NEWS

220/18

ROHDE&SCHWARZ

ハイパフォーマンス

困難なアプリケーションには、トップクラスの電子計測器が不可欠です。
新モデルの特長は、優れた仕様と、豊富な機能、高い操作性を
兼ね備えている点にあります。

無線

5G基地局のデザイン／テスト用の新しい信号発生器オプション

オートモーティブ

EUで昨年導入された車両緊急通報システム「eCall」の後継システムがすでに登場

汎用測定器

DDR3メモリインタフェースのテストを簡素化する新しいオシロスコープソフトウェア

NEWS

発行元：
Rohde＆Schwarz GmbH＆Co. KG
Mühldorfstrasse 15 · 81671 München
www.rohde-schwarz.com/jp

地域別連絡先
- ヨーロッパ、アフリカ、中東 | +49 89 4129 12345
  customersupport@rohde-schwarz.com
- 北米 | 1 888 TEST RSA (1 888 837 87 72)
  customer.support@rsa.rohde-schwarz.com
- 中南米 | +1 410 910 79 88
  customersupport.la@rohde-schwarz.com
- アジア太平洋 | +65 65 13 04 88
  customersupport.asia@rohde-schwarz.com
- 中国 | +86 800 810 8228 | +86 400 650 5896
  customersupport.china@rohde-schwarz.com

編集者へのメール宛先：**newsmagazine@rohde-schwarz.com**

編集長：Volker Bach（Rohde＆Schwarz）
編集およびレイアウト：Redaktion Drexl＆Knobloch GmbH (German)
英訳：Dept. 5MS2

写真撮影：Rohde＆Schwarz
印刷国：ドイツ
発行部数（ドイツ語版、英語版、フランス語版、スペイン語版、日本語版）：約60,000部（年3回）

ボリューム：58
発行日：2018年2月、No. 220

ISSN 0028-9108
最寄りのローデ・シュワルツ販売店を通して無料で提供します。
出典が記載される場合には抜粋の転載も許可されます。コピーを
Rohde & Schwarz（ミュンヘン）までお送りください。

PD 3606.9704.72

R&S®は、Rohde & Schwarz GmbH & Co. KGの登録商標です。商標名は所有者のトレードマークです。CDMA2000® は、Telecommunications Industry Association（TIA - USA）の登録商標です。Bluetooth®のワードマークとロゴはBluetooth SIG, Incが所有しており、ローデ・シュワルツは、ライセンスに基づいてこれらを使用しています。他のすべての商標はそれらの個々の所有者の財産です。

表紙について

測定の成功は、電子計測器の品質に少なからず左右されます。測定器に作業をこなす能力があり、すべての設定が正確でないと、信頼性の高い結果は得られません。ハイエンドの電子計測器は、この点において優れています。ハイエンド計測器には、最新テクノロジーがもたらす、ほぼ全ての課題に対応できる性能が備わっています。また、操作ミスの防止と測定時間の短縮に役立つウィザード、自動機能、そしてソフトウェアが、特殊な作業向けに用意されています。有能で効率性の高いハイエンド測定器を使用すると、作業時の快適度もアップします。日常のラボ作業での測定器の使用時間を考えれば、これはかなり重要です。この号で取り上げる測定器の多くは、ハイエンドカテゴリーに属します。R&S®RTP オシロスコープは、ローデ・シュワルツがこの測定器のハイパフォーマンスセグメントに参入するため開発した製品です（42ページ）。8 GHzまで使用できるため、高速バスや複雑なエンベディッドデザインでの測定に最適です。R&S®RTPは、信号経路内のコンポーネントに起因する信号劣化をリアルタイムのハードウェアディエンベディングを通して補正できる、クラス初のオシロスコープです。これにより、測定結果の信頼性の高さが一貫して保証されます。R&S®FSW シグナル・スペクトラム・アナライザは、発売からわずかの期間で、基準測定器としての地位を確立しました。現在、さらに機能拡張されています（58ページ）。内部解析帯域幅2 GHz、リアルタイム帯域幅800 MHz、低位相雑音の特性により、広帯域通信システムおよび高分解能レーダーを評価する際のベンチマークとなっています。要求の厳しい測定には、新たなミッドレンジのR&S®FSV3000/FSVA3000 アナライザもお勧めします。計測指向のGUI、接続されたジェネレーターに対する同期機能など、非常に革新的な自動機能を備えており、それに見合う性能データが得られます（64ページ）。

概要
NEWS 220/18

表紙について

新しいハイエンドの電子計測器
R&S®RTP オシロスコープ

リアルタイムのシグナル
インテグリティー.....42

新しいシグナル・スペクトラム・アナライザ: R&S®FSW
基準測定器をさらに改善 58

R&S®FSV3000/R&S®FSVA3000
ミッドレンジ分野の新しい風 64

無線

新しい無線LANテストソリューション
R&S®CMW100 通信製造テストセット
無線LAN無線コンポーネントの
MIMO測定.....8

R&S®CMW270/R&S®CMW500 ワイドバンド無線機テスタ
無線LAN 802.11axデバイスの
シグナリング試験.....12

5G基地局のデザインおよびテスト用ツール
R&S®SMW200A ベクトル信号発生器
ドハティ増幅器の測定に基づいた
開発.....14

5G NR基地局の性能試験.....18

オートモーティブ

R&S®AREG100A 車載用レーダーエコー発生器

テストベンチ上のレーダーセンサ.....20

R&S®CMW500 ワイドバンド無線機テスタ/R&S®SMBV100A GNSS シミュレータ
未来の車両緊急通報システム「eCall」...23

R&S®RTO/R&S®RTE オシロスコープ
車載イーサネット ネットワークの
トラブルシューティング.....28

R&S®CMW100 通信製造テストセットが、一般的なすべての無線LAN MIMOシナリオをサポートするようになりました (8ページ)。

新しいシグナル · スペクトラム · アナライザ : R&S®FSW (左) は、仕様と機能の強化により、リーディングポジションを維持しています (58ページ)。R&S®FSV3000とR&S®FSVA3000は、トップ性能のスタンダードな電子計測器です (64ページ)。

航空および防衛

R&S®FSWP 位相雑音アナライザ/VCO テスタ
レーダーパルス安定度を容易に測定.....**34**

EMC ／電界強度

R&S®ELEKTRA EMCテスト ソフトウェア
R&S®ELEKTRAの進化.....**36**

R&S®AdVISE モニタリング／解析 システム
目視よりも高い信頼性：目視検査の
完全自動化.....**40**

汎用測定器

R&S®NGL200 電源シリーズ

2象限電源ユニット - 使いやすい
タッチスクリーン搭載 **33**

R&S®RTO/R&S®RTP オシロスコープ
DDR3メモリインタフェースの
トラブルシューティング.....**50**

R&S®OSP スイッチ・コントロール・ プラットフォーム
新しいスイッチ・コントロール・
センター.....**66**

放送およびメディア

R&S®RelayCaster

インターネット経由でライブ伝送する
ためのプロトコル **70**

その他

発行人.....**2**

NEWSコンパクト.....**6**

ニュース **74**

R&S®AdVISE ビデオ・ベース・モニタリング／解析システムは、
EMCテスト中の動作不良を自動的かつ完全に検出します（40ページ）。

最新世代のR&S®OSP スイッチ・コントロール・プラットフォームでは、
ハードウェアとソフトウェアが完全に再設計され、最先端の操作コンセプトが
取り入れられました（66ページ）。

5G NRに対応した新しいネットワークスキャナー

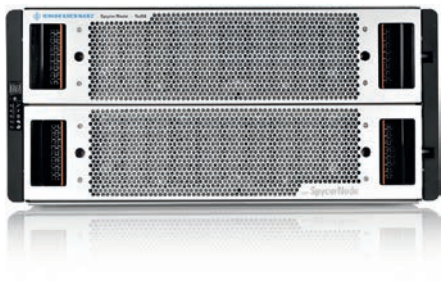
モバイルネットワークの品質測定には、車載システムとバックパックシステムが使用されます。バックパックシステムは可能な限り小型／軽量化する必要がありますが、どこまで実現できるかは、使用する電子計測器によって変わります。この機器は、接続およびサービス品質測定に使用するテスト用スマートフォンと、ローカルのRF条件（電界強度、干渉）を正確に決定するネットワークスキャナーで構成されています。コンピューターと、フィールドで丸1日持続するバッテリーパックも必要です。スマートフォンは小型化できませんが、その他のコンポーネントの小型化と性能の向上を同時に実現することは可能です。新しいR&S®TSME6（一番上に載せる小型の測定器）とR&S®TSMA6（バッテリーパックに載せる中型の測定器）は、さまざまな可能性を示します。R&S®TSME6は純粋なスキャナーですが、R&S®TSMA6には高性能コンピューターが含まれます。どちらも、5G NRの6 GHz未満のレンジに該当する、350 MHz～6 GHzの周波数レンジをシームレスにカバーします。最大10種類の規格を実装し、同時に測定することができます。4×4 MIMO、チャネルアグリゲーションなどの複雑な測定作業を実行する場合、これらの測定器を（モデルに関係なく）簡単にカスケード接続できます。クリックシステムにより、測定器が機械的にしっかりと接続されます。また、追加のハードウェア（例えば、5Gミリ波バンドで測定する場合にはダウンコンバーター）を統合できるように設計されています。測定器の制御と結果の解析には、高く評価されているR&S®ROMES4 ドライブ・テスト・ソフトウェアまたはAPI接続ソフトウェアを使用します。

31 GHzまで拡張されたハンドヘルド・スペクトラム・アナライザ

測定帯域幅が最大4 GHzであったR&S® Spectrum Rider FPHの周波数拡張により、1つの測定器ファミリーが誕生しました。3つの新しいベースモデルと周波数拡張用のライセンス・キーが提供されており、5 kHz～2/3/4/6/8/13.6/20/26.5/31 GHzのモデルを利用できます。測定機能やその他の機能は、どのモデルでも同じです。ベースパッケージにまだ含まれていない機能は、キーコードでアクティブにすることができます。これらの測定器は、ブラウザーからLANまたはUSBを経由してリモート操作できます（標準）。レシーバーモードの起動、パワーメータの接続、干渉の解析（適切なアンテナをアクセサリとして使用可能）、レーダー信号のパルス測定（マイクロ波モデル使用時）を行うには、オプションを追加します。送信局で標準化された設置／サービス測定を実行する場合は、ウィザードに従うと、測定ステップシーケンスのエラーのない実行や、正確な文書作成が可能です。フィールド向けに最適化された、このアナライザのハードキーとタッチスクリーンの組み合わせによる操作は、テストラボでも有効です。R&S®FPHは、RF性能に優れているため、ラボで設置型測定器の代わりに使用することができます。EMC診断測定用の近磁界プローブセットといったアクセサリも利用できます。R&S®Spectrum Rider FPHは、ローデ・シュワルツまたは正規販売代理店から直接購入可能です。

機能強化された無線測定システム

2016年末に導入されたR&S®NRPMは、5Gおよび無線ギガビットコンポーネントの送信パワーを無線（OTA）で決定する初の測定システムです。システムはリモート・アンテナ・モジュールで構成されており、内蔵ダイオードセンサが、コンピューターと通信するシグナル・プロセッシング・モジュールに接続されています。アンテナフロントエンドは、新世代モデルに置き換わりました。新しいR&S®NRPM-A90モデルとR&S®NRPM-A90Dモデルは、性能が強化されました。周波数レンジは、双方向に拡張され、現在は18 GHz～90 GHzをカバーしています。車載用レーダーに対して仕様化されたすべての周波数バンドが、この範囲に収まります。測定の不確かさは、レンジ全体で0.7 dB（絶対値）および0.1 dB（相対値）を下回っており、ダイナミックレンジは50 dBです。R&S®NRPM-A90Dモデルには、互いに直角に配置された2つのVivaldiアンテナがあり、2つのレベルの偏波を測定できます。R&S®NRPMは、開発、検証、製造で、操作性に優れた低コストの測定システムとして、DUTの出力パワーの校正やDUTのビームフォーミング機能のテストに使用できます。ビームフォーミングのテストでは、空間的に分散配置されたアンテナを無制限に相互接続することができます。



メディアワークフロー用の高性能メモリ

メディア・データ・メモリのプロバイダーが強く求めているのは、信頼性、性能、使いやすさです。新しいR&S®SpycerNode メモリソリューションは、市場のどのソリューションよりもこれらの要件に適合します。エンタープライズ・ハードウェア・プラットフォームをベースにし、高性能コンピューティング機能をメディアおよびエンターテインメント市場で利用できるようにした、最初のソリューションです。ハードウェアの完全な冗長化と、Erasure Codingを採用したIBM Spectrum Scale RAIDファイルシステムによって提供される最も高度なソフトウェア・データバックアップ・メカニズムの組み合わせにより、非常に高い信頼性(MTTDLが最長2億年)を実現しています。データセキュリティーと同様、I/O性能にも優れています。4つのパラレル100 Gbit/sイーサネットポートを介して、1ユニットあたり数百万IOPSと最大12 Gバイト／秒の帯域幅を実現しました。無制限の数のユニットを、1つのURLの下の同じ名前空間にバンドルすることができます。92 Tバイトから数Pバイトまでのストレージ容量を持つ3つのシャーシバージョンを、あらゆるスタートアップ要件に合わせて構成できます。構成は、いつでも（システムの動作中でも）拡張できます。異なるモデルを組み合わせることも可能です。すべての設定は、ブラウザーベースのデバイスマネージャを使って簡単に入力できます。デバイスマネージャは、R&S®Venice メディアサーバーなど、ネットワーク内の他のローデ・シュワルツ製品の管理にも使用することができます。

全2重（FDX）DOCSIS®用の最初の信号発生器

ケーブル・ネットワーク・プロバイダーは通常、接続された世帯にテレビ番組と高速インターネットアクセスの両方を提供します。その際の技術基盤が、米国やその他の地域で広く使用されているDOCSIS（Data Over Cable Service Interface Specification）規格です。エンドユーザーまでの「最後の区間」に同軸ケーブルが使用されるため、ケーブルTVネットワークの伝送速度は、競合するDSLネットワークと比べてかなり高速です。DOCSIS 3.1の時点で、最高10 Gbit/sのダウンストリーム速度と最高1 Gbit/sのアップストリーム速度を実現しました。全2重(FDX) DOCSISでは、伝送を調整し、アップストリームの速度も10 Gbit/sに上昇させることで、これを上回る性能を達成しています。その結果、バーチャルリアリティのような対話型の広帯域アプリケーションが、手の届くものとなりました。ローデ・シュワルツは長年にわたり、DOCSIS規格向けのテストソリューションを提供しています。こうしたソリューションの1つが、R&S®CLGD ケーブルテレビ・マルチチャネル信号発生器です。FDX DOCSIS機能を追加するためのR&S®CLGD-K400オプションが新たに用意されました。R&S®CLGD-K400 ソフトウェアオプションは、これまで提供されたすべての測定器にインストール可能です。

DOCSIS®は、CableLabsの登録商標です。

ポータブルの緊急TVトランスミッター

視聴者が気がつくほどのTV伝送の中断が発生することはまれです。これは、現在の伝送技術の信頼性が高いことに加えて、すべての主要コンポーネントが冗長化されているおかげです。信号チェーンに沿ったリンクに実際に不具合が発生した場合は、通常「スペアパーツ」が自動的に挿入されます。地上波放送局はさまざまな冗長方式を使用していますが、冗長化には費用がかかるため、大規模な放送局向けに限られます。ローパワーのトランスミッターが数多く存在する非常に細分化された放送地域では、ネットワークプロバイダーは、トランスミッターの信頼性に頼る傾向があります。万が一故障が発生した場合、交換品が届くか故障したトランスミッターの修理が済むまで、モバイルの緊急トランスミッターを使用して事態を乗り切ります。ローデ・シュワルツは、R&S®TLU9またはR&S®TMU9evoファミリーをベースにした、最大1.15 kWのパワー出力を持つ、用途に適したトランスミッターを提供しています。トランスミッターは、頑丈なプラスチックケースに収納されています。ショックマウントが、トランスミッターを揺れや振動から保護します。すべての電気的な接続がリア・インタフェース・パネルに配置されているため、設置が高速かつ容易に行えます。放送局で必要な作業は、パワー、番組、バンドパスフィルター、アンテナを供給することだけです。トランスミッターは広帯域で、任意のUHF周波数で使用できます。緊急トランスミッター（この場合、R&S®TMV9 トランスミッター）は、DABとDAB+にも利用できます。

新しい無線LANテストソリューション

新しい無線LAN規格が登場するたびに、測定する必要があるプロパティの数が増えます。R&S®CMWファミリーのテスタには、開発者と製造スペシャリストに必要な、すべての測定機能が揃っています。

© Joachim Wendler / Shutterstock.com

無線LAN無線コンポーネントのMIMO測定

すべてのRFパスが目的どおりに機能する場合は、MIMOマルチアンテナテクノロジーによって最新の無線システムのデータスループットを向上させることができます。R&S®CMW100 通信製造テストセットは、無線LAN無線コンポーネントの性能の解析に必要な、一般的なすべての測定方法に対応します。

マルチアンテナシステムを使用するとカバレージの範囲が拡大し、シングルアンテナシステムと比較してデータスループットが向上します。MIMOトランスミッターは、個別のアンテナを介して異なる信号（ストリーム）を同じ周波数で同時に送信します（図1）。これらの信号を受信側でうまくデコードするには、マルチパス伝搬の場合と同様、送信アンテナと受信アンテナ間に空間的に比較的独立した伝送チャネルが必要です。複雑な数学的アルゴリズムを使って信号を再構成するには、トランスミッターの信号純度とレシーバーの感度に関して、特定の最小要件を満たす必要があります。両方のテストを、開発時のほか、製造時でもある程度実施することが求められます。トランスミッターのテストには3つの方法があり、それぞれテストの詳細さと機器の複雑さが異なります。これらの方法はすべて、R&S®CMW100 通信製造テストセット（モデルK06）でサポートされています。

基本的なマルチアンテナシステム

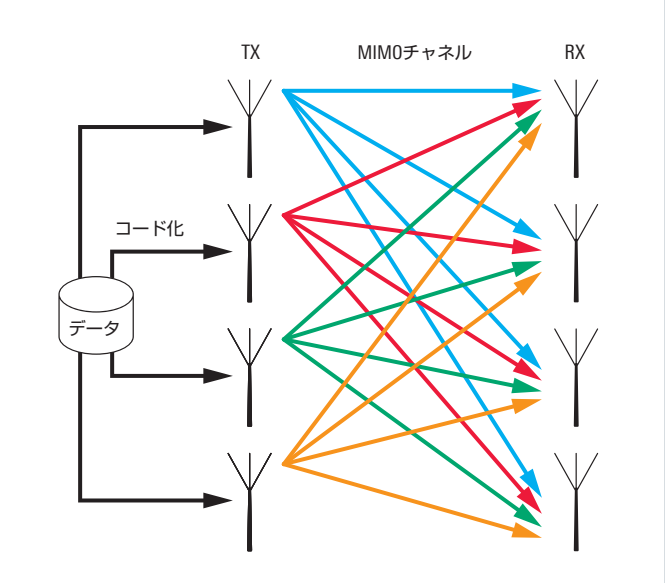


図1：4×4 MIMOシステムには16の伝送チャネルがあり、シングルユーザーの場合はデータレートの増加、複数ユーザーの場合はカバレージの同時提供に使用できます。

レシーバーテスト

MIMOレシーバーテストは、すべての受信アンテナで同時に行われます。各アンテナは、個別の信号発生器（ベクトル信号発生器またはR&S®CMW100 テスタの内部ジェネレーター）に接続されています。各ジェネレーターに必要なARB波形ファイルは、R&S®WinIQSIM2 ソフトウェアツールを使用してPC上で作成できます。すべてのジェネレーターが同期をとって起動されると、パケット・エラー・レート測定が実行されます。適切なリモート制御プログラムを使用して、被試験デバイス（DUT）がデータパケットをノンシグナリングモードで正常にデコードするかどうか判断します。

トランスミッターテスト

トランスミッターテストの場合、ノンシグナリングモードでRF特性を検証するための方法は、必要なテストの詳細さに応じて3つあります。

コンポジットMIMO TX測定

この方法では、並列に送信されたすべてのMIMO信号（最大8個）がパワーコンバイナーで結合され、加算信号が、解析のためR&S®CMW100に送信されます（図2）。MIMOアンテナから送信されるビットシーケンスはさまざまですが、このアナライザには、

図2：コンポジットMIMO TX測定のテストセットアップ。4個のアンテナを搭載した無線LANデバイスを、パワーコンバイナーを介してR&S®CMW100に接続します。

Freq: 2412.0000000 MHz Ref.Lvl: 0.00 dBm Std: 802.11n (Switched MIMO) Green Field 40MHz

TX Measurement (Scalar)

MCS Index	30			
Spatial Streams	4			
Space Time	4			
Data Symbols	38			
Statistics	**Current**	**Average**	**Max**	**StdDev**
Overview				
EVM All [dB]	-44.14	-44.03	-43.67	0.12
EVM Data [dB]	-44.11	-43.98	-43.62	0.13
EVM Pilot [dB]	-44.74	-44.90	-44.41	0.17
Power Total [dBm]	-7.27	-7.27	-7.27	0.00
Symbol Clock Error [ppm]	-0.049	0.014	-0.544	0.185
Center Frequency Error [Hz]	69.66	71.19	80.47	3.05
Streams				
EVM All 1 [dB]	-43.90	-43.89	-43.36	0.20
EVM Data 1 [dB]	-43.86	-43.85	-43.30	0.21
EVM Pilot 1 [dB]	-44.78	-44.71	-43.88	0.38
EVM All 2 [dB]	-44.10	-44.04	-43.19	0.20
EVM Data 2 [dB]	-44.10	-44.00	-43.13	0.21
EVM Pilot 2 [dB]	-44.08	-44.87	-44.00	0.38
EVM All 3 [dB]	-44.36	-44.20	-43.14	0.20
EVM Data 3 [dB]	-44.32	-44.15	-43.06	0.21
EVM Pilot 3 [dB]	-45.18	-45.09	-44.19	0.38
EVM All 4 [dB]	-44.20	-43.99	-42.96	0.20
EVM Data 4 [dB]	-44.16	-43.94	-42.89	0.21
EVM Pilot 4 [dB]	-45.02	-44.94	-43.99	0.38
Antenna				
Power TX1 [dBm]	-13.42	-13.42	-13.42	0.00
Power TX2 [dBm]	-13.64	-13.64	-13.64	0.00
Power TX3 [dBm]	-13.07	-13.07	-13.07	0.00
Power TX4 [dBm]	-13.06	-13.07	-13.06	0.00
IQ Offset TX1 [dB]	-72.26	-66.06	-61.94	2.78
IQ Offset TX2 [dB]	-59.61	-59.42	-57.25	1.16
IQ Offset TX3 [dB]	-70.30	-70.61	-67.49	1.77
IQ Offset TX4 [dB]	-72.39	-71.36	-68.03	2.30

Statistic Count 100 / 100 Out of Tolerance 0.00 %

図3：Switched 4×4 MIMO TX測定の結果。

図4：Switched MIMO TX測定のテストセットアップ。DUTの各アンテナを1台のR&S®CMW100上の1つのポートに接続します。ポートが、テストセットのアナライザに対して素早く連続的に切り替えられます。

加算信号から各アンテナの送信パワーを1回の測定ステップで決定し（DUTが適切に構成されている場合）、エラーベクトル振幅（EVM）値の形式で加算信号の品質評価を行う機能があります。コンポジットMIMO TX測定は、多くのテスト機器を使用せずにMIMOの性能を迅速に確認し、アンテナ接続の不良を検出できるため、製造に適した方法です。

Switched MIMO TX測定

Switched MIMO Tx測定の場合、各送信アンテナが、1台のR&S®CMW100上の1つのポートに接続されます。すべてのアンテナを素早く連続的に切り替え、アンテナを個別に解析します（図3と図4）。アンテナは、さまざまなビットシーケンスを継続して送信しますが、各チャネルには同じシーケンスが送信されます。これらのビットシーケンスを基に、すべての送信パスのRF特性を詳細に解析します。8×8 MIMO TXシステムでも、1台の測定器で解析可能です。

True MIMO TX測定

シーケンシャルな切り替え測定とは対照的に、True MIMO TX測定はすべてのチャネルで同時に実行されます。そのため、ビットシーケンスを繰り返し送信する必要がありません。ただし、この速度上の利点を得るには、送信アンテナごとに個別のR&S®CMW100が必要となるため、ハードウェアコストが上昇します（図5）。測定結果は、システムに接続された制御PCを使って集約します。

図5：True MIMO TX測定には、MIMOアンテナごとに個別のR&S®CMW100が必要です。テストセットを管理するための制御および評価用PCが常に必要となります（この画像にはPCは含まれていません）。

