ +41 52 675 3777  
中東ヨーロッパ/ウクライナおよびバルト海諸国 +41 52 675 3777  
デンマーク +45 80 88 1401  
ドイツ +49 (221) 94 77 400  
東南アジア諸国/オーストラリア (65) 6356 3900  
南アフリカ +27 11 206 8360  
日本 81 (3) 6714-3010  
ノルウェー 800 16098  
バルカン半島/イスラエル/アフリカ南部諸国およびISE諸国  
+41 52 675 3777  
フィンランド +41 52 675 3777  
ブラジルおよび南米 (11) 4066-9400  
フランス +33 (0) 1 69 86 81 81  
ベルギー 07 81 60166  
ポーランド +41 52 675 3777  
ポルトガル 80 08 12370  
香港 (852) 2585-6688  
メキシコ、中米およびカリブ海諸国 52 (55) 5424700  
ルクセンブルグ +44 (0) 1344 392400  
ロシアおよびCIS諸国 +7 (495) 7484900  
その他の地域からのお問い合わせ 1 (503) 627-7111  
Updated 01 June 2007

詳細について

当社は、最先端テクノロジーに携わるエンジニアのために、資料を用意しています。当社ホームページ([www.tektronix.co.jp](http://www.tektronix.co.jp))または[www.tektronix.com](http://www.tektronix.com)をご参照ください。



TEKTRONIXおよびTEKは、Tektronix, Inc.の登録商標です。Microsoft、Windowsは、米国Microsoft Corporationの登録商標です。記載された商品名はすべて各社の商標あるいは登録商標です。

08/07 DM

37Z-20120-1

**Tektronix**

Enabling Innovation

## 日本テクトロニクス株式会社

東京都港区港南2-15-2 品川インターシティB棟6階 〒108-6106  
製品についてのご質問・ご相談は、お客様コールセンターまでお問い合わせください。

**TEL 03-6714-3010 FAX 0120-046-011**

電話受付時間/9:00~12:00・13:00~18:00 月曜~金曜(休祝日は除く)

当社ホームページをご覧ください。 [www.tektronix.co.jp](http://www.tektronix.co.jp)  
お客様コールセンター [ccc.jp@tektronix.com](mailto:ccc.jp@tektronix.com)

●記載内容は予告なく変更することがありますので、あらかじめご了承ください。

2007年8月発行 © Tektronix