マルチユーザー MIMOおよびビームフォーミング

データスループットを高めるため、複数のMIMOデータストリームを一人のユーザーに同時に送信する代わりに、これらのデータストリームを複数のユーザーに分散させます。Switched MIMO TX測定とTrue MIMO TX測定の両方で解析可能なシナリオです（図6）。

マルチユーザー MIMO（MU-MIMO）を実装するには、レシーバーにシングルユーザーの場合と同じ数の受信アンテナを搭載し、チャネルセパレーションの信頼性を確保する必要があります。サイズが小さいためMIMOアンテナが最大2つのスマートフォンでは、MU-MIMOのユーザー数が2名に制限されます。1つの可能な解決策は、ビームフォーミングを使用し、マルチアンテナシステムの放射パターンを利用して個別信号の特定方向の伝播を増強または抑制することです（図7）。これにより、各ユーザーは、想定されたデータストリームのみを高い電界強度で受信できます。この技術に基づくと、受信アンテナが1つしかないユーザーでも、8×8 MU-MIMOシナリオで想定されたデータストリームを正常にデコードすることができます。

まとめ：R&S®CMW100は、あらゆるMIMOシナリオでのレシーバーおよびトランスミッターのテストに適した測定ソリューションを提供します。

Thomas A. Kneidel

Freq: 2412.00 MHz Ref.Lvl: 0.00 dBm Std.: 802.11 ax Switched MIMO 40MHz

TX Measurement (Scalar) | Signal Fields Info | OFDMA Results

No of Users	4			
No of RUs	1			
Statistics	**Current**	**Average**	**Max**	**StdDev**
EVM All [dB]	−10.11	−10.11	−10.11	0.00
EVM Data [dB]	−9.96	−9.96	−9.96	0.00
EVM Pilot [dB]	−50.21	−50.21	−50.21	0.00
RU 1	RU Size: 484	RU Index: 1	RU26 Index: 1	
Power Ant1	−10.67	−10.67	−10.67	0.00
Power Ant2	−11.34	−11.34	−11.34	0.00
Power Ant3	−10.55	−10.55	−10.55	0.00
Power Ant4	−10.43	−10.43	−10.43	0.00
Power Ant5	−10.82	−10.82	−10.82	0.00
Power Ant6	−10.67	−10.67	−10.67	0.00
Power Ant7	−10.50	−10.50	−10.50	0.00
Power Ant8	−10.64	−10.64	−10.64	0.00
User 1	MCS: 1 DCM: 0 NSTS: 4	STA-ID: 11	TxBf: −1 Coding:	LDPC
EVM All [dB]	−52.64	−52.64	−52.64	0.00
EVM Data [dB]	−52.68	−52.68	−52.68	0.00
EVM Pilot [dB]	−51.50	−51.50	−51.50	0.00
Stream 1	−52.03	−52.03	−52.03	−52.03
Stream 2	−53.60	−53.60	−53.60	−53.60
Stream 3	−52.73	−52.73	−52.73	−52.73
Stream 4	−52.34	−52.34	−52.34	−52.34
User 2	MCS: 2 DCM: 0 NSTS: 2	STA-ID: 22	TxBf: −1 Coding:	LDPC
EVM All [dB]	−51.84	−51.84	−51.84	0.00
EVM Data [dB]	−51.98	−51.98	−51.98	0.00
EVM Pilot [dB]	−48.95	−48.95	−48.95	0.00
Stream 1	−52.00	−52.00	−52.00	−52.00
Stream 2	−51.69	−51.69	−51.69	−51.69
User 3	MCS: 9 DCM: 0 NSTS: 1	STA-ID: 33	TxBf: −1 Coding:	LDPC
EVM All [dB]	−1.08	−1.08	−1.08	0.00
EVM Data [dB]	−0.93	−0.93	−0.93	0.00
EVM Pilot [dB]	−50.62	−50.62	−50.62	0.00
User 4	MCS: 11 DCM: 0 NSTS: 1	STA-ID: 44	TxBf: −1 Coding:	LDPC
EVM All [dB]	−52.02	−52.02	−52.02	0.00
EVM Data [dB]	−52.20	−52.20	−52.20	0.00
EVM Pilot [dB]	−48.60	−48.60	−48.60	0.00

図6：4つの無線LANステーションを持つ8×8 MU-MIMOシナリオの測定結果：ユーザー 1には4つのデータストリーム、ユーザー 2には2つのデータストリーム、ユーザー 3と4にはそれぞれ1つのデータストリームが供給されます。

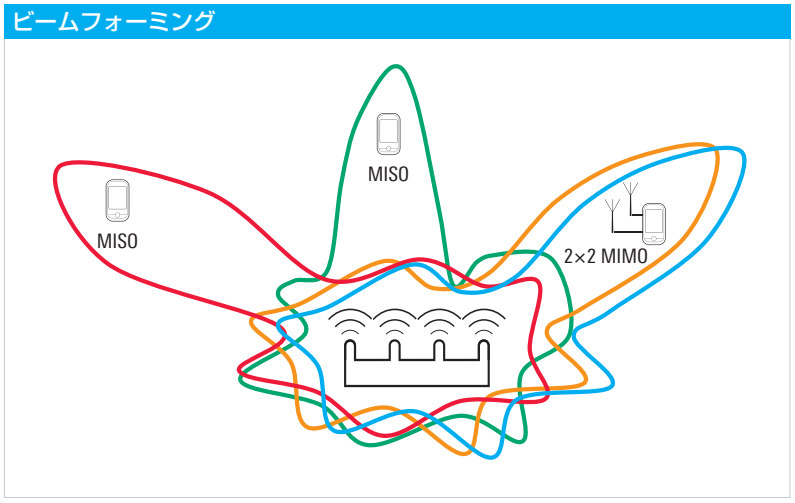


図7：ビームフォーミングに基づく空間多重化機能を備えたMU-MIMOシステム。

無線LAN 802.11axデバイスのシグナリング試験

製造工程では、無線LAN製品のトランスミッターとレシーバーの校正とテストをノンシグナリングモードで実行できますが、開発と品質保証では、シグナリングモードでの測定が不可欠です。こうした測定が、新しいIEEE 802.11ax規格に対しても実行可能になりました。

ノンシグナリングモードでは、被試験デバイス（DUT）は電気ケーブルを介してリモート制御されます。この特殊な動作モードは、トランスミッターとレシーバーの時間最適化された校正とテストをサポートします。これらのテストには、R&S®CMW100 通信製造テストセットなど、信号発生器／アナライザを装備した、適切な電子計測器が必要です。この時間最適化されたテスト／測定方法を使用する場合、テスト対象チップセットそれぞれに対するカスタムリモート制御プログラムが必要であること、有線リモート制御インタフェースを使用する必要があること、テストが実際の動作条件下で行われないことが暗黙のルールとなっています。明らかなリスクとして、後の通常動作でデバイスが異なる動作をする可能性があります。このリスクを最小限に抑えるには、まず、開発および品質保証中に、無線LAN無線コンポーネントをシグナリングモードでテストします。電子計測器でアクセスポイント（AP）または無線LANステーション（STA）をエミュレートし、エミュレートされたAPまたはSTAがDUTの接続先となることで、DUTが通常の動作条件下に置かれた状態が得られます。通信は通常、アンテナ接続を介した同軸ケーブルとの接続により行われます。規格に準拠したシグナリングを使用して、DUTを測定に必要な任意の動作ステートに遷移することができます。以下に代表的な例を示します。

- パケット・エラー・レート（PER）測定に基づくレシーバー品質の検証
- 送信パワーの測定と変調精度（EVM）の解析によるトランスミッターのRF特性の決定
- 性能測定（データスループット）
- プロトコル解析 [1]

このような測定は、以前の無線LAN規格でも必要でした。最新バージョン（IEEE 802.11ax）で追加テスト要件 [2] に関係する多くの新しい方法が導入され、その結果R&S®CMW270、R&S®CMW500など、シグナリングをサポートする柔軟なテスタの使用が不可欠となりました。

無線LANの弱点の1つは、これまで802.11ac規格に至るまで実装されていた、搬送波感知多重アクセス／衝突回避（CSMA/CA）方式に関連しています。この方式の目的は、複数の無線LANステーションの干渉のない動作を1つのAPで実現するため、一度に1つのステーションにだけ送信を許可することです。STAは、仕様化された待ち時間、チャネルが使用されていない場合にのみ送信することができます。この方式は、LBT（listen-before-talk）とも呼ばれます。ただし、同じく待機中の別のステーションもチャネルが空いていると認識した場合、その送信と衝突するリスクが依然として存在します。衝突はデータ損失につながり、その結果、手順の繰り返しや新たな送信が必要となります。関与する無線LANステーションが多いと、待機時間が劇的に増加し、無線チャネルの使用効率が低下します。この状況を大きく改善するのが、直交周波数分割多重化方式（OFDMA）方法です（802.11axの場合も無線LANに使用できます）。使用可能な帯域幅をリソースユニット(RU)に分割し、アクセスポイントがそれを割り当てられたステーションにオンデマンドで動的にアサインします（図1）。

APは、使用する変調／コード化方式（MCS）に関する情報もSTAに提供します。APの役割を担う電子計測器の場合、シグナリングモードで無線LANステーションのトランスミッター測定を特定のMCSに制限することが可能になったのは初めてです。

アップリンクOFDMA同期

複数の無線LAN axステーションが効率的に並列動作するための前提条件の1つは、適切な同期です。すべてのステーションは、APによるトリガから±0.4 μs以内に送信を開始する必要があります(図2)。この許容範囲に対する適合性を測定することが必要です。

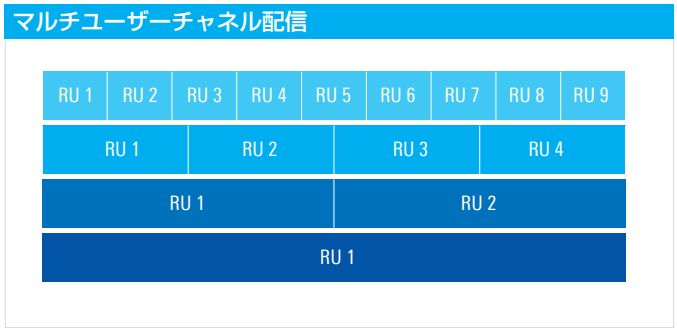


図1：マルチユーザーモードでは、例えば20 MHzチャネルが、さまざまなサイズで組み合わせることができるリソースユニット（RU）に分割されます。

未使用トーンエラー

複数のSTAが並列動作する際の相互干渉を最小限に抑えるため、IEEEは、隣接スペクトラムの許容スプリアスエミッションの上限値を設定しました。セルラーテクノロジーの隣接チャネル漏洩電力比（ACLR）測定と同様、これらのリミットに対する適合性は未使用トーンエラー測定で確認する必要があります。

動的パワー制御

動的パワー制御も、802.11ax規格で新しく追加されました。AP受信アンテナにおいて異なるSTA間の電界強度差が過度に大きいと、適切なOFDMA動作が妨げられます。この問題は、すべての信号がほぼ同じ電界強度でAPに到達するようにSTAが送信パワーを調整すれば防止できます。APが、送信しているパワーをSTAに知らせると、STAがRSSI（受信信号強度表示）測定を実行します。その結果に基づいて、各STAは、APへのリンク上の経路減衰を導出することができます。APはすべてのステーションに、受信アンテナで必要なターゲットRSSIも通知します。これにより、STAは、必要な信号強度に算出した経路減衰を加えて、データパケットを送信します。複数のSTAがAPへの送信を並列で行う際、各STAの送信パワーは、一般的な条件に合わせて継続的に調整されます。

これまで無線LANステーションは、主に自国の最大許容パワーで静的な送信を行ってきましたが、802.11axでは送信レベル範囲が大幅に拡大され、その影響が製造時の送信パワーの校正に現れています。無線LAN 11axでは、送信レベルのダイナミックレンジが拡大されただけでなく、低価格デバイスかハイエンドデバイスかに応じて、送信パワーとRSSI測定の精度に対し、より厳しい要件が課されるようになりました（規格では、AとBの2つの品質クラスで区別されます）。

802.11ax用の新しいテストソリューション

802.11axで導入された新しい無線LAN機能を検証する際、開発者は、ノンシグナリングモードでは十分に実行できないテストと測定に遭遇します。開発者に必要なものは、シグナリングを介してDUTを設定できるテスタです。R&S®CMW-KS657 ソフトウェアオプションを搭載したR&S®CMW270またはR&S®CMW500は、SISOモードで最大80 MHz帯域幅の802.11axアクセスポイントのエミュレーション、およびすべての動作モード（シングルユーザーおよびマルチユーザー）でSTAのテストを実行することができます。以前の無線LANテストと11axに特化した測定がサポートされています。R&S®CMWmars メッセージ·アナライザを使用して、テスタとDUT間で交換されるすべてのプロトコルメッセージをリアルタイムで記録／監視することも可能です。

802.11axを使用すると、空港、展示ホール、スポーツスタジアム、ショッピングセンターなど、無線LANユーザー密度が高い場所で特に、効率が大幅に向上します。この決定的な優位性によって、新規格が受け入れられるスピードが速まり、無線LANのサクセスストーリーに新たな章が加わることが期待されます。

Thomas A. Kneidel

アップリンクOFDMA同期

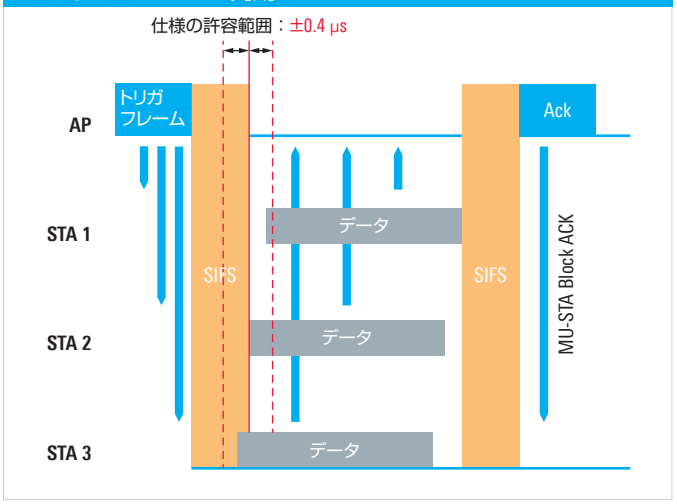


図2：すべてのSTAは、APのトリガ信号によってスタートした後、0.4 µsの許容差内にデータパケットをAPに同期をとって送信する必要があります。

参考資料

[1] Thomas A. Kneidel、「WLAN signaling with the R&S®CMW270 and R&S®CMW500 testers」、『NEWS 204/11（英語版）』p6～8。

[2] Dr. Michael Simon、「無線LAN 802.11axによるマルチユーザー環境での通信の高速化」、『NEWS 217/17』p24～29。

5G基地局のデザインおよびテスト用ツール

ミリ波周波数と広帯域信号には、5G基地局をデザインするための新しい方法が必要です。R&S®SMW200A ベクトル信号発生器が、必要なサポートを提供します。

ドハティ増幅器の測定に基づいた開発

ドハティ増幅器（特に2つの独立して駆動される入力を持つドハティ増幅器）を使用すると、5G基地局トランスミッターおよび同様のアプリケーションにおいてエネルギー効率の大幅な向上が期待できます。R&S®SMW200A ベクトル信号発生器用の新しいソフトウェアオプションを追加すれば、増幅器デザインの可能性を最大限に引き出すことができます。

基地局ではパワーアンプは送信機のコストの30 %～60 %、エネルギー消費量の20 %～60 %を占めており、パワーアンプを最適にデザインすることが、RFパワー半導体メーカーにとってもインフラメーカー（基地局、無線リレートランスミッター）にとっても主要な焦点となっています。

増幅器の消費電力を低減する最も効果的な方法は長年知られていましたが、実際にそれらの実装が可能になったのはここ数年の間です。その理由は、エネルギー効率の高い動作には非線形性という代償があり、この非線形性を、アップストリーム手法またはダウンストリーム手法（高度な回路テクノロジーでしか実現できない、デジタルプリディストーションなどの自明ではない手法）で補正する必要があるためです。

インフラ側では、従来のドハティ・パワー・アンプのデザインが市場で確立されているのに対して、デバイス側では、エンベロープトラッキングが主流です。エンベロープトラッキングでは、パワートランジスタの電源電圧を、RF信号のエンベロープに合わせて動的に調整します。ドハティでは、入力信号を2つの並列アンプ経路に分割します。メインアンプがベース負荷を処理します。メインアンプは、エネルギー効率の高いフル変調で永続的に動作します。入力信号が特定のレベルを超えると、2番目のアンプがオンになり、ピークのみを処理します。このタスクシェアリングは、クレストファクターが高いデジタル信号には特に有望です。この理論的に魅力的な概念を具現化するには、長年の研究開発作業が必要でした。5G、SatComなどのミリ波周波数の広帯域アプリケーションに移行するには、さらに数年かかります。

完全なドハティ動作は実際には実現できない理論的概念であるため、ドハティ増幅器のあらゆる実装は常に近似したものです。それでも動作周波数が低く、狭帯域幅の場合は、大まかな近似を使用したときの方が、通常、AB級アンプより性能が優れています。ただし、動作周波数、帯域幅、出力パワーが増加するにつれて、大まかな近似ではこの技術に対応できなくなるため、効率が低下します。この技術の可能性を最大限に引き出すには、新しい、再現性があるデザインプロセスが必要です。R&S®SMW200A ベクトル信号発生器とR&S®FSW シグナル・スペクトラム・アナライザを組み合わせると、非常に効果的なサポートが得られます。

ドハティの設計者は、入力側と出力側の両半分をデザインする必要があります。入力側は、性能の差別化とコストのせめぎ合いが生じる場所です。コンバイナーを持つ出力側で、可能性を最大限発揮できるかどうかが決まります。

2つのアンプ経路を駆動するため、増幅対象の信号を分割する必要があります。分割を実現する方法は、さまざまあります。従来の実装では、この分割をアナログドメインで実行します。デュアル入力ソリューションは、デジタルドメインで分割を実行します（図3）。ピアレビュー文献に発表された研究によると、50 %広い帯域幅では、デュアル入力スプリット実装の方が従来のドハティ実装より、RF出力パワーが60 %、エネルギー効率が20 %高まることがわかります。増幅器の開発目的が5GおよびSatComトランスミッター用か、高性能と再現性が要求される他のアプリケーション用かに関係なく、課題は同じです。設計者の要望は、設計から意図した動作条件下で最大限の性能が可能な限り効率的に引き出されていることを確認することです。しかし、これらは相反する目標であり、一方を実現するには、他方を犠牲にする必要があります。これらのコストを最小にする動作点とパラメータセットを見つけることが必要です。それには、各アンプの周波数、位相、レベル変動に対する感度を知る必要があります。現在の開発プロセスは、リファレンス設計と試作の手動による微調整に大きく依存しているため、最適化が困難です。選択した設計の感度に関する情報が欠如しているため、設計者は、製造環境での部品間のばらつきを配慮して測定基準を低めに仕様化しがちです。設計の真の実力に対する検討や仕様化が不十分なので、通常、結果は最適なレベルに到達しません。

R&S®SMW200AとR&S®FSWによるドハティ増幅器の開発

性能のトレードオフと感度を識別し理解する唯一の方法は、ある範囲の異なる信号を2つのアンプ入力に印加することです（図1）。デュアル入力のドハティ・アンプ設計には、この方法が特に有効です。こうした測定は、固定RF入力スプリッター、プログラマブルRF入力スプリッター、分散入力スプリッターといった従来の設計のためにもなります。

この革新的な測定ベースの開発プロセスの重要な要件は、2つの正確に同期された信号を生成できるベクトル信号源です。デュアルパスR&S®SMW200A ベクトル信号発生器は、この要件に完全に適合します。2つの信号を生成し、その相対位相、タイミング、振幅、入力電力を高い再現性で微調整することができます。2つのパスが同じ内部クロックを共有しているため、この2つの信号の正確な調整は、複雑な校正手順なしでも長期にわたって安定的に保たれます。R&S®SMW200Aは、それぞれ最高20 GHzの周波数、最大2 GHzの帯域幅、最大+18 dBmのRF出力電力の、最高品質の2つのRF信号を生成できます。追加のR&S®SGS100A/R&S®SGU100A RF拡張ユニットを使用する、最大40 GHz用のソリューションも利用可能です。

R&S®SMW-K546 デジタル・ドハティ・ソフトウェア・オプションを使用すると、すべてのドハティ・アンプの持つ最大の性能を簡単に確認できます（図2および3）。シェーピング機能、レベルおよび位相調整、デジタル・プリディストーションを数秒で簡単に設定し、

ドハティ増幅器経路のパラメータ空間

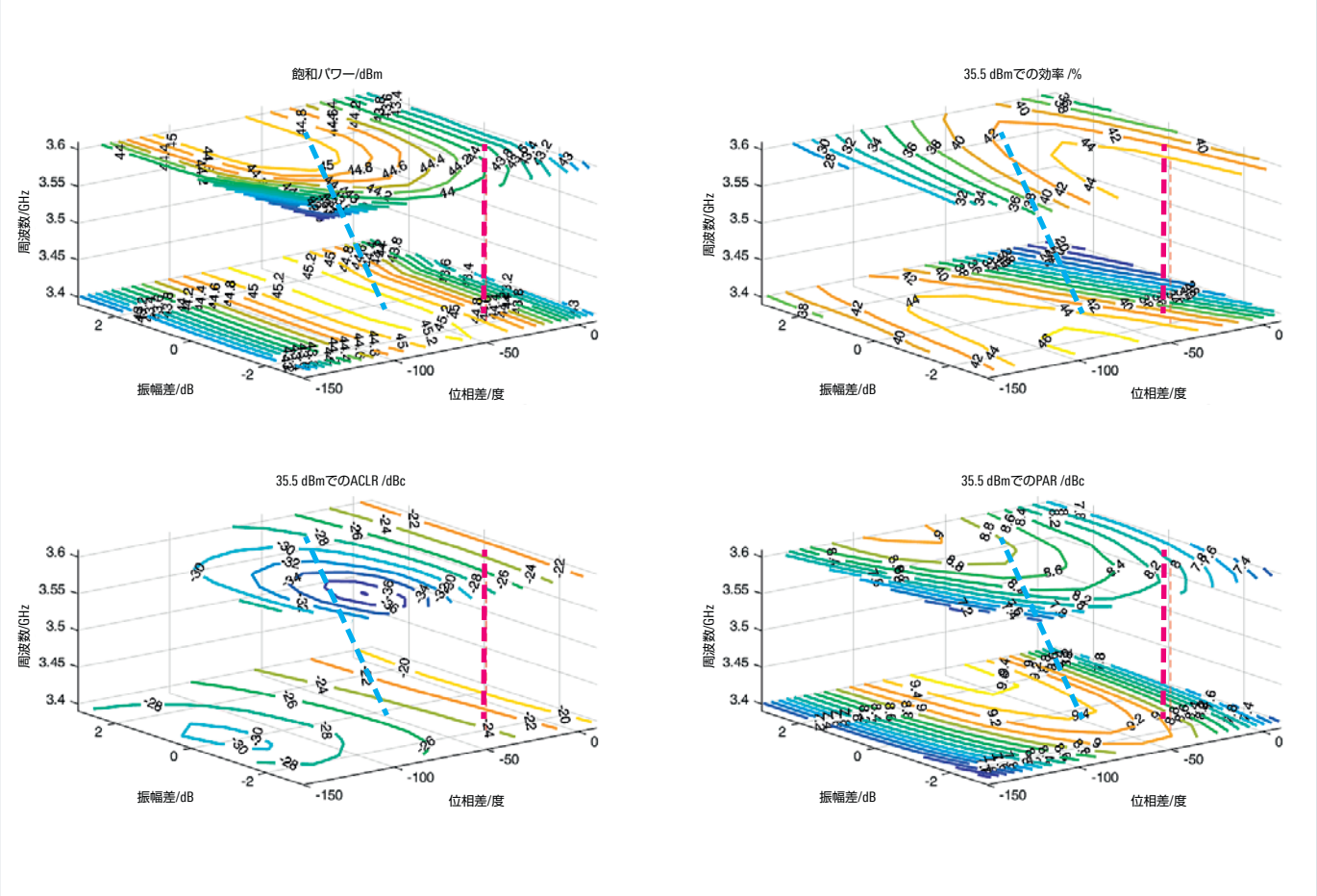


図1：ドハティ・アンプの各アンプ間での周波数、振幅差、位相差による特性変化を、紹介した測定ソリューションを使って数分以内に測定できます。赤い破線は、情報不足により従来の方法で選択される可能性がある、最適とはいえない動作点を示します。測定では、例えば、青い点線に従った動作パラメータを提案しています（MATLAB®による視覚化）。

直感的なGUIを使用してリアルタイムで適用できます。リアルタイム機能なので、パラメータ設定の毎変更後に時間のかかる波形の再計算を実行する必要がありません。したがって、設計者は、さまざまなパラメータがドハティ・アンプ設計の性能に与える影響をリアルタイムで調査し、最大性能が得られるスプリッターの設定とシェーピング機能を短時間で見つけることができます。R&S®FSWシグナル・スペクトラム・アナライザにR&S®FSW-K18 アンプ測定ソフトウェアオプションを搭載すると、対応する測定値が得られるほか、スペクトラムリグロース、EVMなどのスカラー量だけでなく、AM-AM、AM-PMなどのベクトルも捕捉できます。

Gareth Lloyd、Dr. Patrick Agyapong

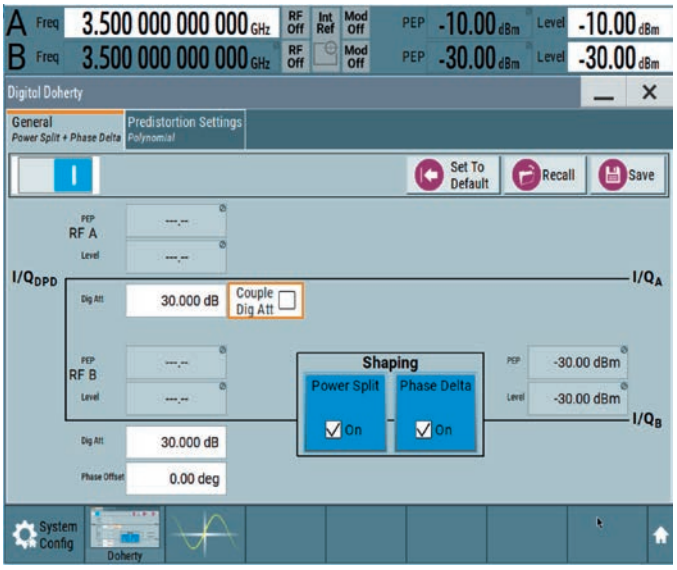


図2:R&S®SMW-K546 デジタル・ドハティ・ソフトウェア・オプションは、ドハティ・アンプ設計の最大性能を徹底して調査するための使いやすいインタフェースを提供します。相対位相オフセット、レベルオフセット、シェーピング機能、デジタル・プリディストーションをすべて設定し、入力信号にリアルタイムで適用できます。

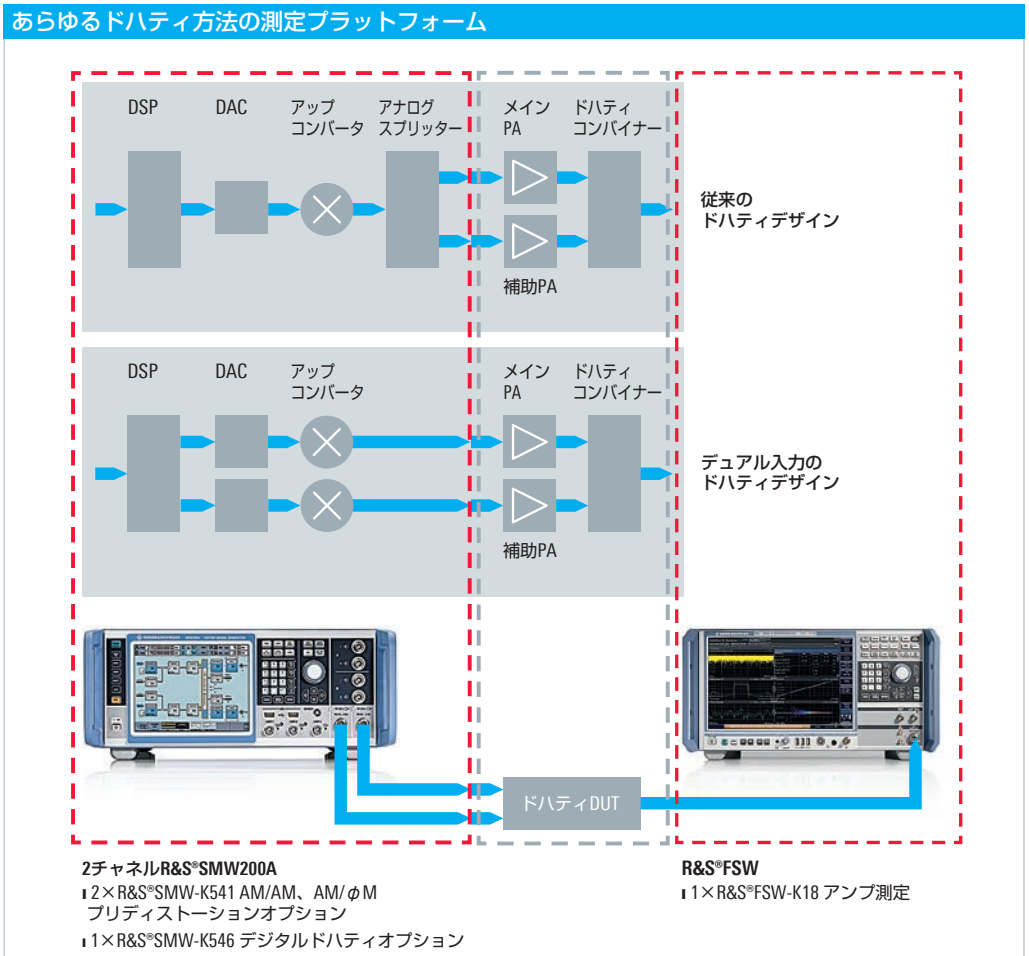


図3 : R&S®SMW200A ベクトル信号発生器は、可能性のあるあらゆるドハティ・アンプ設計の各アンプに対する信号を生成します。R&S®FSWシグナル・スペクトラム・アナライザと組み合わせた場合、設計の最適化に必要なすべてのデータを提供します。

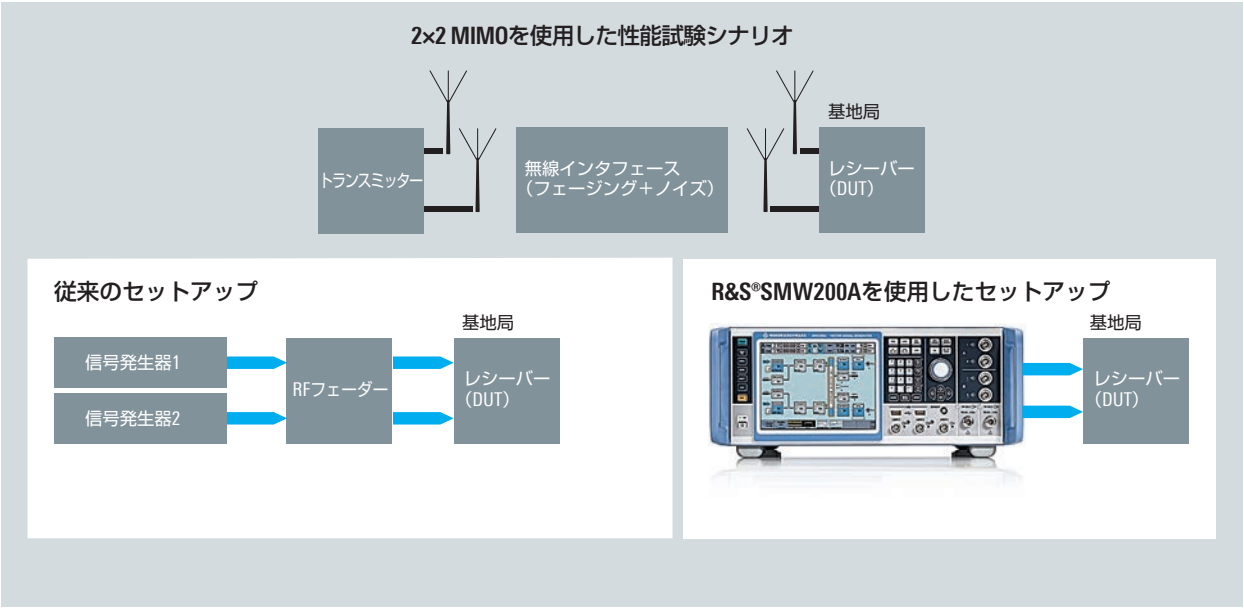
5G NR基地局の性能試験

R&S®SMW200A ベクトル信号発生器とオプションの内蔵フェージング・シミュレータは、LTE基地局の性能試験の基準となっています。広帯域バージョンのジェネレーターに新しいR&S®SMW-B15ハードウェアオプションを組み合わせることで、広帯域ミリ波信号に5G NR Release 15に準拠してフェージングをかけることもできます。

2018年6月に3GPP 5G NR Release 15規格が制定されました。この規格に含まれるTS 38.141-1仕様とTS 38.141-2仕様は、基地局メーカーに特に関係があります。これらの仕様には、トランスミッター、レシーバー、基地局の性能に関する一般的な要件が定義されています。トランスミッターとレシーバーに対する要件は、規制当局によって仕様化されたスペクトラム使用条件への準拠を目的にしたものです。一方、性能要件は実環境下でのデータ受信に焦点を合わせているため、テストセットアップでは伝搬条件のシミュレーションが必要です。

R&S®SMW200A ベクトル信号発生器とオプションのR&S®SMW-B14フェージング・シミュレータの組み合わせは、既にLTE基地局およびWi-Fiなどの他の規格用コンポーネントに対する性能試験の、業界最高のワンボックスソリューションとなっています。5G NRの6 GHz未満の要件も、この構成で簡単に対処できます。ただし、仕様化された帯域幅が広い5Gミリ波レンジでは、より広帯域幅のフェージング・シミュレータが必要です。現在、これを可能にしているのが、R&S®SMW-B15 オプションです。この新しいフェーダは、R&S®SMW200Aの広帯域バージョンにインストールすることができ、5G NR Release 15信号源に対するテスト仕様の高いレベルの要求を満たします。

セットアップの比較



R&S®SMW200Aは、基地局の性能試験用のコンパクトで使いやすいセットアップを提供します。

新たなテスト要件を持つ新しい規格

性能試験では、伝搬条件のシミュレーションに加えて、高精度の送信信号も必要となります。送信信号の特性については、無線インタフェース規格の物理層機能によって指示されています。最大6 GHzの周波数バンドしかサポートしないLTEとは異なり、5G NRはミリ波レンジまで拡張されているため、信号発生器に対する新たな要求が生まれています。さらに、LTE使用時の個別加入者あたりの最大搬送波帯域幅がわずか20 MHzであるのに対し、5G NRでは6 GHz未満で100 MHz、ミリ波レンジで400 MHzの帯域幅が想定されています。5G NRでは、はるかに広い周波数レンジにわたって現実的な伝搬条件のシミュレーションを保証する、チャネルモデルも利用できます。より高い搬送波周波数、より広い信号帯域幅、より高次のMIMO(最大8×8) が合わさると、フェージング・シミュレータの計算負荷は、LTEと比較して大幅に増加します。

6 GHz未満の範囲での通常の実施テストに加えて、5G NRの性能試験ではもう1つのイノベーションが導入されています。6 GHz未満の周波数およびミリ波レンジでの無線 (OTA) テストです。これにより、テストセットアップが複雑化し、信号発生器とフェージング・シミュレータの信号品質とRF出力電力に対する要件がかなり厳しくなりました。

小型で優れた操作性

個別の信号発生器とRFフェージング・シミュレータを使用する従来のセットアップと比較して、R&S®SMW200Aはより小型で、セットアップや操作も簡単です。また、はるかに広い周波数レンジをカバーします (図を参照)。RFフェーダで通常発生する信号変換損失もありません。この信号発生器は、高出力電力の極めて純粋な信号を生成します。信号のレベルを追加の校正作業なしに正確に設定することができます。これはOTAテストに特に有用です。

R&S®SMW-B15 5G NR用フェージング・ハードウェア

R&S®SMW-B15 フェージング·シミュレーション·ハードウェア(広帯域のベースバンド・ジェネレータをもつR&S®SMW200A用) は、さらに高い処理能力を備えています。現在、200 MHzのフェージング帯域幅を提供していますが、例えばRelease 15に準拠したミリ波レンジでの5G NR性能試験には、この帯域幅が必要です。将来的には、規格の進化に合わせてさらに広い帯域幅がサポートされます。R&S®SMW-B15は、R&S®SMW-B14で既にカバーされているシナリオにも使用できます。例としてMIMOフェージング/ルーティング (当初は最大16個のフェージング・チャネル、すぐに最大8×8 MIMO) やキャリア・アグリゲーションがあります。さらに、OTA MIMOフェージングを含め、R&S®SMW-B14でもサポートされている多くのチャネルモデルに加えて、新しい5G NR Release 15チャネルモデルもサポートします。

R&S®SMW200A (標準版と広帯域版) の主な機能

- 周波数レンジ : 100 kHz ～ 40 GHz (44 GHz保留中)
- 出力パワー : 最大+18 dBm (PEP)
- オプションによりフェージング・シミュレータおよびAWGN発生器の搭載が可能
- 5G NR、LTE、Wi-Fi、およびその他多数の一般的な規格用のMIMO、キャリア・アグリゲーション、マルチスタンダード・チャネル・モデル、信号発生
- 1台の信号発生器で8 × 4 MIMO に対応 (6 GHz未満の場合、3つ以上のRF信号に対応するには追加の信号発生器R&S®SGT100Aが必要)

ベースバンド・ジェネレータR&S®SMW-B10とフェージング・ハードウェアR&S®SMW-B14を備えた標準版

- 最大160 MHzのRF帯域幅
- 最大160 MHzのフェージング帯域幅

広帯域ベースバンド・ジェネレータR&S®SMW-B9と広帯域フェージング・ハードウェアR&S®SMW-B15を備えた広帯域版

- 最大2 GHzのRF帯域幅
- 最大200 MHzのフェージング帯域幅

まとめ: R&S®SMW-B15 ハードウェアオプションにより、広帯域版のR&S®SMW200A ベクトル信号発生器に、5G NR Release 15に準拠した基地局の性能試験用のパワフルなフェージング・シミュレーションが、業界標準となっているモデルと同じ形状と操作性で装備されます。

Dr. Patrick Agyapong

テストベンチ上のレーダーセンサ

運転支援システムで使用されるレーダーセンサの適切な操作は、安全上重要な問題です。各センサは、製造中および車両への搭載時にテストする必要があります。新しいレーダーエコー発生器が重要な役割を果たします。

エコーシミュレータを必要とするレーダーセンサ・テスト

レーダーベースの運転支援システム（例えば、衝突回避システム）の有効性は、レーダーセンサが適切に動作しているかどうかにかかっています。完全組立車両の特定のセンサが物体の距離、サイズ、方向、速度を正しく測定するかどうかは、センサの性能と品質、および車両内での取り付け位置に依存します。どちらの側面も安全性に関わっており、サプライヤーのセンサ製造段階および自動車メーカーの組立ラインではファンクションテストが必須となっています。センサレドームの性能とレーダー適合性を評価するため、ローデ・シュワルツは最近、R&S®QAR 車載用レドームテスターを発売しました（『NEWS 219/18』p24 ～29を参照してください）。さらに、開発中にレーダーセンサを徹底的にテストし、特定の動くターゲットでのシミュレーションを行うため、デジタルARTS9510C 車載用レーダー・テスト・システムを利用することもできます。特定の車両モデルのセンサとレドームが上記のテスト機器を活用することで製造の成熟段階に達したら、量産中に必要となるのは、主要なパラメータが定義済みのリミット値に適合することを確認する作業だけです。新しいR&S®AREG100A 車載用レー

ダーエコー発生器は、これらの製造テストを効率よく、高い信頼性で実行します（図1および2）。

R&S®AREG100Aには、24 GHz ISMバンドと77 GHz/79 GHz Eバンドの両方で、現在および将来のレーダーセンサを高い信頼性でテストできる機能が備わっています。高いレベルの柔軟性と使いやすさを実現するため、2つのコンポーネントで構成されています。

1. ベースユニットには、固定距離にある最大4つのオブジェクトのシミュレーションに必要な、すべてのコンポーネントが含まれます。RCSと動径速度の値はユーザー定義可能です。発注時に、お客様がシミュレーション対象オブジェクトの固定距離を4つ指定できるため、テストシナリオに沿ったソリューションが得られます。

図2：R&S®AREG100AとR&S®ATS1500Aシールドチャンバで、量産におけるレーダー・センサのテスト用のシステムソリューションを構築します。

図1：R&S®AREG100A車載用レーダーエコー発生器は、ベースユニットとリモートフロントエンドから構成されています。使用するレーダーバンドに合わせて選択できます。

2. リモートフロントエンドは、レーダーセンサから反射された信号を、より低い中間周波数（IF）バンドに変換します。ベースユニットがエコーを生成します。その後、信号は元のレーダーバンドに変換され、レーダーセンサに再送信されます。

Eバンドでは、R&S®AREG100Aは、すでに最大4 GHzの帯域幅をサポートしており、フロントエンドとDUT間で0.8 mのエアギャップが選択された場合、最小4 mのオブジェクト距離のシミュレーションが可能です。こうした優れた機能を備えているため、短距離および長距離レーダーのテストソリューションとして、今後も長く使い続けられます。

干渉への耐性を求められるレーダーセンサ

最近まで、レーダーベースの運転支援システムを装備している自動車はごく一部の高級車に限られていたため、自動車レーダーセンサ間の相互干渉は、深刻な問題とは認識されていませんでした。現在、中型車と小型車でのシステムの普及率は上昇を続けており、状況は様変わりしています。さらに、レーダーベースのシステムとセンサの車両あたりの数も増加の一途をたどっています。両方のトレンドにより、レーダーセンサ間の相互干渉の確率は上昇しました。その結果、適切なイミュニティー試験を実施する必要性が生まれています。2017年6月に発効された欧州無線機器指令（RED）と、ETSI EN 303396などの付随する規格で、明示的に準拠する必要がある性能要件が規定されました。干渉に対するレーダーセンサの信頼性を検証するため、ローデ･シュワルツでは、R&S®AREG100Aをベースとする標準ソリューションを提供しています（図3）。R&S®AREG100A フロントエンドは、生成されたエコー信号を、信号発生器から供給される干渉信号と共に、レーダーバンドにアップコンバージョンします。上限周波数6 GHzの信号発生器であれば、この目的には十分です。

REDではCW干渉信号のみのテストを規定しているので、R&S®SMB100Bなどのアナログ信号発生器を使ってRED準拠信号を提供できます。レーダーアプリケーションでよく遭遇する、より困難な干渉シナリオ（例えば、FMチャープシーケンスを使用）をシミュレートすることも可能です。R&S®Pulse Sequencerなどのシミュレーション・ソフトウェアと、R&S®SMW200Aなどのベクトル信号発生器の組み合わせもお勧めします。R&S®AREG100Aを一緒に使用すると、非常に複雑な干渉シナリオでもシミュレーション可能なテストセットアップを実現できます。

製造における最終機能試験でのレーダーセンサのRED準拠の特性評価

REDでは送信パワーの上限も仕様化しています。R&S®AREG100Aの校正済みの受信経路を使用すれば、製造時のセンサの最終機能試験中に、このリミットへの準拠を検証することが可能です。R&S®AREG100A フロントエンドでレーダー信号をISMバンドまたはEバンドからIFバンドへ変換すると、テストセットアップが大幅に簡素化します。等価等方放射電力(EIRP)は、R&S®NRP8S パワーメータをR&S®AREG100Aの校正されたIF出力に接続するだけで測定できます。R&S®FSW8などのシグナル・スペクトラム・アナライザを、R&S®AREG100Aのもう1つのIF出力に接続すると、占有帯域幅、チャープリニアリティー、チャープ持続時間など、重要なパラメータを同時に測定することができます。

Dr. Alois Ascher、Dr. Rainer Lenz、Volker Bach

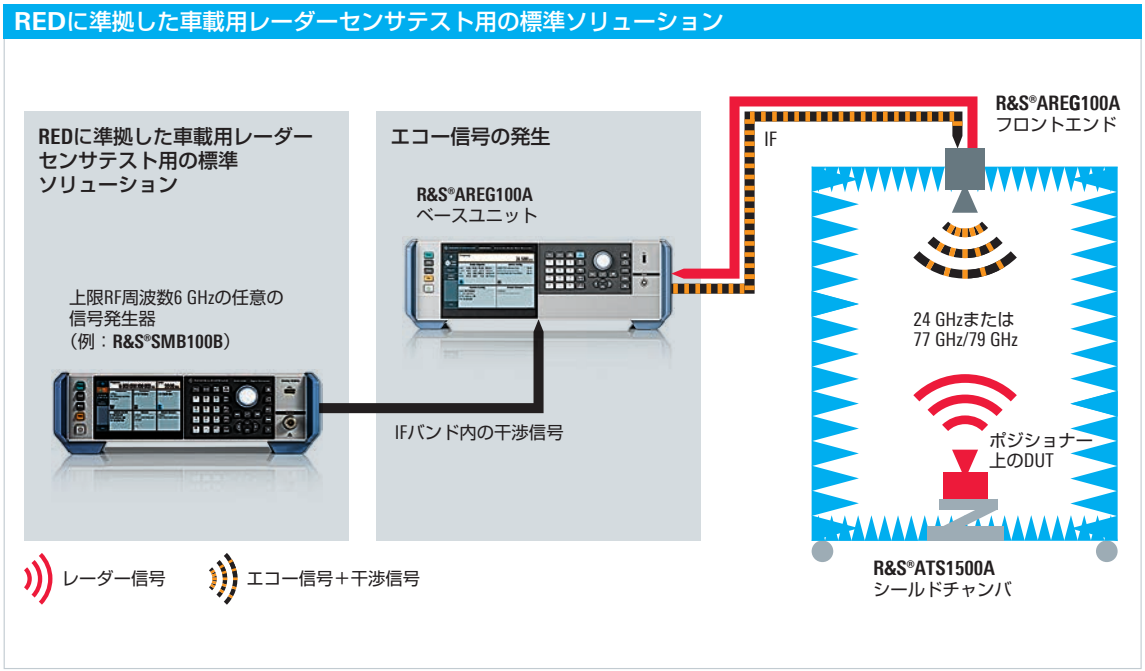


図3：センサのREDに準拠した干渉イミュニティー試験を、R&S®AREG100A、R&S®ATS1500A シールドチャンバ、R&S®SMB100Bなどのアナログ RF信号発生器から成るセットアップを使用して簡単に実現できます。

未来の車両緊急通報システム「eCall」

© Barbol / Shutterstock.com

欧州委員会はここ数年にわたって、自動緊急通報システムである「eCall」の導入に向けた議論や検討を重ねてきました。その結果、2018年3月31日から欧州連合（EU）において、すべての新車へのeCallシステムの装備が義務化されました。現時点での搭載車両の割合は少ないものの、このシステムの技術は時代遅れとなっています。新しい技術の導入を加速していく必要があります。

重大事故が発生すると、eCallが自動的に携帯電話通信によって緊急応答機関（Public Safety Answering Point、PSAP）に通報します。車載機器が、重大事故が発生したのかどうかを判断します。例えば、エアバッグの作動は、重大な事故が発生したことを示す指標の1つです。システムは、SOSボタンを使用すれば手動でも始動できます。これにより、さまざまな緊急事態や周りの車両を巻き込んだ事故でも通報できます。

現在のeCallの配備は、ETSIやCENの標準規格に基づいています。このような規格の開発は、約15年前に開始されました。システムはインバンドモデムを使用して、音で（FAX機に似たピープ音を使用して）eCallの最小データセット（MSD）を緊急通報用電話番号112にGSM音声チャネルを介して送信します。技術的に時代遅れのソリューションが採用された理由は、当時は欧州全土で対応できる通信技術がGSM方式しかなかったからです。最初の計画段階に立ち戻る必要があったものの、課題として突きつけられたのが携帯電話の開発ペースでした。ドイツの保険業界は、eCallが欧州全域でほぼ完全に運用されるようになるのは2035年以降であると予測しています。しかし、その間にもLTEや5Gのために絶対的に周波数が必要となり、一部の欧州の国々ではGSMネットワークは利用されなくなると推測されます。既に今日では、欧州人口の95 %がLTEネットワークにアクセスしています。ここで問われるのが、「eCallはどうなるのか」という疑問です。ネットワークプロバイダーに対して、eCallのサービスを継続するためだけにGSM用インフラのメンテナンスを強制することはできません。ソリューションはGSMベースのeCallになり、自動車がどこにいても機能を維持できるような最新の後継システムが、車載テレマティクスシステムに共存することになると思われます。

eCallからNG eCallへ

eCallの後継技術は次世代eCall（NG eCall）で、既に仕様化されています。通常、NG eCallは、IPベースのLTEシステムでのデータ伝送に変調トーンを使用しません。その代わりに、音声伝送を使

用します。その理由は、eCallはデータを送信するだけでなく、事故車両との音声リンクを確立する必要があるからです。LTE IPマルチメディアサブシステム（IMS）は、サービスを実現する技術として機能します。IMSは、固定電話／携帯電話ネットワークのIPベース・マルチメディア・アプリケーション向けの送信テクノロジーです。この技術に期待される役割の1つは、電話通信を可能にすることです。LTEは、Voice over LTE（VoLTE）として知られています。

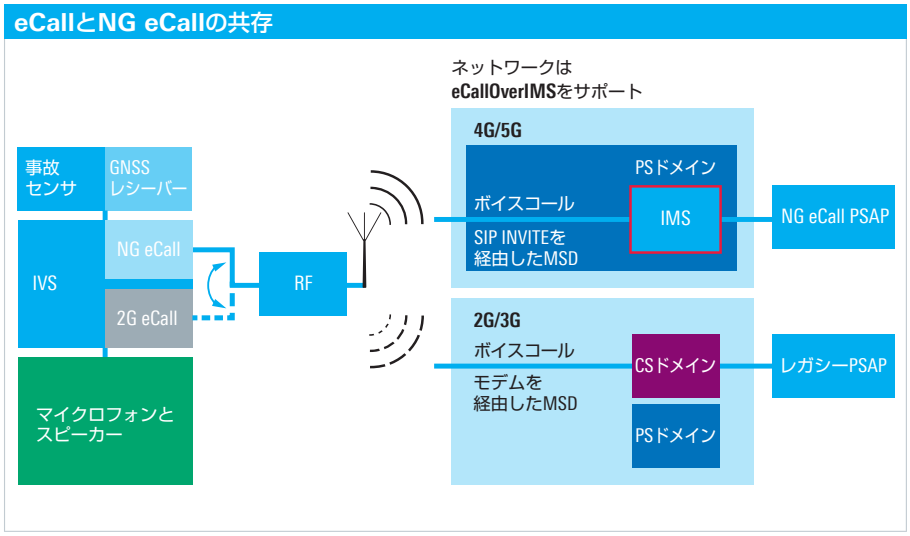


図1：LTEネットワークで、ネットワーク・サポート・インジケーターによって、NG eCallがサポートされているのか、または従来のeCallに発呼する必要があるのかを判断します。

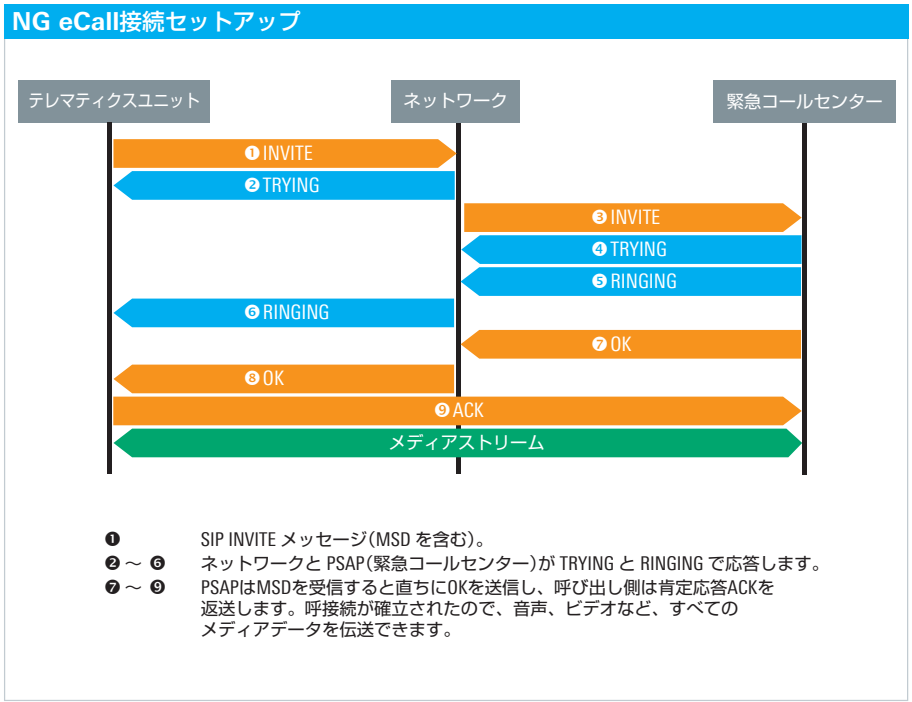


図2：テレマティクスユニット、ネットワーク、緊急コールセンターの間のNG eCall通信の確立。

IMSは、新しいものではありません。IMSは、2000年代の早期に開発されました。そのベースは、ETSI（TISPAN）および3GPP（IMS）によって開発された古い業界標準規格です。IMSフレームワークは、LTEの開始に伴って定着しました。音声伝送、ビデオテレフォニー、SMSサービスなどに使用されています。IMSは、NG eCallに最適な基盤で、適切に調整されています。3GPPリリース14では、NG eCallがサポートされているのか、または、従来のeCallを使用する必要があるのかを知るためのネットワーク・サポート・インジケーターを指定しています。これにより、eCallとNG eCallが確実に共存できるようになります（図1）。

NG eCallの動作原理

車両がLTEネットワークに接続している時に事故が発生すると、車載テレマティクスシステムがNG eCall用のネットワーク・サポート・インジケーターを評価します。NG eCallがサポートされている場合は、車両は、セッション確立プロトコル（SIP）とセッション記述プロトコル（SDP）を使用して緊急通報をIMS経由で発呼します。NG eCallがサポートされていない場合は、GSMインバンドモデムを介する従来のeCallを実行するために、GSMへのハンドオーバー（回路スイッチフォールバック）が必要になります。図2に接続確立手順を示します。

PSAPへの発呼ルーティングは、送信されたSIPでリソース名によって制御されます。以下のユニフォームリソース名が定義されています。

- urn: service: sos.ecall.manual：手動eCall
- urn: service: sos.ecall.automatic：自動eCall
- urn: service: test.sos.ecall：テストeCall

時間をまったく無駄にしないように、発呼の確立中にMSDはPSAPに送信されます。データセットは現在、140バイトに制限されています。しかし、データ量はLTEネットワークで簡単に増加する可能性があります。

図3は、eCallとNG eCallの比較です。

NG eCallの利点

NG eCallは高速データ接続をセットアップするので、MSD以外のデータを送信できます。例えば、緊急事態に必要となる運転者のヘルスデータなどは、Bluetooth®で車両に接続されているスマートウォッチによって提供されます。ドライブレコーダーが接続されている場合には、ビデオリンクが設定され、コールセンターにビジュアル情報が提供されます。一方、緊急コールセンターが、ドアロックの解除やイグニッションオフなどのリモート制御コマンドを車両に送信することも考えられます。データプライバシーやITセキュリティーの面での課題は付きまとうものの、NG eCallは技術的に時代遅れの従来のeCallよりも、多くの可能性を秘めています。そのため、eCallサービスの機能を一部分離し、サービスの共存が進むものと予測されます。例えば、公衆システムでは112という緊急電話番号を使用し、メーカー独自システムでは民間の緊急コールセンターを使用するといった分け方です。メーカーは、標準eCallを配備する必要がありますが、独自の有償サービスも実装できます。サービスを実装した場合、車両運転者が使用したいシステムを選択できるようにする必要があります。同時に、独自システムが使用不可能な場合には、車両が必ず自動的に公衆eCallに切り替わるようにしなければなりません。

今、NG eCallを開始する理由

欧州委員会は今のところ、NG eCallに関する法的な規制を何も制定していませんが、無事に実施できると見込んでいます。市場を牽引できる十分な数のネットワークプロバイダーによってLTE IMSがNG eCall向けに設定されれば、自動車企業は高度に設計されたテレマティクスシステムでそれを使用することができます。これには、民間の緊急通報サービス向けの通信も含まれます。法律の制定や施行を待っていては、課題への取り組みが遅れることになります。

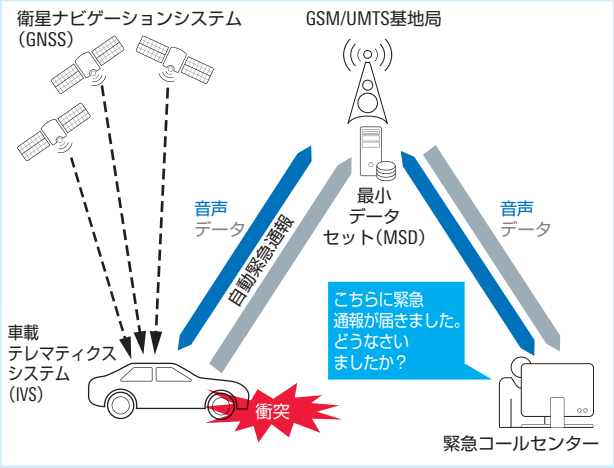
モバイルネットワークでNG eCall機能が既に実装済みの場所でも、実際のネットワークでテレマティクスシステムをテストするのは困難になり、時間がかかる可能性があります。また、フィールドテストでは条件の再現ができません。IMSでテスト結果を取得するのも困難です。なぜなら、これはユーザーにアクセス不可能なネットワークインフラの一部だからです。しかし、カスタムデザインされたテスト／測定システムにより、必要なデータを容易に高い信頼性で提供できます。

電子計測ソリューション

ローデ・シュワルツは、GSMベースのeCall向けに、長い間、包括的なテストソリューションを提供してきました（図4）。システ

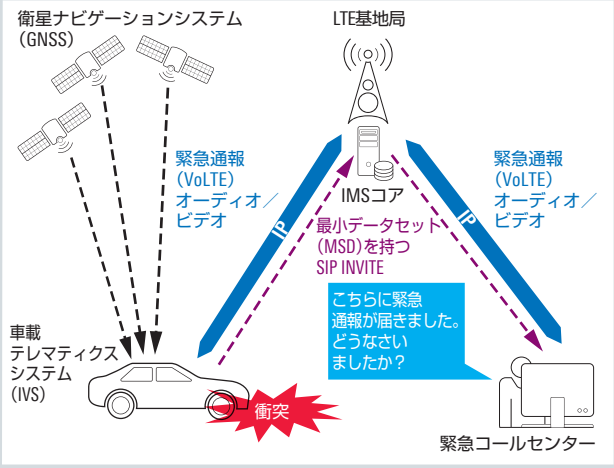
eCall対NG eCall

eCallの最初の（現在使用されている）バージョンは、回線交換音声電話をベースとしており、インバンドモデムを使用します。



- 事故
- GSMを経由したIVSの112通報
- 音声接続の確立
- インバンドモデムを経由したMSD伝送
- 自動車と緊急コールセンター間の音声接続

次世代eCallは、パケット交換電気通信ネットワークのIPマルチメディアサブシステム（IMS）を使用します。



- 事故
- VoIP/VoLTEを経由したIVSの112通報と、発呼セットアップ中のMSDの送信
- 自動車と緊急コールセンター間の音声チャネルの確立
- オプションの追加マルチメディアデータ（ビデオまたはセンサデータ）伝送

図3：NG eCall（右側）は、高速IPネットワークの機能を使用して大容量データを送信します。

ムのデザインは非常に一般的で、ロシアの緊急通報システムであるERA-GLONASSでも使用でき、今ではNG eCallでも使用可能です。NG eCallに対応するために、R&S®CMW-KA096がPCテスト・ソフトウェア・スイートに追加されました。モバイル・ネットワーク・シミュレータとしてのR&S®CMW500 ワイドバンド無線機テスタやR&S®SMBV100A GNSSシミュレータは既に、すべての必要な機能を備えています。

R&S®CMW-KA096ソフトウェアは、NG eCall機能を備えた緊急コールセンターをシミュレートし、R&S®CMW500をリモート制御します。これにより、LTEモバイルネットワークと必要なIMSインフラが再現されます。

制御コンピューターとR&S®CMW500を含んだテストセットアップを用いて、オンボードNG eCallエレクトロニクス（IVS）は、NG eCallの始動、適切なネットワークの選択、適正なMSDデータの送信、緊急コールセンターへのVoLTEコールによる音声通信の確立が可能です。MSDのデータは、RAW形式とデコード形式で使用可能です。R&S®SMBV100A ベクトル信号発生器（GNSSオプション搭載）をテストセットアップに組み込めば、MSDエントリーのGNSS位置精度を確認することもできます。

NG eCall標準規格	仕様
IP Multimedia Subsystem (IMS) emergency session	3GPP TS 23.167
IP Multimedia Call Control Protocol based on Session Initiation Protocol (SIP) and Session Description Protocol (SDP)	3GPP TS 24.229
Next-Generation Pan-European eCall	IETF rfc8147
Additional Data Related to an Emergency Call	IETF rfc7852
Next-Generation Vehicle-Initiated Emergency Calls	IETF rfc8148
Intelligent transport systems – eSafety – eCall High level application Protocols (HLAP) using IMS packet switched networks	CEN TS 17184
ECall end to end conformance testing for IMS packet switched based systems	**CEN TS 17240**

NG eCallは、テストソリューションが適合する標準規格（この表には規格の一部を記載）をベースとしています。

テスト手順は、マルチセルシナリオに容易に拡張できます。このようなシナリオを相互運用テストで使用すれば、NG eCallがサポートされない地域に進入した車両をシミュレートできます。このケースでは、テレマティクスシステムが従来のeCallバックアップシステムを使用して、正常に緊急通報を発呼できるかどうかをテストする必要があります。

Christian Hof

ビデオ

図4：すべての車両緊急通報システムを、このセットアップにより受け入れテストできます。

車載イーサネット ネットワークのトラブルシューティング

運転支援システムが高い信頼性で動作するには、センサデータが制御ユニットに正常に届く必要があります。センサと制御ユニット間の通信の詳細は、新たな車載イーサネット規格によって規制されています。しかし、信号伝送の問題がある場合、それ自体によるイーサネットプロトコル解析では、通常は十分ではありません。このようなケースには、R&S®RTOおよびR&S®RTE オシロスコープの新しいトリガ／デコードソリューションが有用です。

運転支援システムには信頼性の高いイーサネット通信が不可欠

車載イーサネットは、オンボード運転支援システム、インフォテインメントシステムなどの高速バスシステムとして、ますます使用されるようになっています。そのため、自動車業界はBroadR-Reach技術に基づく100BASE-T1イーサネットを開発しました。これは、IEEE作業グループ802.3bwで標準化されているものです。100BASE-T1は、非シールドツイストペア（ツイストペアイーサネット）経由で全2重イーサネット接続を実装しています。100BASE-T1信号は、−1 Vから+1 Vまでの差動信号レベルで

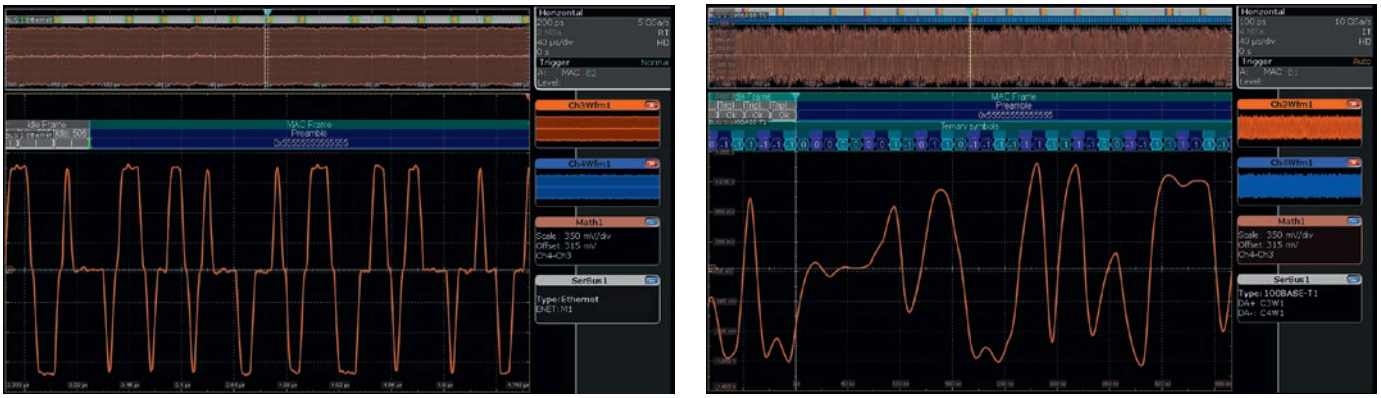


図2：左の波形は、差動100BASE-TX信号です。3つのレベルと急峻な遷移エッジがクリアに見られます。比較のために、100BASE-T1信号の波形を右に示します。イコライザーのプリディストーションにより、PAM3信号のレベルは常にクリアに認識できるわけではありません。

PAM3変調されます。100 Mbit/sのデータレートは、CANバスのような従来の車載用バスよりもはるかに高いものです。これにより、カメラ信号やレーダー信号のような大容量データを高い信頼性と十分に低い遅延で送信できる運転支援システムの開発が可能です。

信頼性の高い伝送を非シールドケーブルを介して最小RFリーケージで確実に行うために、トランスミッターはイコライザーを使用して信号の周波数応答を整形しています。100BASE-T1 PHYチップは、接続が確立するとケーブルの周波数応答を測定し、適切な信号プリディストーションを決定します。イコライザーなしで動作する標準100BASE-TXイーサネットと比較すると、100BASE-T1システムの信号はかなり歪んでいます。したがって、信号品質をアイダイアグラムのような信号レベルの解析から、直接、読み取ることはできません（図2）。

図1：100BASE-T1および1000BASE-T1車載イーサネットのコンプライアンステストとリンク・セグメント・テスト向けのフル測定ソリューションをR&S®RTO オシロスコープで使用できます。

車載イーサネットインタフェースのテスト

車載イーサネットの標準化団体であるOPEN Alliance SIGは、イーサネット･インタフェース･テスト向けに詳細な仕様を定義しました。物理層のコンプライアンステスト（Open Alliance車載イーサネットECUテスト規格のPMAテスト）では、オシロスコープとネットワーク・アナライザを使用してインタフェースの電気特性をラボで測定します。コンプライアンステストでは、トランスミッターのみの電気特性を（テスト信号を使用して）確認します。テストは、レシーバーでは実行しません。2つの制御ユニット間の通信品質は、PHYチップの信号品質パラメータを読み取ることで、間接的にシンプルに測定します。

制御ユニットアプリケーションが正常に通信していることを検証するために、通常はVector CANoeやWiresharkのようなツールが使用されます。これらのソフトウェアツールは、すべてのイーサネット・データ・トラフィックを特殊なインタフェースモジュールで収集して、プロトコルコンテンツの詳細な解析を実行します。ただしそれは、パケットエラーとして伝送エラーを示すだけです。例えば、データパケット・エラーが干渉との結合によって生じている場合、これらのソフトウェアツールではさらに詳細な解析ができません。そのようなケースでは、専用のトリガ／デコード機能を備えたオシロスコープが一般的に使用されています。

R&S®RTO（図1）およびR&S®RTE オシロスコープの100BASE-T1バス用トリガ／デコードソリューションは、電気バス信号と関連付けてデータパケット・コンテンツを解析できる業界初のツールです。トラブルシューティングが、従来のCANバスとほぼ同様に簡単になります。

分離信号収集

オシロスコーププローブでツイストペア上の信号を直接プロービングした場合、両方向に伝送している重なり合った信号が収集されます。しかし、これらの信号を分離しないでプロトコルを解析することはできません。R&S®RT-ZF5 イーサネット·プロービング·フィクスチャ（図3）は、方向性結合器を使用して信号を分離します。これにより、オシロスコープによる100BASE-T1通信の分離収集が可能になります(図4)。信号による最大追加減衰量は1 dBです。これは、データ伝送に影響しません。

100BASE-T1トランスミッターのイコライザーによって、収集信号はかなり歪みます。オシロスコープで、信号はデコーディング前に複雑なアルゴリズムによってイコライズされます。R&S®RTOはデコード済みのデータパケットとアイドルフレームを、カラーコード化されたバス信号として表形式で表示します（図6）。100BASE-T1電気信号レベルと送信プロトコルコンテンツの時間相関により、バス通信とデータパケット·エラーの詳細な解析が可能になります。ユーザーはデータパケット・エラーまたはデータパケットに対して、特定の送信や宛先アドレスでトリガをかけることもできます。

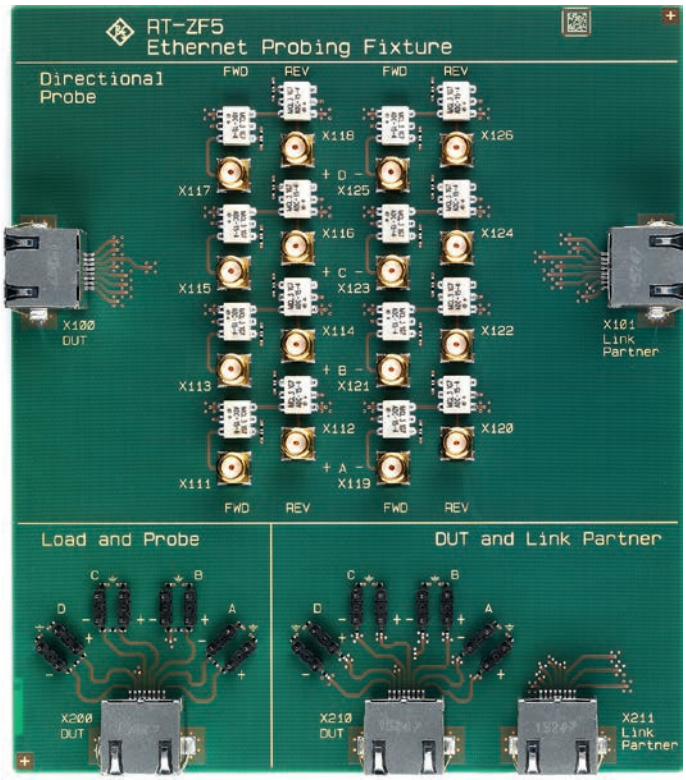
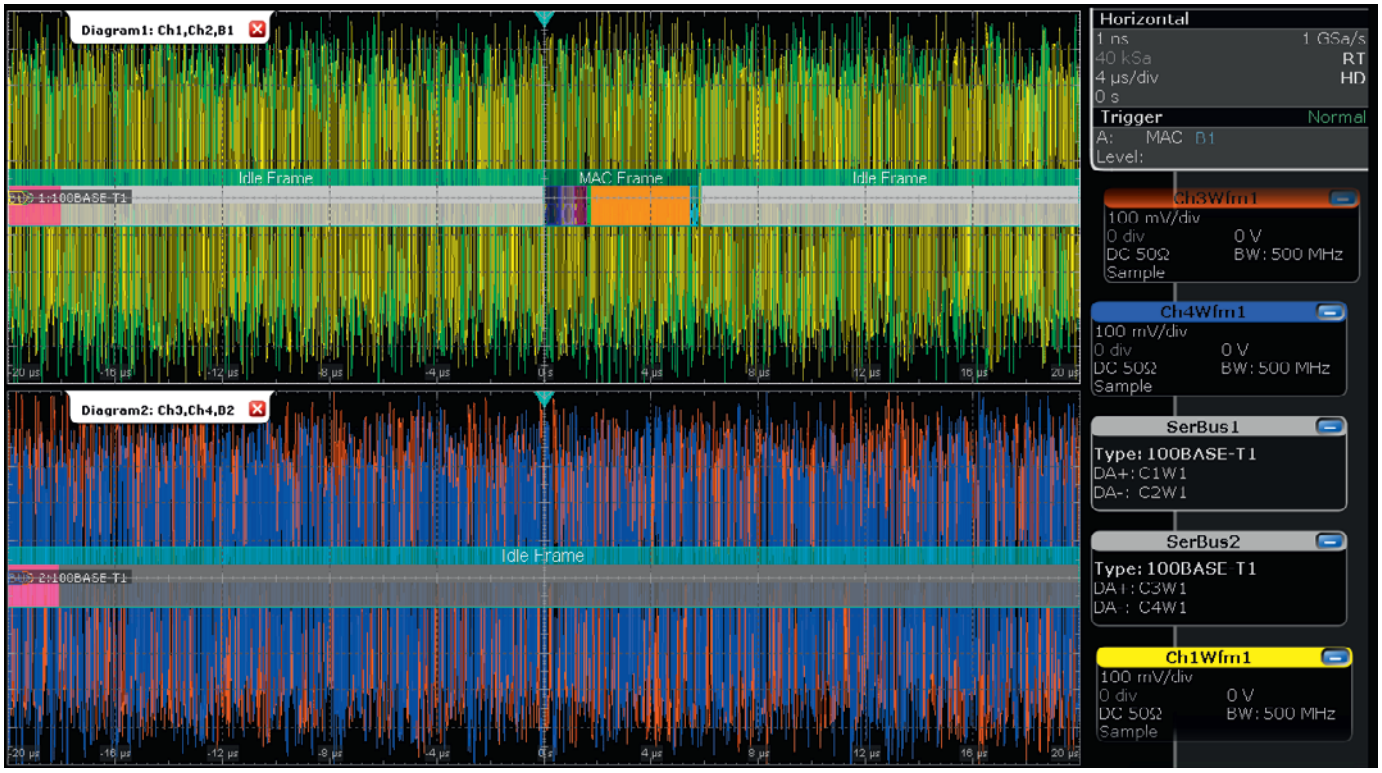


図3：R&S®RT-ZF5 イーサネット・プロービング・フィクスチャの方向性結合器により、全2重100BASE-T1通信の両方向のデータストリームを分離収集できます。

図4：全2重通信の両方向データストリームの100BASE-T1デコーディング。MACフレームは、オレンジ色で強調表示されています。灰色で覆われている部分は、連続送信されるアイドルフレームです。



データパケット・エラーの解析

100BASE-T1のデコーディングを使用して、別の信号に対するバス通信のタイミングを表示することができます。例えば、オシロスコープに12 Vの供給電圧でトリガをかけて、制御ユニットの起動時間を特定できます。起動時間は、電源投入してから最初の有効なデータパケットが表示されるまでの時間です。

干渉信号と結合する間欠的なバスエラーは、バス通信と100BASE-T1電気信号レベルを同時に解析しないと発見が困難です。デコードにより、バス通信と7つすべてのOSI通信レイヤーとの時間相関を解析できます。これにより、干渉信号と結合する要因を特定できます（図5）。

OSIレイヤーとその解析

OSIレイヤー	車載イーサネット
第7層：アプリケーション	アプリケーション層：FTP、SOME/IP、HTTP、SMTPなど
第6層：プレゼンテーション	
第5層：セッション	
第4層：トランスポート	TCP、UDP
第3層：ネットワーク	IP
第2層：データリンク	100BASE-T1
第1層：物理	1000BASE-T1

- エラーフリー通信
- 検証済みのスリープ／ウェイクアップ周期
- EMCコンプライアンステスト
- 適正なレイテンシー
- 適正なブート時間

図5：トリガ／デコードオプションを搭載したオシロスコープで、イーサネット通信の7つすべてのOSIレイヤーを解析できます。

図6：100BASE-T1電気信号レベルのデコーディング。2つのレベルの100BASE-T1差動信号とデコード済みデータパケット・コンテンツがはっきりと表示されています。

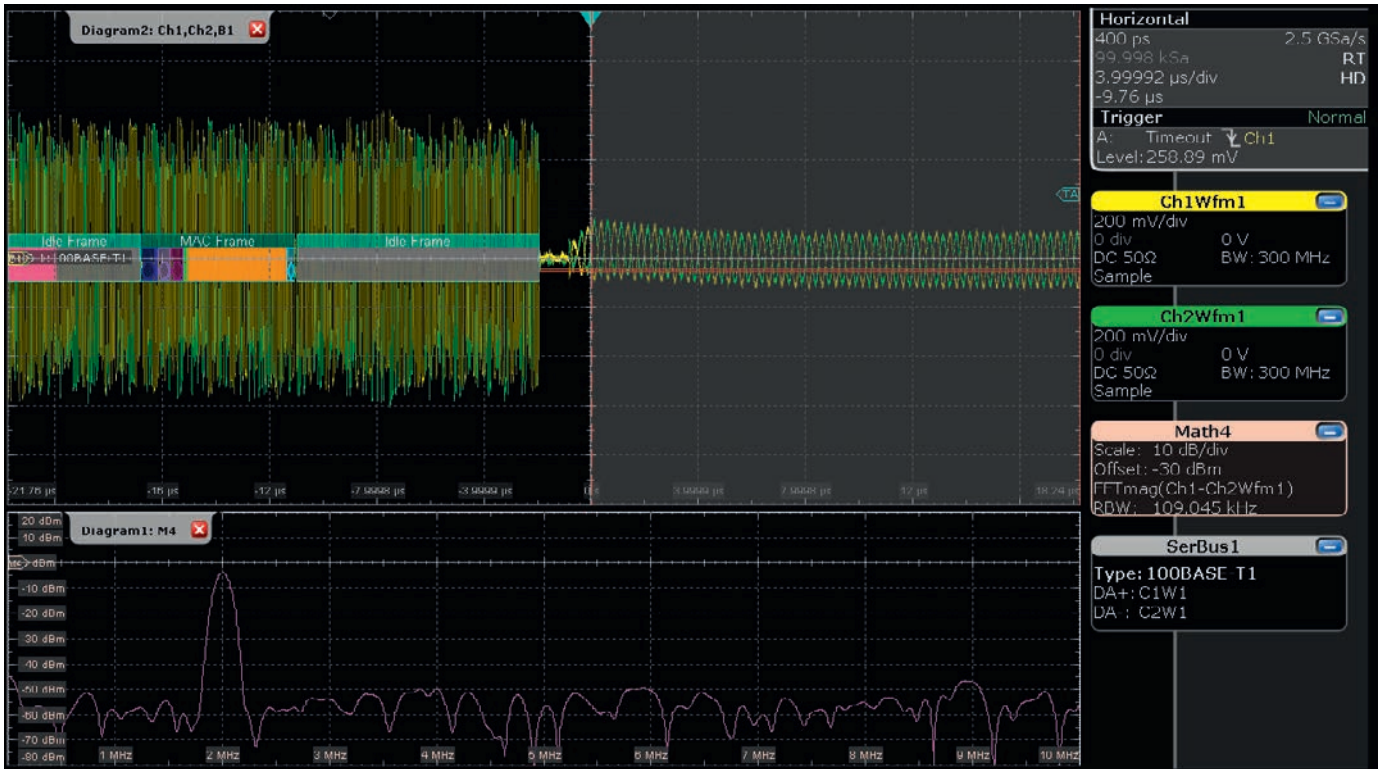


図7：プロトコル解析と周波数解析の組み合わせによる、バス通信の間欠的な割り込み信号の調査。

例えば、図7の測定では、MACフレームとアイドルフレームが収集開始時に適切に伝送されています。しかし、データストリームが収集の中央で突然停止しています。図中の下のウィンドウには、障害が生じた際のタイムスライス（上の右側、灰色で覆われている領域）の周波数スペクトラムが表示されています。2 MHzにはっきりとスパイクが見られます。この干渉信号は、バスの問題の要因らしいことがわかります。デコーディングを周波数解析のように、オシロスコープの別の解析ツールと組み合わせれば、トラブルシューティングが簡素化されます。追跡するのが困難な問題であっても、こうしてオシロスコープを使用すれば一目で確認できます。

必要なオシロスコープ構成

- オシロスコープ：**R&S®RTO2004**
  （4チャネル、≧600 MHz帯域幅）
  または**R&S®RTE1054**
  （4チャネル、≧500 MHz帯域幅）
- **R&S®RTO-K57**または**R&S®RTE-K57オプション**
  100BASE-T1のサポート用
- **R&S®RT-ZF5 イーサネット・プロービング・フィクスチャ**
  チャネル分離用

その他の推奨オプション

- R&S®RTE-TDBNDLオプション、シリアルトリガ／デコード機能
- R&S®RTO-K24 100BASE-T1コンプライアンステスト・オプション
- R&S®RTO-K87 1000BASE-T1コンプライアンステスト・オプション
- R&S®ZNDベクトル・ネットワーク・アナライザ

まとめ

車載イーサネットを備えた制御ユニットの開発向けに、ローデ・シュワルツは、イーサネット・プロービング・フィクスチャを含む100BASE-T1トリガ／デコードソリューションをフルに提供して、分離信号収集を可能にしています。これにより、7つのOSI通信レイヤーのすべてにわたってバス通信を解析できます。送信データパケットをトリガ／表示する拡張機能により、プロトコルコンテンツの解析とバスエラーの原因特定が簡単になります。

100BASE-T1/1000BASE-T1車載イーサネット・コンプライアンステストおよびリンク・セグメント・テスト向けの専用オプションも使用できます。

Dr. Ernst Flemming

コラム

2象限電源ユニット - 使いやすいタッチスクリーン搭載

新しいR&S®NGL200 電源は、開発ラボ／製造テストシステムの困難なアプリケーションに最適です。

モバイルデバイスやIoTデバイスなどで使用される最新の電子回路は、電源に関して破損しやすく厳格な性能が要求されます。それらのデバイス開発で使用される電源は、スタンバイモードの数μAから送信モード中のAレンジまで、オーバーシュートなしで数μ秒以内に変化できる必要があります。高精度で安定した滑らかな電流／電圧の設定が非常に重要です。新しいR&S®NGL200 電源ファミリーは、このような要件に対応できる非常に優れた性能を備えています。豊富な機能が詰め込まれた電源、R&S®NGL 201（1チャネル）モデルおよびR&S®NGL 202（カスケード接続可能な2チャネル）モデルは、ラボ/ATEアプリケーションにおける多くの困難な作業に最適な電源です。2象限アーキテクチャーによってソースとシンクの両方の6.5桁電源が実現されていて、バッテリーの充放電制御のような作業に使用できます。可変内部インピーダンスを使用して、シミュレートによってバッテリータイプの特性を再現できます。電流／電圧特性は、1 msから数時間の値ごとに持続時間を用いて精密にプログラミングできます。電源は、ATEアプリケーション向けに無線LANを含む多くのインタフェースを提供します。特に便利な操作機能は高解像度の5インチタッチスクリーンです。測定値をクリアに表示するだけでなく、多くの測定器機能に容易にアクセスできます。

主な特長	R&S®NGL201	R&S®NGL202
出力チャネル（電気的にアイソレート、フローティング、短絡保護）	1	2
1チャネルあたりの最大出力パワー	60 W	
1チャネルあたりの出力電圧	0 V ～ 20 V	
1チャネルあたりの最大出力電流	≦6 V : 6 A、＞6 V : 3 A	
過渡応答時間	＜30 μs	
負荷として使用した場合の1チャネルあたりの最大パワー値	60 W、3 A	

レーダーパルス安定度を容易に測定

レーダーパルス内の振幅／位相安定度が高くなるほど、レーダー信号が受信信号から抽出できる情報は多くなります。かつては、必要な感度レベルで安定度測定を実行するのは複雑でコストがかかりました。R&S®FSWP 位相雑音アナライザ/VCOテスタの新しいオプションにより、このような測定が簡単で直感的になります。

レーダーは検出目的のターゲットからのエコーだけでなく、樹木、建物、海面の波といった周囲の物体からのエコーも受信します。このような偶発的なエコーはクラッターと呼ばれ、レーダーオペレーターにとって関心のないもので、レーダー性能を劣化させます。しかし、高度なレーダーシステムの信号処理は、例えば、連続エコーの位相／振幅を比較して移動ターゲットだけを表示することで、不要な反射を検出して抑圧できます。送信パルスの位相／振幅安定度が高くなるほど、信号処理の結果が良好になります。高品質の信号を使用すれば、あらゆる位相／振幅変動はターゲットに起因するもので、送信システムの不安定性によるものではないと想定できます。よって、レーダーシステムの感度を調査する時には、送信パルスの位相／雑音安定度を把握することが不可欠です。特に、送信機の電力振幅は安定度に悪い影響を与える可能性があります。システム全体の感度を最大化するために、また小型無人機のような非常に小さなRCSでターゲットを検出できるようにするために、そのような成分の精密な測定が必要です。

図1：アンプのパルス位相／振幅安定度残留測定。R&S®FSWPはパルスド信号をアンプに供給して、アンプの出力信号を解析します。

複雑な測定のための簡単なセットアップ

パルス位相／振幅の高感度測定、特に振幅に関しては、従来は複数の測定器を含む複雑なテストセットアップが必要でした。R&S®FSWP 位相雑音アナライザ/VCOテスタのR&S®FSWP-K6Pオプションにより、このような測定を大幅に簡素化できます。新しいオプションは、R&S®FSWP-K6 パルス測定オプションに対する拡張で、特にパルス安定度の特性評価を目的にしています。R&S®FSWP-K6Pオプションは、R&S®FSWPハードウェアの利点を活用しています。本ハードウェアは、スペクトラム・アナライザよりも高感度で超低位相雑音と優れた測定位相／振幅安定度を備えています。R&S®FSWPはレーダーシステムのようなパルスも出力でき、アンプのようなDUTにパルスを供給して、DUTの出力信号を解析できます。R&S®FSWPの供給パルスの位相雑音と局部発振器の位相雑音は等しく、また相関があるので、位相雑音が効果的に抑圧され、DUTによって生じる位相変化がそのまま残ります。このような残留測定により、パルス間の位相／振幅安定度測定で－80 dB未満という感度を実現しています。位相安定度のdB値は、以下の式で計算されます。

$$\text{位相安定度} = 10 \times \log\left[\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N-1}(\theta_{i+1}-\theta_i)^2\right]$$

θ_iは、与えられたN個のパルスの中のi番目のパルスのサンプリングポイントでの位相です。パルス間の平均位相偏差 0.1 ミリラジアン・オーダーが、－80 dBに相当します。これが、アナログ値として振幅安定度に適用されます。図1に、テストセットアップを示します。アンプの入出力は、R&S®FSWPに直接接続されます。このような複雑かつ高感度な測定では、テストセットアップを簡単にできませんでした。当然のことながら、R&S®FSWPには、ユーザーが独自に用意した信号源を測定用の局部発振器として使用することもできます。これは、R&S®FSWPの信号源が目的のアプリケーションに十分でない場合に役立ちます。

一般的なレーダーアプリケーションでは単純なパルスを使用せずに、バースト（図2）または複雑なパルスシーケンスを採用します。そのため、レーダーコンポーネントをテストする際にはバースト信

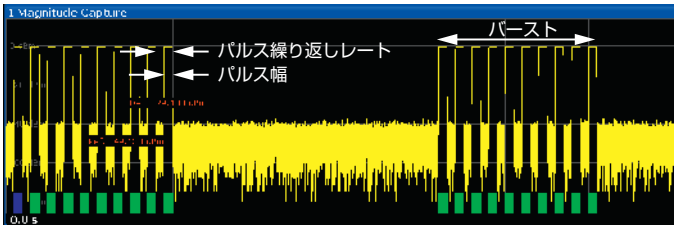


図2:バースト信号:10個のパルスと次のバーストの間に長い休止期間があります。

号も必要になります。コンポーネントがバースト信号の位相途中で温度上昇すると、位相／振幅安定度に大きな影響を及ぼします。R&S®FSWPは、パルスシーケンスとバーストを出力できます。これを、結果の評価／表示中に取り入れることもできます。

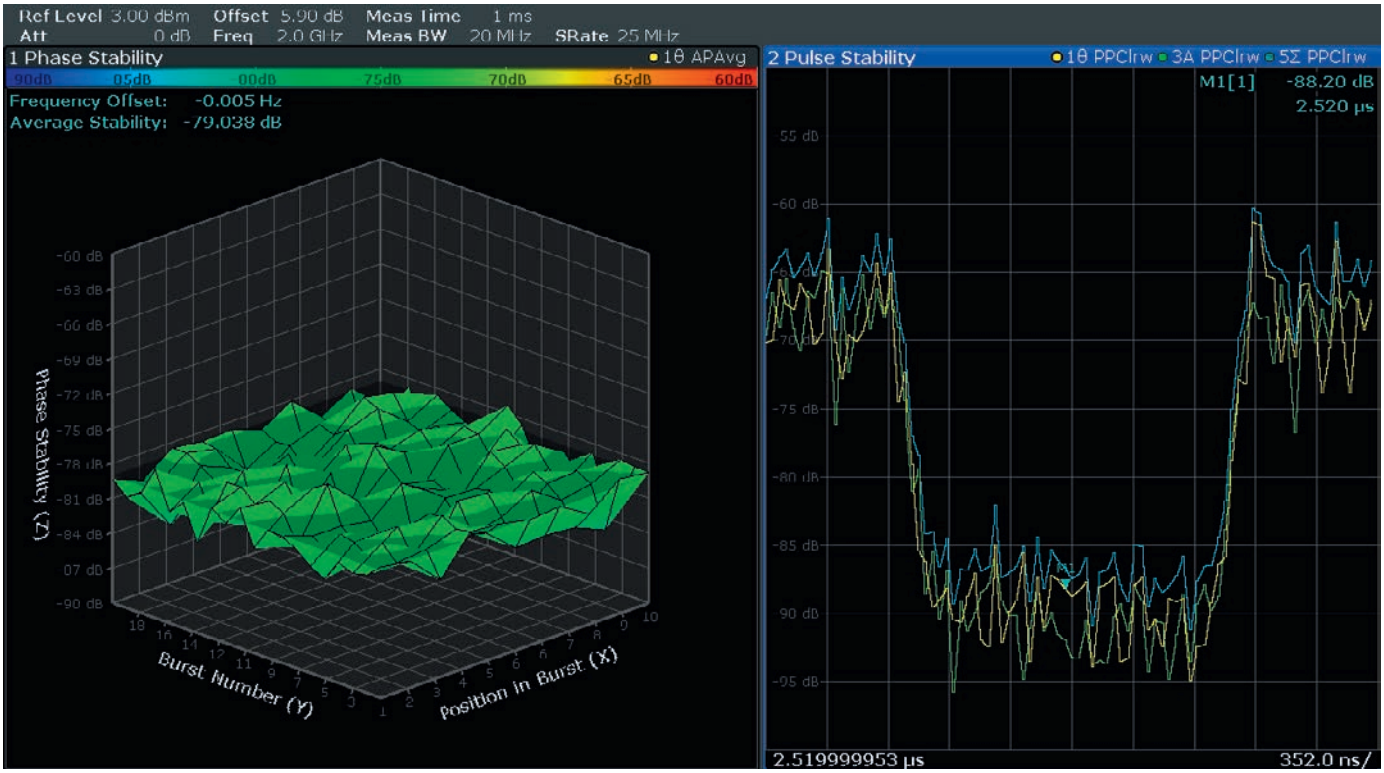
結果の表示

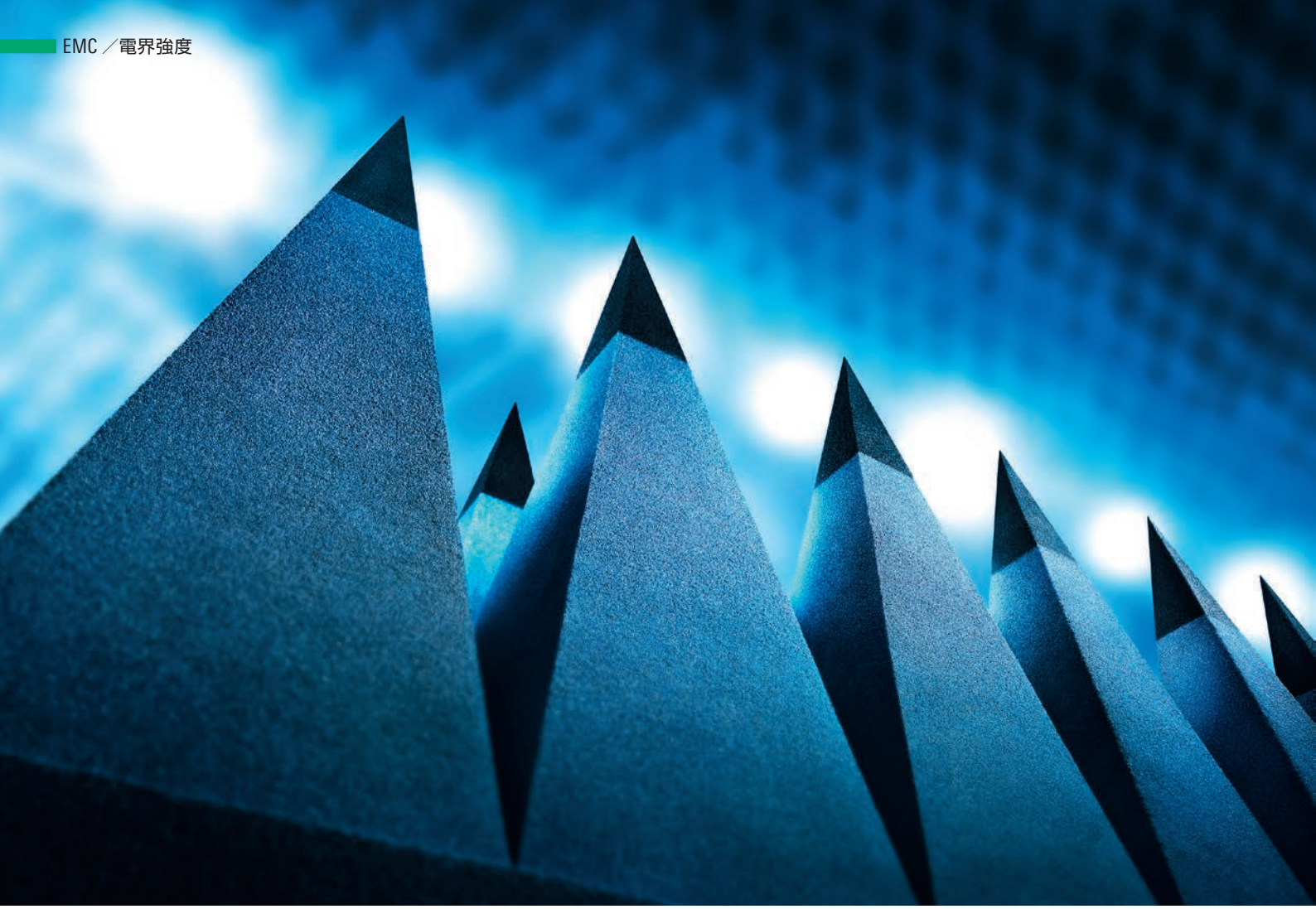
R&S®FSWP-K6Pオプションでは、ユーザーは帯域が非常に広いスペクトラム・アナライザ、または非常に感度が高い位相雑音テスタのどちらのハードウェアを使用して測定するかを選択できます。テスタの場合、ユーザーはパルスド信号を直接測定するのか、または内部で生成したパルスをDUTに入力して残留テストモードを使用するのかを選択できます。

位相／振幅安定度は、個々のパルスごとに表示できます。パルスの平均位相／振幅を元に、パルスの各サンプリングポイントでの偏差が計算され表示されます。R&S®FSWPは、パルス間の位相／振幅安定度を求めるために、バースト全体にわたって値をアベレージングできます。また、パルス間の差のみを計算することもできます。このような両方のアベレージング手法によって、滑らかで非常に確実なトレースを取得できます（図3）。

Dr. Wolfgang Wendler

図3：パッシブアッテネータのテスト中のバースト信号のパルス間位相／振幅安定度。左：記録されたすべてのバーストの各パルスの平均値から求めた位相偏差のウォーターフォール表示。バースト内で不安定性の要因になる温度上昇の影響がはっきりと表示されています。右：差の測定。パルス間位相安定度（黄色）、振幅安定度（緑色）、すべてのパルスに渡るアベレージング後の2つの信号の和（青色）。2つの図の絶対値に差があるのは、異なるアベレージング手法を使用したためです。





R&S®ELEKTRAの進化

世界中で採用されているR&S®EMC32 EMCソフトウェアは、R&S®ELEKTRAソフトウェアに徐々に置き換えられてきています。この後継ソフトウェアが、EMIシステムの自動化／制御をサポートするようになりました。また、EMS測定用の高性能モジュールも含まれています。

R&S®ELEKTRAのような複雑で汎用性に優れたEMCテストソフトウェアを開発することは、容易な作業ではありません。最初のモジュールは、2017年に発表されました（『NEWS 217/17』のp15 ～ p17を参照）。当時のベースモジュール（型式名：R&S®ELEMI-E）は、電磁波妨害（EMI）認証の前にプロトタイプのEMIテストを行う開発者を対象にしていました。

すべての最新規格に準拠するEMI認証

EMI測定用の新しいR&S®ELEMI-A、およびR&S®ELEMI-Sモジュールによって、製品テスト／認証向けのアプリケーション範囲が拡大します。ソフトウェアが、商業／自動車／軍事規格に準拠した伝導性／放射性妨害測定を制御します（図1）。これにより、ユーザーは豊富な自動化テストを選択できます。手動の対話型測定から実質的な完全自動化テストシーケンスまで、すべてを設定可能です。R&S®ELEKTRAを使用することによって、ターンテーブルやマストをリモート制御できるだけでなく、周波数、マスト、ターンテーブルを変更しながら、真のピークサーチによってEMI測定のピークをサーチして完全自動で最終的な測定を実行することができます。テストシナリオのスケジューリングやテストレポートの作成などの便利な機能により、テストラボの効率とスループットが向上します。

自動化EMS測定と妨害波レベル校正

電磁感受性（EMS）を測定するために、EUTは定義されている電磁波妨害にさらされ、近傍に大型の電気モーターや無線機器がある時に生じる不都合な環境条件下でも問題なく機能するかどうかを確認するテストが行われます。R&S®ELEKTRAは、商業規格であるIEC/EN 61000-4-3および61000-4-6に準拠して動作します。

正確なテスト結果を得るためには、妨害波電界の電磁界強度ができるだけ一様である必要があります。各テストセットアップには、電磁界強度／電磁界均一性の広範な標準化校正が必要になります。R&S®ELEKTRAは、このような校正と連続的な評価の大部分を自動的に実行します。ユーザーが行う必要があるのは、電磁界プローブの配置だけです。適切な校正後は、アンテナ特性、アンプ特性、ケーブル/RFスイッチの損失、電波暗室の減衰が考慮され、あらゆる条件で発生器が適正なレベルの信号を出力できるようになります。

テスト中はEUTを暗室の外側からモニターして、EUTが目的どおりに動作していることを検証します。このような目的のために、多くの場合、USB/LANインタフェースによるモニタリングとは別に、暗室内のビデオシステムによる、ステータスランプ、ディスプレイ、画面の確認が必要になります。R&S®AdVISEソフトウェアを使用して、こうした確認を行うことができます。これは、ビデオ検証／記録用のR&S®ELEKTRAに完全に適合していて（p40～41を参照）、継続的に目視でモニタリングする退屈な作業が軽減されます。

R&S®ELEKTRA - 次の時代へ

R&S®EMC32は、非常に高い市場占有率を誇る業界最先端のEMCテストソフトウェアです。産業／研究セクターで成熟したソフトウェアが成功を収め、世界中へと拡散したため、ローデ・シュワルツは本ソフトウェアを技術の進歩に従って定期的に拡張し、規格の変更に対応していく責務を担っています。

このような取り組みにより、新しいR&S®ELEKTRA EMCテストソフトウェアが生まれました。しかし、現在の構成は、R&S®EMC32のすべてのユースケースをカバーしているわけではありません。R&S®ELEKTRAは、最新の開発プラットフォーム、高性能グラフィックライブラリ、統合されたデータベースを基盤としていて、EMCテスト手順のすべてのステップを短時間でナビゲーションする便利なユーザーインタフェースを提供しています。ソフトウェアはあらゆる出力デバイスおよび解像度に拡張可能で、タッチスクリーンとスプリットスクリーンの操作をサポートしています。接続されているシステム機器の自動検出／設定により、EMCテストラボでの作業が非常に簡単になります。現在はEUTが、設定、実行、結果表示の対象になっています。通常はEUTに複数のEMCテストが必要なので、それらはテストプランにあらかじめ定義されていて、最後に一括してドキュメント化されます。

EMI規格	説明
CISPR 11	産業科学医療（ISM）無線周波数機器 - 電磁波妨害特性評価 - 測定リミット／手法
CISPR 12	車両、船舶、内燃エンジンで動作する機器 - 無線波妨害特性評価 - 当該および近隣の車両／船舶／機器が搭載しているもの以外のレシーバーを保護するための測定リミット／手法
CISPR 14	電磁環境適合性 - 家庭用電気器具、電気工具、類似装置用の要件
CISPR 15	電気照明および類似機器の無線波妨害特性評価測定リミット／手法
CISPR 25	車両／船舶／内燃エンジン - 無線波妨害特性評価 - オンボードレシーバーを保護するための測定リミット／手法
CISPR 32	マルチメディア機器の電磁環境適合性 - エミッション要件（CISPR 13およびCISPR 22の置き換え）
MIL-STD-461	サブシステムおよび機器の電磁波障害特性評価の制御要件（CE102、RE102）
ISO 11451	路上走行車 - 狭帯域放射性電磁波エネルギーからの電気妨害波向けの車両テスト手法
ISO 11452	路上走行車 - 狭帯域放射性電磁波エネルギーからの電気妨害波向けの車両テスト手法

図1：現在、R&S®ELEKTRAでサポートされている、放射性／導電性エミッション測定のEMI規格の例。

便利な機能による効率の向上

R&S®ELEKTRAの豊富なライブラリは、テスト規格に準拠した、必要なテストセットアップやコンポーネントに関する情報を提供します。ソフトウェアは、コンピューターやネットワークに接続されている電子計測器やシステムコンポーネントを自動的に検出します。これにより、テストの開始や実行に必要な設定数が最小化されます。すべての設定が適正であることを事前に確認するために、実際の測定器や暗室を占有しなくても、ソフトウェアでプロセスをシミュレートできます。

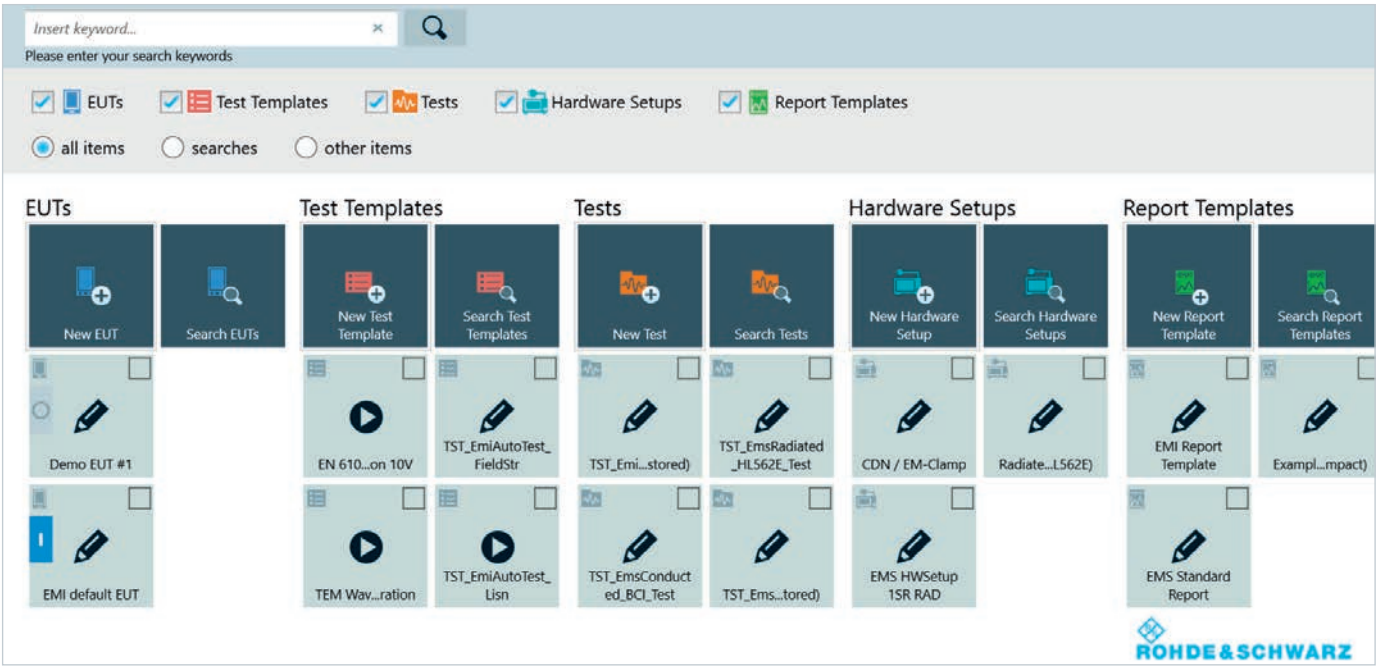
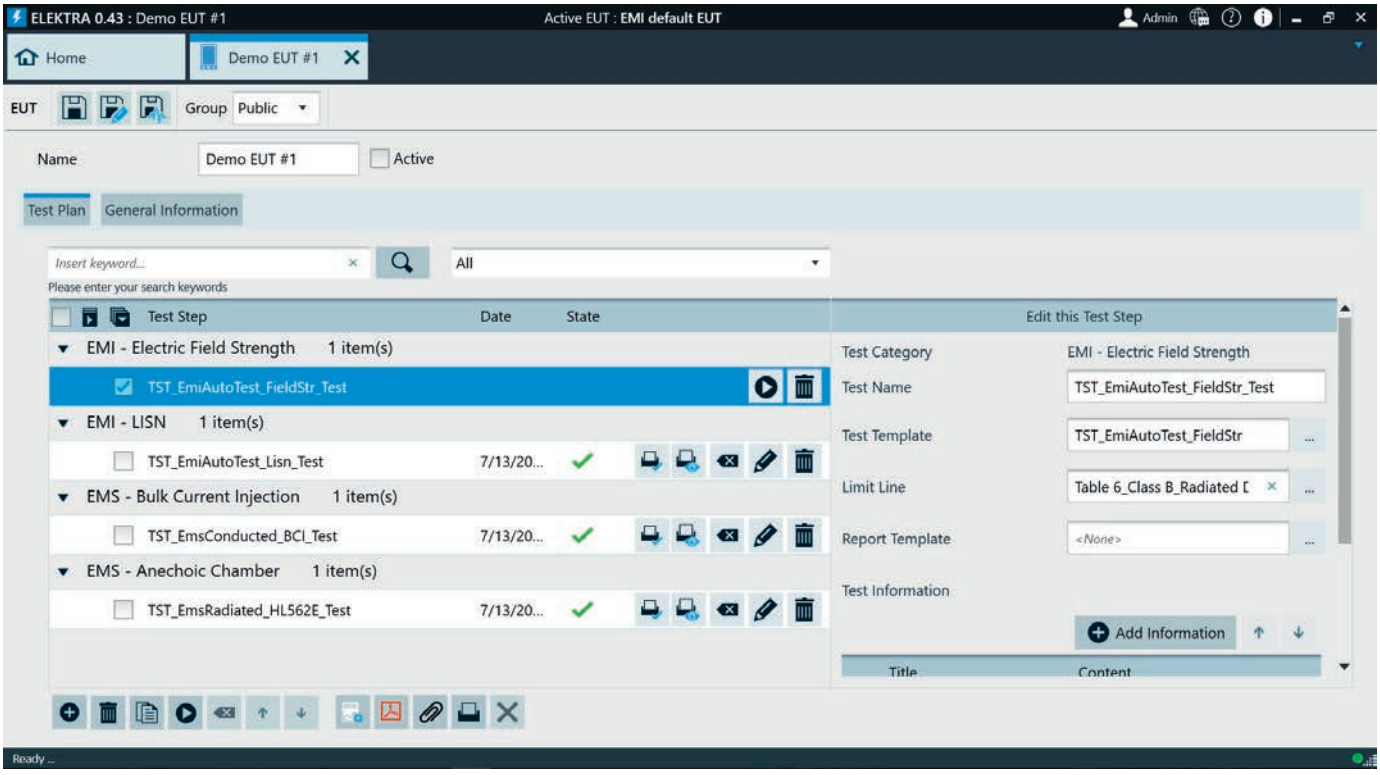


図2：複雑な測定向けの制御センター：瞬時にアクセスできるタイル型シンボルを使用できるダッシュボード。

図3：さまざまなサブテストを含むテストプラン。



ユーザーが、測定作業に必要なすべてのリンクタイルをダッシュボードに配置します（図2）。例えば、周波数バンド／キーワード／規格に対してフィルター機能を使用すれば、表示を減らして重要なものだけを表示できます。テスト用の重要な設定／パラメータは、いつでも表示したり編集したりできます。リミットラインにエラーがある場合は、テストシーケンスの記述の中で容易に修正できます。パワーメータが接続されていない場合も、問題ありません。テスト中であっても、簡単にハードウェアセットアップに追加できます。

測定プロセス中に、レポートの作成、テストの定義、結果の比較などの別作業も可能です。全体を管理できるように、テストプランでは広範なテストシーケンスのサポートが可能です。各EUT向けにどのテストを実行しなければならないのかを、事前に指定できます（図3）。また、個々の測定のステータスが表示されます。マウスのクリックにより総括的なレポートを作成でき、これをR&S®ELEKTRAの構造化／書式設定機能によって最適化できます。また、外部のワード・プロセッシング・プログラムを使用して編集することもできます。

R&S®ELEKTRAは、既にR&S®EMC32で問題なく使用されている汎用デバイスドライバーを備えたサードパーティー製ハードウェアをサポートしています。ユーザーは、必要なリモート制御コマンドをダイアログウィンドウで設定できます。

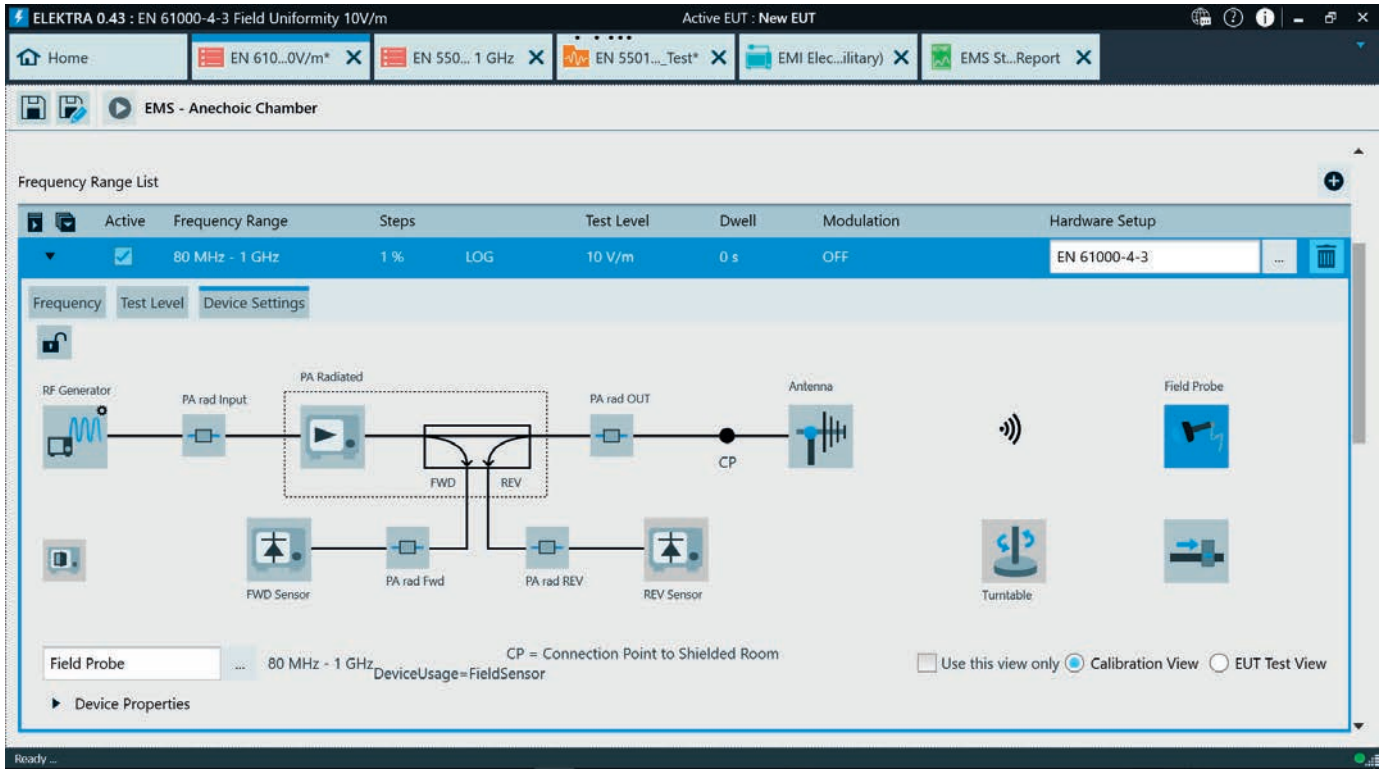
移行ウィザードで既存のハードウェアセットアップとテストテンプレートをインポートできるので、R&S®EMC32からR&S®ELEKTRAへの移行が簡素化されます。当然ながら、両ソフトウェアパッケージを同じPCにインストールできます。複数バージョンのR&S®ELEKTRAもインストール可能です。必要に応じて特定の状況に適切に対応したい場合は、すべてのR&S®ELEKTRAバージョンをオンデマンドで使用できます。これは例えば、最終顧客の認証が特定のバージョンしかサポートしていない場合に便利です。

まとめ

新しいモジュール／機能によって、R&S®ELEKTRAは、開発中に使用するEMI測定用ツールから、複雑な認証システムの自動化／制御向けの制御センターへと進化しました。EMS測定向けに、R&S®ELEKTRAとR&S®AdVISEを組み合わせれば、商業規格に準拠した感受性測定とEUTモニタリングにも対応できます。ソフトウェアは継続的に修正／更新され、今後追加される規格も将来にわたりサポート予定です。

Reiner Götz

図4：対話型シンボルを用いたグラフィック表記により、いつでもテスト設定を瞬時に変更できます。



目視よりも高い信頼性：目視検査の完全自動化

R&S®AdVISE ビデオベースのモニター／解析システムは、電磁感受性測定中に、動作不良を自動的に完全に検出します。これにより、人がテストプロセスから目を離してしまうという状況がなくなり、再現性の高いテスト結果が保証され、ドキュメント化が簡素化されます。

R&S®AdVISEは、EUTの特性を視覚的にモニターする必要があるすべての場所に最適なツールです。初期の開発段階のEUTには、エンターテインメント電子機器、車載ディスプレイ、専門デバイス／システムが含まれています。新しいバージョン3では、ソフトウェアが完全に再デザインされました。新しい機能の追加、リモート制御インタフェースに対する拡張、操作性の改善が行われています。

一般的なR&S®AdVISEアプリケーションは、R&S®EMC32またはR&S®ELEKTRA EMCテストソフトウェアを使用した電磁感受性（EMS）測定です（図1）。

電磁波がシールドされたHDTVカメラが、テストサイクル中に電波暗室でEUTを撮影します。R&S®AdVISEは、定義済みの要件に基づいてリアルタイムでビデオ信号を評価し、測定ソフトウェアに変化をレポートします。これによりテストログが作成されます。R&S®AdVISEは、評価されたビデオを記録してイベントリストを作成します。

テスト中でもEMCテストソフトウェアは、周波数、妨害波レベル、変調、アンテナ位置などのテストパラメータをR&S®AdVISEに転送できます。その際に、それらは記録されたビデオにスーパーインポーズされます。これにより、イベントを特定のテスト条件に割り当てられるようになります（図2）。

ユーザーは、内蔵ビデオプレイヤーのイベントリストでエントリーをクリックして重要な状況を選択／表示して、レポートにクリップやスチールを組み込むことができます。

必要に応じてリモート制御インタフェースを介して、R&S®AdVISEをユーザー独自の制御プログラムに統合できます。測定は手動でも制御できます。ログは、内部イベントリストに基づいて作成できます。

光モニタリングシステムを備えた電波暗室

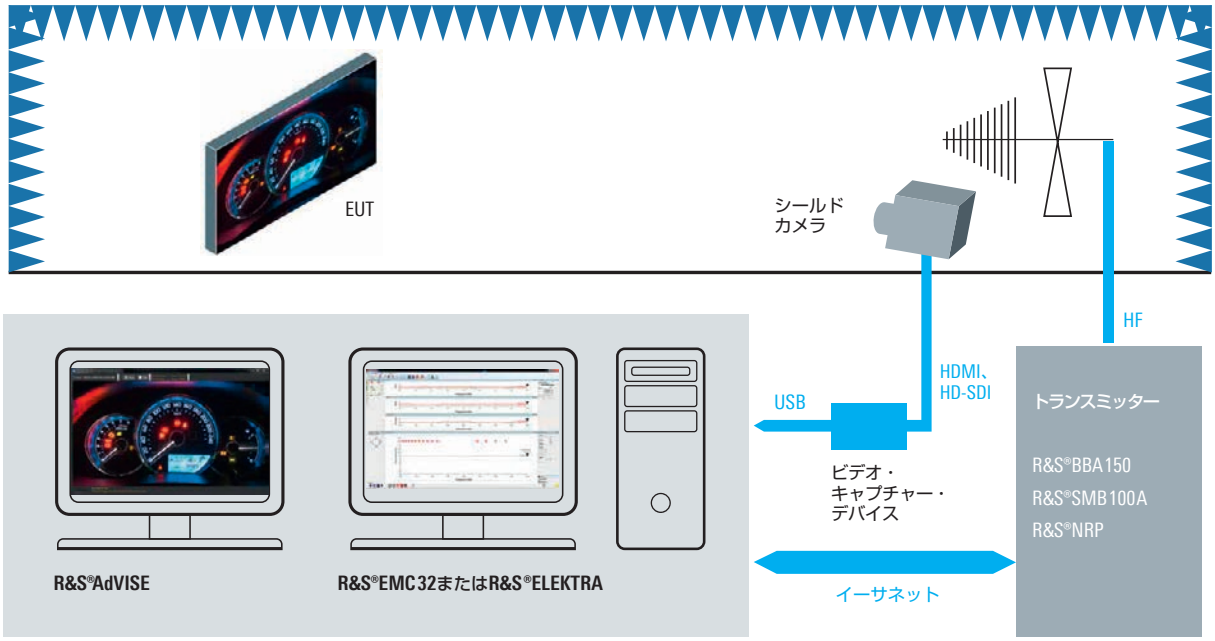


図1：R&S®EMC32またはR&S®ELEKTRA EMCテストソフトウェアによって制御されたEMSテストシステム内のR&S®AdVISE。

関心領域（ROI）を使用して、イメージを解析できます。ユーザーがビデオイメージに印をつけて、適した解析手法に割り当てます(図3)。最大32個のROIを同時にモニターできます（R&S®ADV-K1032オプション）。この手法により、R&S®EMC32またはR&S®ELEKTRA EMCテストソフトウェアを同じプラットフォームで実行できるだけの十分なコンピューティング能力を残すことができます。

解析エンジンは、ターンランプ、点滅灯、後部霧灯、作動エレメント、アナログインジケーター、マーク表示、数値表示、警告灯、走行/前照灯などの一般的なすべての表示要素に対応します。それらを個別要素として扱うことができ、または画面上に表示できます。

R&S®AdVISEはカメラ信号を解析できるだけでなく、R&S®ADV-K1050 仮想カメラオプションを使用して既存のビデオ記録を評価できます。

R&S®AdVISEは、最小要件を満たしたWindows™7/10搭載のPCで動作します。ビデオ信号供給用の特殊なインタフェースは必要ありません。ビデオ信号は、上流の既製ポータブル・キャプチャー・デバイスによって、標準USB 3インタフェースを介して送られます。そのため、HDMIまたはHD-SDIインタフェースを備えたあらゆるカメラ機器と連携してシステムを使用できます。

まとめ：最新バージョンのR&S®AdVISE 視覚モニタリングシステムでは数分の設定作業だけで時間のかかる作業を自動的に行うことができ、非常に些細で不要なイベントでも見落としていないことを確認できます。

Harald Ibl、Doug Jones

図2：EMSテストから得られた、スーパーインポーズ情報付きのテスト表示。すべての表示要素はROIとして指定済みで、変化がモニターされています。

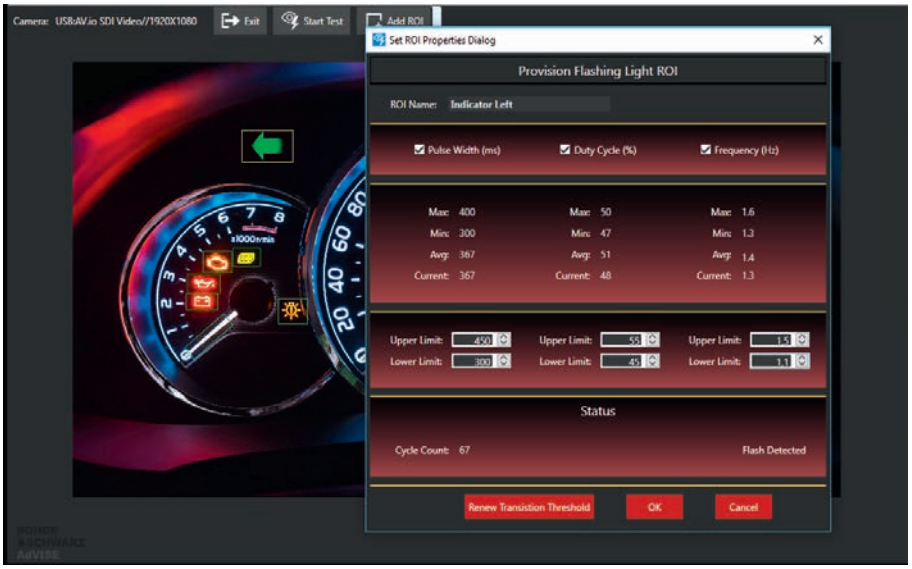


図3:ROI点滅式による点滅する原因のモニタリング。

新しいR&S®RTP オシロスコープファミリーによるリアルタイムのシグナルインテグリティー

新しいR&S®RTP ハイパフォーマンス・オシロスコープは、優れた測定確度、速度、多彩な機能を備え、開発中のデバッグ作業に最適です。高速デジタルインタフェース、広帯域無線インタフェース、高度なエンベディッドデザインの要件に適した機能と性能特性を備えています。

図1：R&S®RTP オシロスコープは、社内開発のASICとリアルタイムのハードウェア・シグナルプロセッシングにより、このクラスの新しい性能基準を打ち立てます。

ラボでの日常作業に役立つ多彩な機能

R&S®RTP オシロスコープには、4 GHzから8 GHzまでの3種類の帯域幅が用意されており、ラボでの測定のための多彩な機能を備えています。コンパクトな筐体に、複数の測定器の機能が統合されています（図1と2）。

4つのアナログチャネルは、高速インタフェース、クロック信号、広帯域トランスミッターのタイムドメイン測定に対応します。入力信号を周波数ドメインで解析することもできます。操作はスペクトラム・アナライザに似ており、スタート周波数、ストップ周波数、分解能帯域幅といった代表的な設定パラメータを使用します。高い収集速度と、対数軸スケーリングやウォーターフォールダイアグラム（スペクトログラム）といった機能により、間欠的なEMIの探索が容易になります。R&S®VSE ベクトル信号解析ソフトウェアオプションを使用して、詳細な信号解析を実行できます。

最大16のデジタルチャネル（400 MHz帯域幅）は、I^2C、SPI、CANなどの比較的低速なプロトコルベースの制御／プログラミングインタフェースの解析に最適です。

2つの任意波形100 MHzアナログ出力と8つのデジタル・ファンクション・ジェネレーター・チャネルを備えたジェネレーターオプションも利用できます。オシロスコープにR&S®RT-ZVC オプションを装備することで、最大16の1 MHzチャネル（垂直軸分解能18ビット）を追加して、高精度の電圧／電流測定に使用できます。

主な特長

- 帯域幅（4つのアナログチャネル）
  - R&S®RTP084：8 GHz
  - R&S®RTP064：6 GHz
  - R&S®RTP044：4 GHz
- サンプリングレート：各チャネル20 Gサンプル／秒
- 捕捉メモリ：
  - 各チャネル50 Mサンプル
  - 最大2 Gサンプル
- 16のデジタルチャネルを備えたミックスド・シグナル・オシロスコープ
  - 400 MHz 帯域幅
  - 5 Gサンプル/秒のサンプリングレート
  - 200 Mサンプルのメモリ容量

特別な機能として、差動パルスソース（パルス立ち上がり時間22 ps、帯域幅16 GHz）をインストールして、DUTの入力信号源として使用したり、信号線の伝送／反射テスト（TDT/TDR）に使用したりできます。

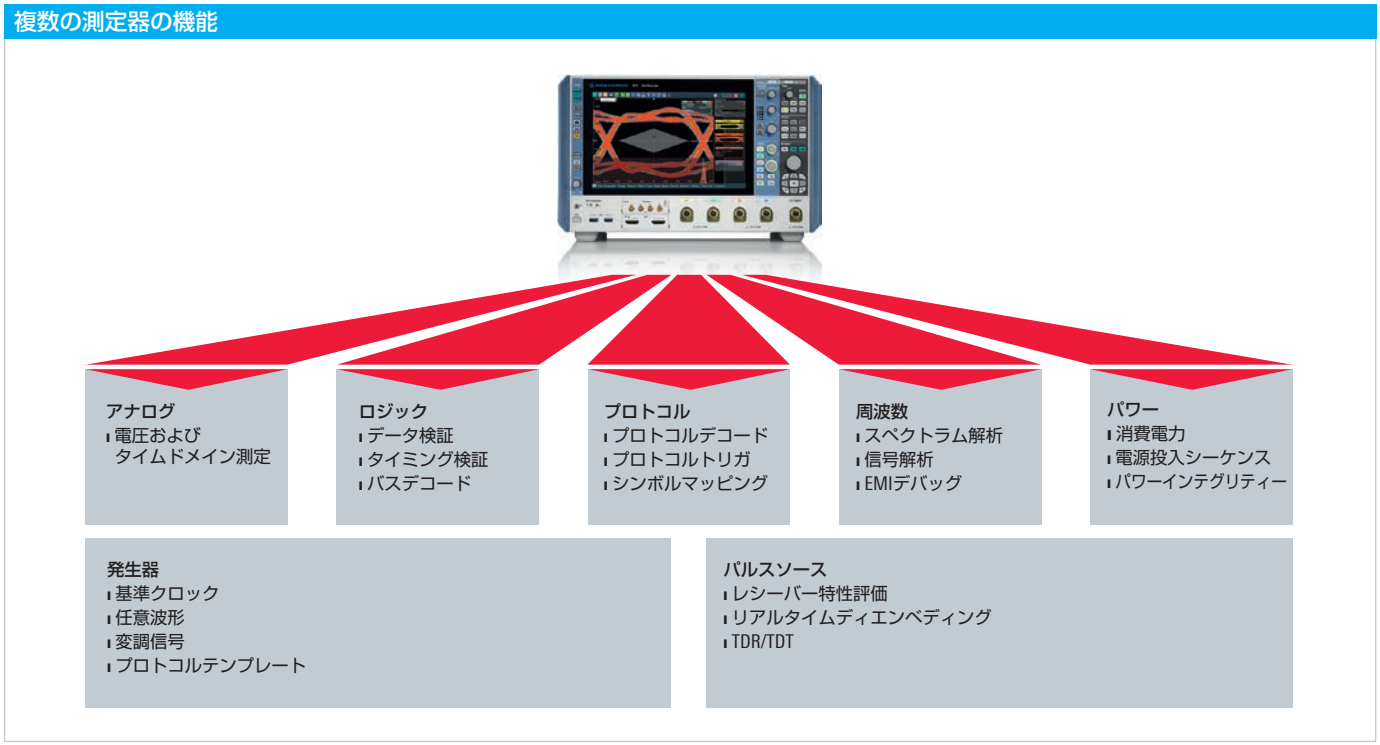


図2：R&S®RTPオシロスコープは、コンパクトな筐体に複数の測定器の機能を統合しており、ラボベンチのスペース節約に役立ちます。

リアルタイムのシグナルインテグリティー

R&S®RTP の高い測定確度を支える要素の1つが、社内開発されたアナログ入力コンポーネントです。入力増幅器、サンプラー、A/Dコンバーターは、高感度と広いダイナミックレンジを目標に設計されています。A/Dコンバーターの後に置かれた特別なフィルターにより、測定確度がリアルタイムで最適化されます。この特別機能によって、例えば、全帯域幅で1 mV/divという最小垂直軸スケールが得られ、小信号測定に効果的です。また、±0.25 dBというきわめてフラットな周波数応答と、45 dBc未満のスプリアスフリー・ダイナミックレンジも得られ、広帯域信号のタイムドメインと周波数ドメインでの正確な測定が可能です。

独自のリアルタイム補正によって、高い収集速度、超高精度のトリガ機能、およびケーブル、コネクタ、PCB構造などの信号経路要素の革新的なリアルタイム補正（ディエンベディング）が実現されます。

デバッグに役立つ高い収集速度

R&S®RTPは、デバッグに最適です。信号収集／処理用の特別なASICを使用して波形を並列に処理することで、PCリソースで実行する場合よりも高速な処理が可能だからです。これにより、従来のオシロスコープに比べてブラインドタイムが大幅に短縮され、頻度の低い散発的なエラーを、より高速に高い信頼性で検出できます（図6）。

R&S®RTPの最大収集速度は、毎秒100万トレース近くに達します。そのために、機能制限のある特殊な測定モードを使用する必要はありません。また、これはセグメントモードとは異なります。セグメントモードでは、捕捉メモリに一度に書き込める波形の数を制限することで、ブラインドタイムを短縮しています。R&S®RTPの

真に実用的なディエンベディング

伝送損失を補正するためのディエンベディングは、広帯域オシロスコープで一般的に使用される手法です。収集した波形を補正フィルターで後処理することで、接合部の反射や誘導性／容量性負荷による損失などの誤差を補正します。ただし、後処理の計算には通常時間がかかり、オシロスコープの応答速度が下がるため、ユーザーはディエンベディング機能の使用を避ける傾向があります。

ローデ・シュワルツは、新しいアプローチによるディエンベディングをR&S®RTPで採用しました（アプリケーションカード「R&S®RTPによるリアルタイムディエンベディング」を参照）。A/Dコンバーターの直後にあるリアルタイムディエンベディング用フィルターの構造は、柔軟な設定が可能であり、伝送特性を個々のテストセットアップに応じて調整することができます。操作は簡単です。ユーザーは最初に、伝送経路上の個々の要素を設定ダイアログで指定します。このダイアログでは、ケーブル、アダプター、テストフィクスチャといったコンポーネントを選択できます（図3）。

次のステップでは、伝送損失とインピーダンス整合を記述するSパラメータをロードします（図4）。最後のステップでは、ディエンベディングソフトウェアが信号チェーン全体の伝送特性を収集して、対応する補正フィルターを計算し、結果のフィルターがハードウェアにロードされます。

その後の測定には、リアルタイムディエンベディングが適用されます。これにより、伝送損失の影響を受けずに、DUTで発生したのと正確に同じ波形が表示され、時間のかかる後処理計算に伴う遅延も起こりません（図5）。

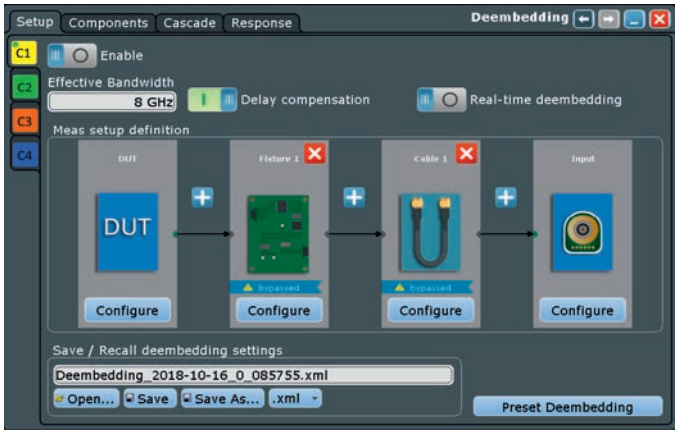
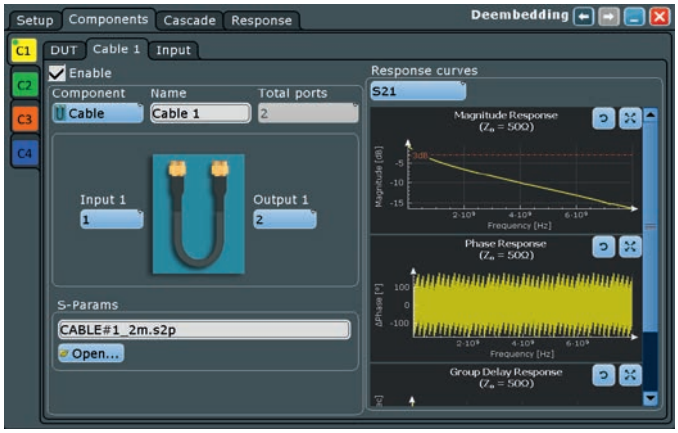


図3:DUTとオシロスコープ入力の間の伝送コンポーネントによる信号経路設定。

図4：オシロスコープにロードされたケーブルのSパラメータ（s2p）。



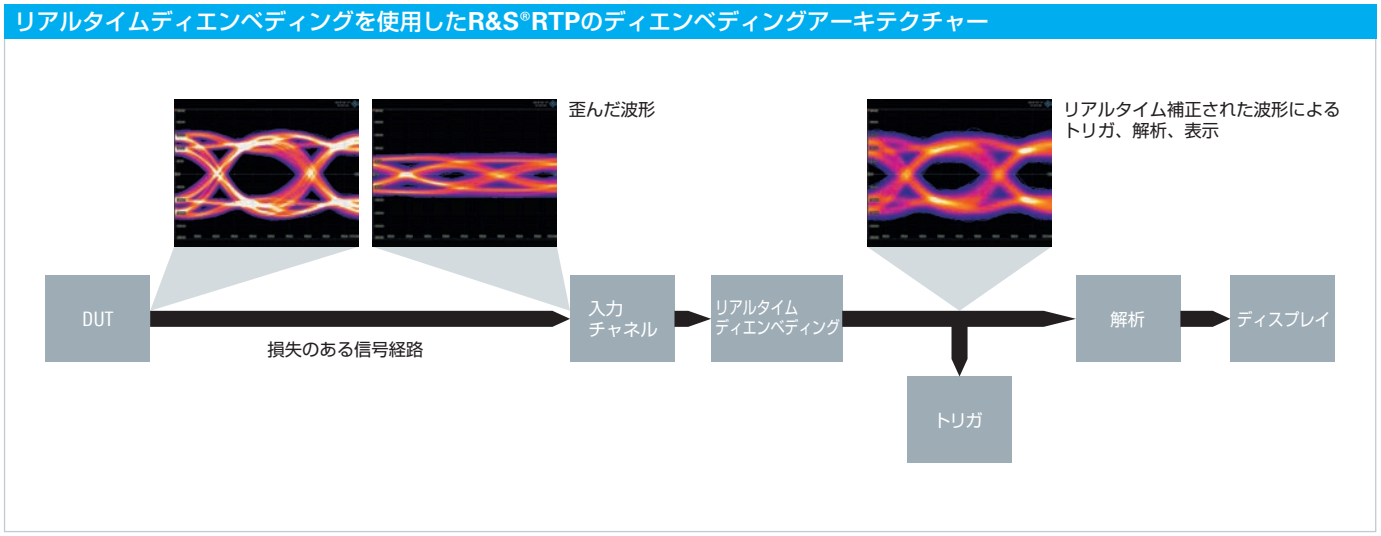


図5：ディエンベディング機能は、伝送損失の影響を受けない波形を、時間のかかる後処理計算による遅延なしで表示します。

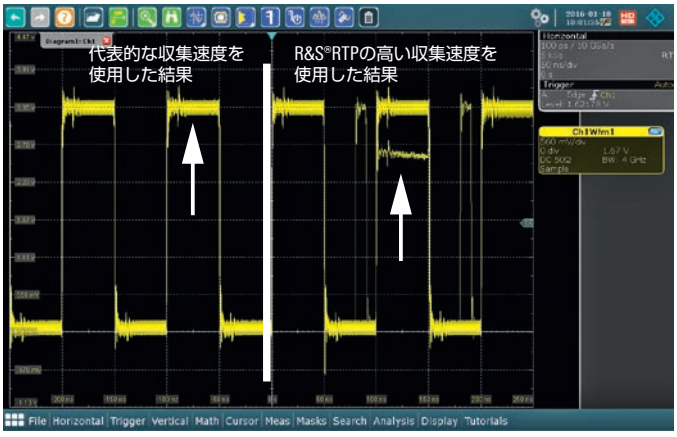
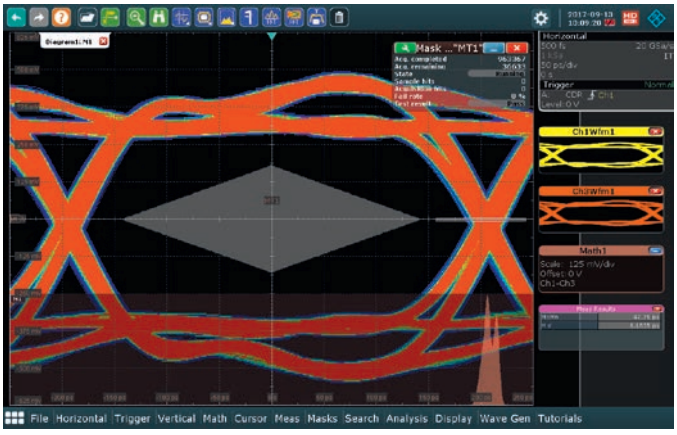


図6：R&S®RTPは、毎秒最大100万トレースの収集速度により、間欠的な異常も短時間で検出できます。

図7：高い収集速度でマスクテストやヒストグラムを使用することで、デバッグや信号特性評価の結果を短時間で得ることができます。



高い収集速度は、ズームやカーソルといった解析ツールでも、マスクテストやヒストグラムでも利用できます。これにより、エラーの発見や、信号の静的特性の解析が容易になります（図7）。

精密なトリガ

デバッグや目標を絞った信号解析では、一般的に特定の信号特性に焦点を当てることが求められます。そのために、カスタムトリガ条件が使用できます。これは、従来のオシロスコープの場合、トリガシステムの感度の制限と、複雑なトリガ形式に対する帯域幅の制限のために困難でした。このようなオシロスコープの場合、長いトレースをエッジトリガで収集して、その中を検索する以外に方法がありませんでした。

R&S®RTPは、ローデ・シュワルツのオシロスコープでおなじみのデジタルトリガ・システムを備えています。このシステムは、A/Dコンバーターからのサンプルを使用し、常に現在の波形に対して作用します。デバイスの全帯域幅までのすべてのトリガイベントに、125 fsの時間分解能で応答できます（図8）。例えば、R&S®RTP084 8 GHzモデルは、最小50 ps幅のパルスで信頼性の高いトリガを発生できます。0 divから5 divの間で連続的に調整可能なヒステリシスと組み合わせることで、最小限のヒステリシスを使用してきわめて小さい信号振幅でトリガすることができます。大きいヒステリシスを使用すれば、ノイズの多い信号でも安定したトリガが得られます。

トリガシステムはリアルタイムディエンベディング・フィルターの後で信号を取り込むので、ディエンベディングによって補正された信号によってトリガすることが初めて可能になりました。16ビットの高分解能収集モードを使用すれば、高い垂直軸分解能をトリガシステムで利用できます。

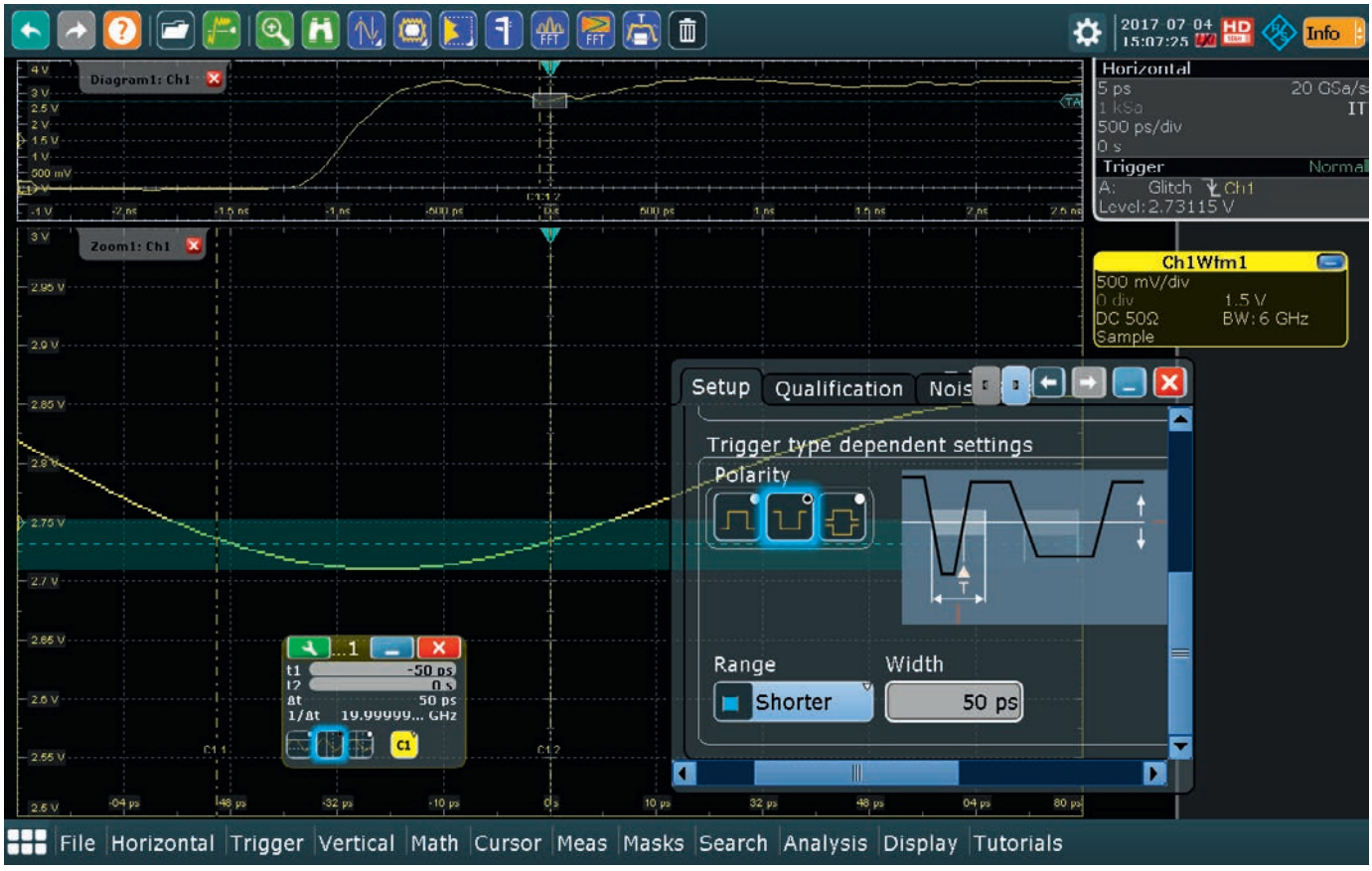


図8:R&S®RTPのデジタルトリガ·システムでは、すべてのトリガタイプが測定器の全帯域幅まで使用可能です。例えば、最小幅50 psのパルストリガが使用できます。

このようなトリガシステムの優れた機能によって、目標を絞った信号解析のさまざまな可能性が開けます。無線信号や高速デジタル信号による精密なトリガが可能です。

周波数ドメインの解析

R&S®RTPの4つのアナログ入力チャネルは、周波数ドメインの信号解析に容易に使用できます。フロントエンドの優れた特性により、高い測定確度が得られます。FFT計算はきわめて高速なので、スペクトラムの間欠的な信号成分も捕捉できます。

スペクトラム解析機能の設定は簡単です。周波数スパンと必要な分解能帯域幅を入力すると、オシロスコープのソフトウェアが自動的に収集インターバルを決定します（図9）。カーソルや自動周波数ドメイン測定といった標準のツールが、信号評価に使用できます。オプションのスペクトログラム機能、ピークリスト機能、対数軸スケーリングにより、解析の可能性が広がります（図10）。

マスクテストとズームトリガによるEMIデバッグ

電子回路の電磁波障害の解析は、開発作業の重要な部分です。R&S®RTPのようなオシロスコープは、コンポーネント間の相互干渉をデバッグし、アイソレーションやデカップリングの手段をテストするために便利です。R&S®RTPは、EMC承認テストの準備にも役立ちます。開発ラボでのプリコンプライアンステストにオシロスコープを使用することで、専用のEMCラボでのEMCテストに合格する可能性を高めることができます。

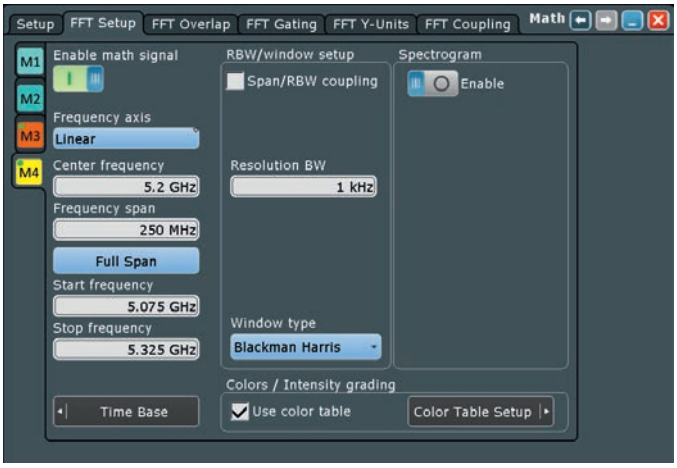


図9：代表的なスペクトラム・アナライザ・パラメータを示すFFT入力ダイアログ。

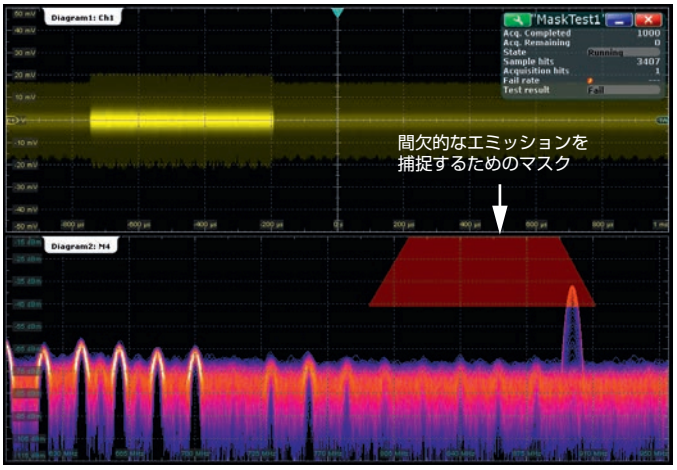


図11：EMIデバッグやEMCプリコンプライアンステストに使用できる
スペクトラムのマスクテスト。

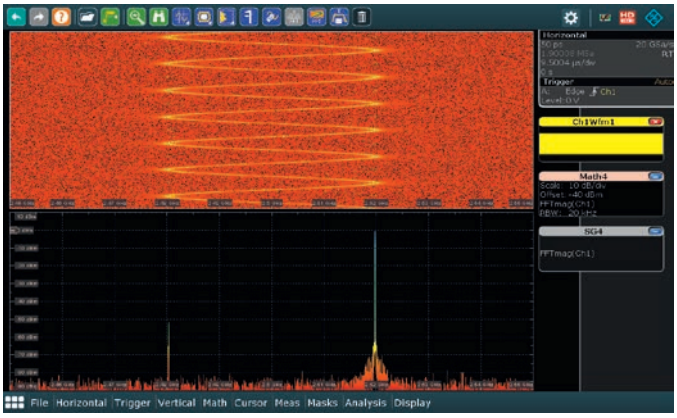


図10：スペクトログラムオプションによる周波数変調信号の解析。

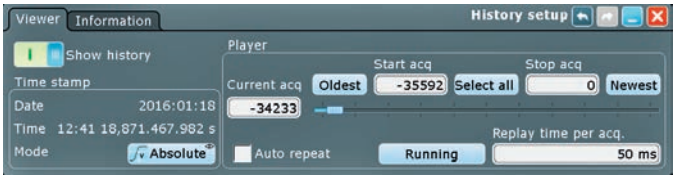


図12：ヒストリー機能を使用すれば、捕捉メモリ内のすべての波形に
アクセスできるので、収集後に解析を行うことができます。

マスクテストは、このような作業で重要な役割を果たします。この機能を使うと、スペクトラムが侵入してはならない領域を画面上に定義できます（図11）。R&S®RTP オシロスコープによる信号の収集と処理はきわめて高速なので、間欠的な違反も短時間で発見できます。ゾーントリガも、EMIデバッグに使用できる強力な機能です。この機能でも、画面上に定義された領域（ゾーン）が用いられます。設定に応じて、ゾーンへの侵入が発生した場合または発生しなかった場合のみ波形が表示されます。

複数の波形が記録された場合、ヒストリー機能を使用して後で表示して解析できます（図12）。R&S®RTPにはオプションで1チャネルあたり2 Gサンプルのメモリを搭載できるので、きわめて長時間の解析が可能です。

マルチチャネル広帯域RF信号解析

R&S®RTPは、優れた測定確度と入力感度により、最高8 GHzのRF信号の同期マルチチャネル測定に最適です。これは、無線LAN IEEE 802.11ac、新しく登場した5G New Radioといった無線信号や、車載用、航空用、軍事用レーダー信号に当てはまります（図13）。

オシロスコープとR&S®FSW シグナル・スペクトラム・アナライザを組み合わせることで、最高85 GHzのさらに高い搬送波周波数での測定が可能です。最大実効解析帯域幅は5 GHzです。

オプションのR&S®VSE ベクトル信号解析ソフトウェアを使用すれば、デジタル変調されたRF信号を解析できます。ベースオプションは汎用のI/Q解析機能を備え、アナログ復調をサポートします。

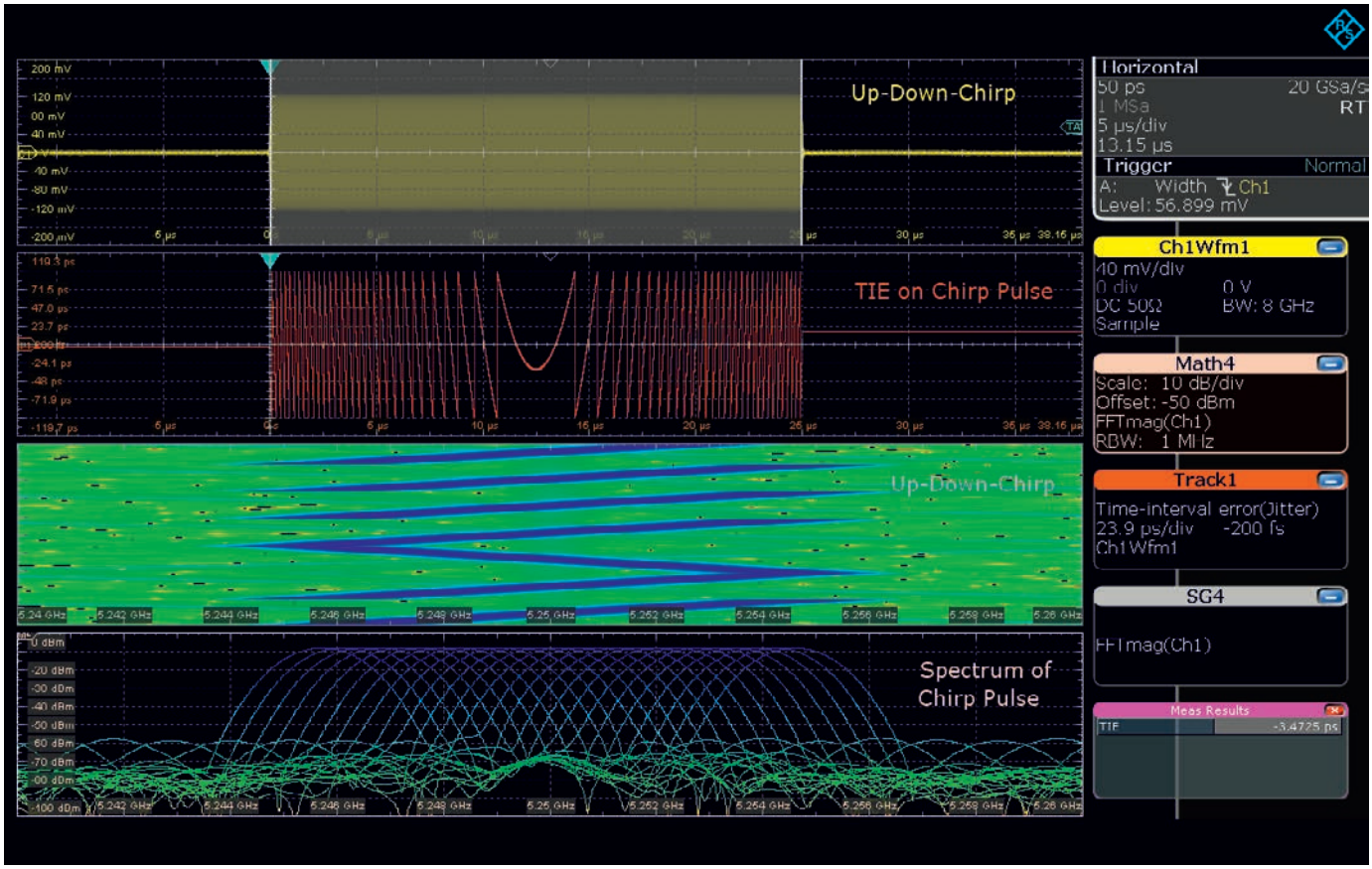


図13：タイムドメインと周波数ドメインでのアップ／ダウンチャープのパルス解析。

Windowsベースのソフトウェアは、オシロスコープ上でも別のPC上でも使用できます。

ベースソフトウェアは、モジュールによって拡張できます。

- R&S®VSEベースソフトウェア：I/Qアナライザ
- R&S®VSE-K6：パルス解析
- R&S®VSE-K7：AM/FM/PM変調解析
- R&S®VSE-K60：トランジェント解析
- R&S®VSE-K70：ベクトル信号解析
- R&S®VSE-K96：OFDM解析

独自の変調プロトコルを使用している場合、R&S®RTPをMATLAB®などの外部解析ツールに接続することで、最大限の柔軟性が得られます。

ラボベンチ上のスペースの節約

R&S®RTPは、優れた機能と性能にもかかわらず、非常にコンパクトで静音です。このため、ラボでの使用に最適です。ユーザーの要件の変化に対応するため、フロントパネルとリアパネルにそれぞれ2つずつのオプションスロットが用意されています。これらのスロットでは、16チャネル400 MHzミックスド・シグナル・オプション、100 MHzの任意波形チャネル2つとデジタルチャネル8つを備えたユニバーサル・ジェネレーター・オプション、またはすでに紹介した差動パルスソースを使用できます。

さまざまなアプリケーション向けのソフトウェアオプションも用意されています。例としては、低速および高速プロトコル（I^2C、UART、CAN-FD、イーサネット、USB 3.1など）用のトリガ／デコードオプション、コンプライアンステスト（PCI Express、DDR3など）、一般解析オプション（ジッタ、ディエンベディングなど）、RF信号解析オプション（図14と15）などがあります。

メモリ長と帯域幅も、ソフトウェアライセンスによって容易にアップグレードできます。標準メモリは、1チャネルあたり50 Mサンプルから最大2 Gサンプルまで拡張できます。現在利用可能な帯域幅範囲では、R&S®RTPモデルは4 GHzから6 GHzまたは8 GHzまで拡張できます。2019年には、同じ機器形式でさらに広い帯域幅のモデルが追加される予定です。

まとめ

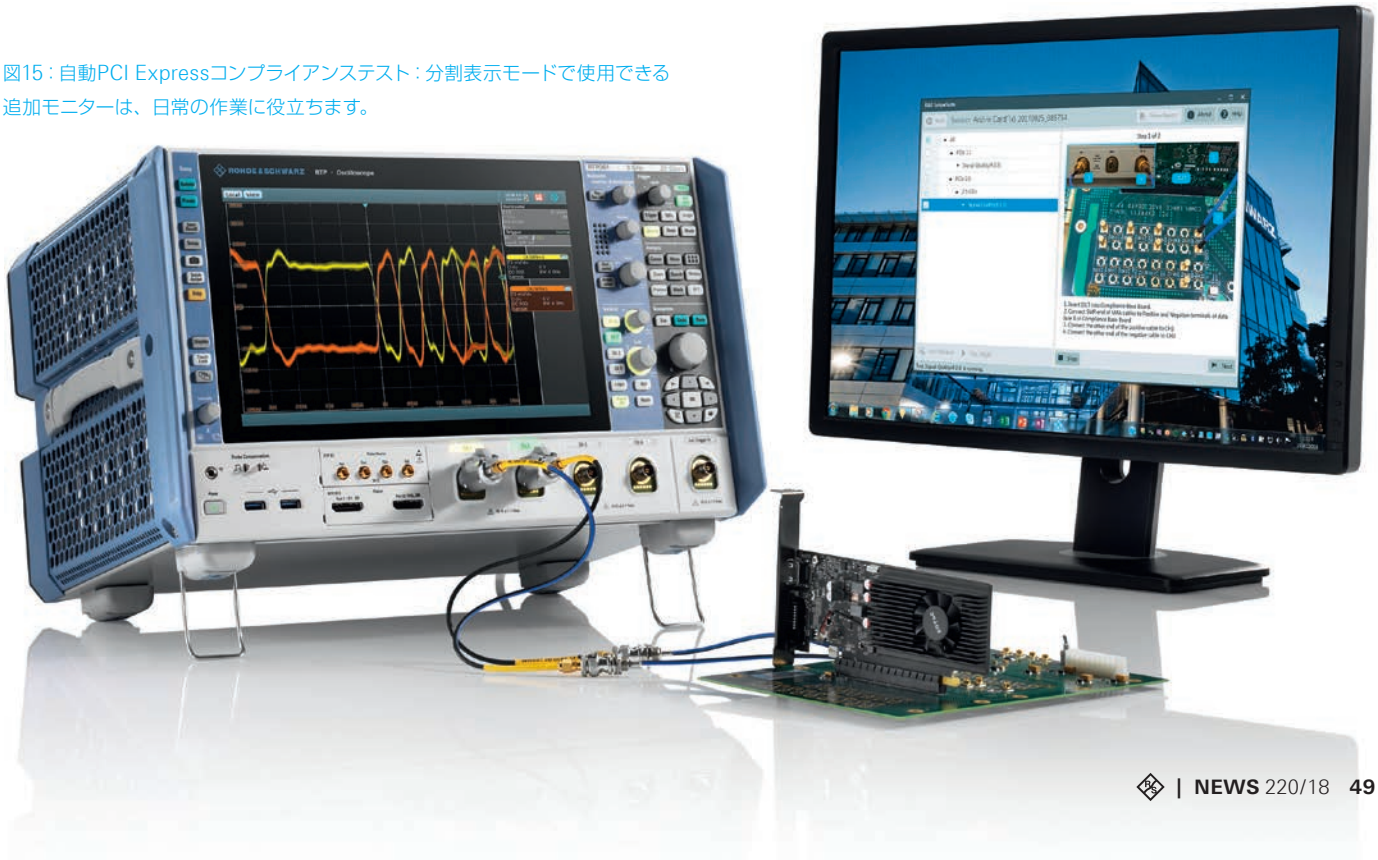
高性能のR&S®RTPファミリーは、ローデ・シュワルツのオシロスコープポートフォリオを拡大するものです。これらのモデルは広帯域幅で、さまざまな分野の組み込みアプリケーションの高速バスインタフェースや広帯域無線信号の高度化する要件に応えます。コンパクトな筐体でありながら、確度、速度、機能の多彩さ、将来への対応性に優れており、ラボでの日常の測定に最適です。

Guido Schulze

R&S®RTPのコンプライアンステスト・オプション	
インタフェース規格	**オプション**
USB	
1.0/1.1/2.0/HSIC	R&S®RTP-K21
イーサネット	
10/100 Mビット	R&S®RTP-K22
1 Gビット	R&S®RTP-K22
2.5G/5GBASE-T	R&S®RTP-K25
10 Gビット	R&S®RTP-K23
10M/100M/1GBASE-T Energy Efficient Ethernet	R&S®RTP-K86
車載イーサネット	
100BASE-T1 BroadR-Reach®	R&S®RTP-K24
1000BASE-T1	R&S®RTP-K87
PCI Express	
1.1/2.0（最大2.5 GT/s）	R&S®RTP-K81
MIPI	
D-PHY	R&S®RTP-K26
メモリ	
DDR3/DDR3L/LPDDR3	R&S®RTP-K91

図14：R&S®RTPのコンプライアンステスト・オプションは、さまざまなインタフェースに対応します。

図15：自動PCI Expressコンプライアンステスト：分割表示モードで使用できる追加モニターは、日常の作業に役立ちます。



DDR3メモリ インタフェースの トラブルシューティング

DDR3 SDRAMモジュールを使用する回路をデザインする際には、高速データラインのシグナルインテグリティーを確認するためのソリューションが必要です。新しいR&S®RTO-K91/R&S®RTP-K91オシロスコープオプションでは、リード／ライトサイクルのデコード、アイパターンの表示と解析、DDR3/DDR3L/LPDDR3規格に対する自動コンプライアンステストといった有用なツールが提供されます。

DDR3 SDRAM使用時のシグナルインテグリティーの課題

DDR3規格は、2007年にJEDECコンソーシアムによって発行されました。DDR4メモリはすでに数年前から市場に出ており、DDR5規格は現在精力的に策定が進められています。それにもかかわらず、DDR3メモリは多くのアプリケーションにとって引き続き魅力的です。コストが低く、信頼性が高く、コンパクトで、大きいデータ容量と十分なデータ速度を実現できるからです。バッテリー動作のモバイルアプリケーションなど、消費電力の最適化が必要な場合には、DDR3LおよびLPDDR3規格に準拠したバージョンも利用できます。

DDR3規格では、データレートが800 Mbit/s～2133 Mbit/sのメモリコンポーネントが規定されています。このような高速なデータレートは、産業、医療、自動車などのアプリケーションでは一般的になじみがなく、高度に集積された電子モジュールのテスト要件は対応が困難です。

最も重要なこととして、メモリコンポーネントには仕様の許容範囲内の安定した供給電圧が必要であり、他の機能ユニットからの干渉信号が混入しないようにする必要があります。また、高いデータレートをサポートするために、メモリインタフェース信号線の正しい設計にも注意が必要です。これには例えば、伝送経路全体（ビアの変換器、コネクタ、リレーなどを含む）での十分な帯域幅、データ信号とクロック信号のライン長の一致、他のインタフェースや機能ユニットによるクロストークからの高データレートのラインの保護などが含まれます。

さらに、回路をデザインする際には、DDR3メモリインタフェースのシグナルインテグリティーを評価し、トラブルシューティングを行うための包括的なテスト機能が不可欠です。

この用途に最も多く用いられる測定器は、オシロスコープです。オシロスコープはシグナルインテグリティー・テストのためのさまざまなオプションを備えているからです。例えば、JEDEC仕様に準拠した動的電圧およびタイミングテスト（コンプライアンステスト）や、重要な解析ツールであるアイダイアグラム・テストなどです。

アイダイアグラム・テスト

DDR3インタフェースはパラレルバス構造を採用しており、8本のシングルエンド・データ・ライン（DQ 0 ～ DQ 7）の組に対して、差動ストローブ信号（DQS）によってクロックが供給されます（図1）。個々のDQ信号のアイダイアグラムでは、送信ビットはDQSクロック信号の立ち上がり／立ち下がりエッジに対応します。

アイダイアグラムからは、さまざまな伝送パラメータの品質を読み取ることができます。例えば、横軸にはアイ開口部時間やアイエッジ（ビット遷移）でのジッタが、縦軸には垂直方向のアイ開口部やノイズが示されます。

R&S®RTOおよびR&S®RTP（42ページを参照）オシロスコープには、アイダイアグラム用のさまざまな解析オプションが用意されています。例えば、自動アイダイアグラム測定、ジッタ／ノイズ解析用の水平／垂直ヒストグラム、長期安定度テスト用のマスクなどです（図2）。波形収集は市販の他のオシロスコープよりもはるかに高速で、数百万ビットを数秒以内に捕捉し、アイダイアグラムとして表示できます。

長時間の収集で得られたビットからアイダイアグラムを作成するには、R&S®RTO-K91/R&S®RTP-K91 DDR3シグナルインテグリティー・デバッグおよびコンプライアンステスト・ソフトウェア・オ

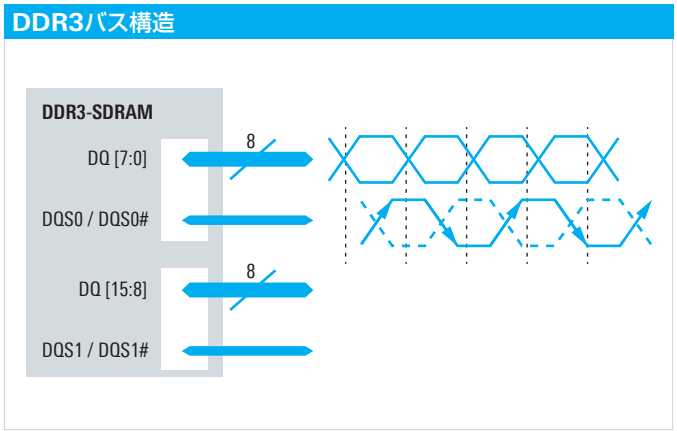


図1：DDR3 SDRAMのパラレルバス構造。各リンクは、8本のシングルエンド・データラインと、差動ストローブ信号（巡回クロック）から構成されます。

図2：DDR3ライトサイクルのアイダイアグラム（マスクテストとヒストグラムを表示）。

プションのDDRアイダイアグラム機能が使用できます（図3）。このソフトウェアは、DQS信号のエッジを使用して、DQ信号をビットに分解してアイダイアグラムに表示し、ゲートクオリファイアやビット・シーケンス・フィルターなどのさまざまな解析オプションも備えています。

R&S®RTO-K91/R&S®RTP-K91 オプションのもう1つの機能であるリード／ライトデコード機能（以下で詳しく説明）と組み合わせることで、リードまたはライトサイクルのアイダイアグラムを表示できます。

リード／ライトサイクルをターゲットとしたトリガ

DDR3データインタフェースでは、シングルエンドのDQデータ信号と差動DQS信号に関して双方向のラインが用いられます。リードとライトのサイクルを識別するため、DQ信号のエッジはDQS信号のエッジと異なる位相で送信されます。リードサイクル（メモリからプロセッサにデータを送信）では、エッジは同時に発生します。ライトサイクル（プロセッサからメモリにデータを送信）では、DQデータエッジはビット幅の半分だけずれています（図4）。

このクロックオフセットはメモリの機能にとって重要ですが、このために、単純なアイダイアグラムを表示して、セットアップ／ホールド時間などの時間パラメータを測定することが困難になっています。このため、シグナルインテグリティー解析では、リードサイクルとライトサイクルを別々に観察することが必要になります（アプリケーションカード「DDR3メモリのリードサイクルおよびライトサイクルのトリガ」を参照）。このためには、リード／ライトサイクルの開始をターゲットとしたトリガを使用します。R&S®RTOおよびR&S®RTPには、精密なトリガのためのさまざまなオプションが用意されています。これらのオシロスコープ独自のデジタル・トリガ・システムは、複雑なA-B-Rトリガシーケンス（トリガイベントA、B、リセット）をサポートし、デジタルアーキテクチャーによって、信号の小さい変化や50 ps未満のパルス幅に対しても高い信頼性で応答します。

リードサイクルとライトサイクルで異なるプリアンブル（図5）は、DDR3メモリインタフェースの信号特性であり、トリガのために利用できます。

図6と7は、それぞれリードサイクルとライトサイクルのトリガ設定の例を示します。負のリードプリアンブルは1ビット幅よりも多少長く、これによるトリガには、対応する設定のパルストリガが使用できます。図6の例では、データレートが1333 Mbit/s（ビット幅は約750 ps）のDDR3コンポーネントに対して、1 ns未満の負パルストリガが選択されています。

ライトサイクルでトリガするために（図7）、ライトプリアンブル（1ビット幅より少し長い）を検出するA-B-Rトリガシーケンスが定義されました。この例では、ライトサイクルの開始を検出するために、Aトリガが、負の極性で幅が2 nsより大きいパルス幅トリガとして設定されています。Bトリガは、ライトプリアンブルの正パルス幅（>750 ps）に設定されています。Aトリガイベントの後に有効なBトリガイベントが見つからなかった場合、Rトリガ（2 nsに設定）によってトリガシステムがリセットされ、再びAが探索されます。

R&S®RTO-K91/R&S®RTP-K91 ゾーン・トリガ・オプションは、リードまたはライトサイクルをターゲットとするトリガのもう1つの方法です。これにより、ゾーンを定義して、信号がそのゾーンを通過または回避したときに有効なトリガが発生するように設定できます。図8に、リードサイクルでのトリガの例を示します。DQS信号の最初のゾーンは、リードプリアンブルに応答します。DQS信号とDQ信号の他の2つのゾーンは、同時に発生するエッジを対象とします。

リードサイクルとライトサイクルのデコード

R&S®RTO-K91/R&S®RTP-K91 オプションのデコード機能は、リード／ライトサイクルを検出するもう1つの方法です。この機能は、プロトコルメニューから選択します。この機能は、信号エッジの位相シフトに基づいて、DQS信号とDQ信号の収集データ内のリードサイクルとライトサイクルをマークします。図9にセットアップダイアログを示します。DQ信号とDQS信号に割り当てられたチャネルを選択するだけで、オート機能によってしきい値とヒステリシス値が設定されます。

アイダイアグラムのセクションで説明したように、DDRアイダイアグラム機能（図10）でこのデコード機能を使用できます。もう1つの強力なツールであるアイストライプは、タイムドメインのマスク違反を時間軸上に赤でマークします。ユーザーは、ズーム連動を使用して、マスク違反の間を簡単に移動できます。

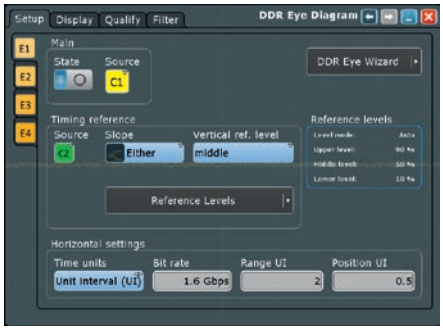


図3：DDRアイダイアグラム機能のセットアップダイアログ。

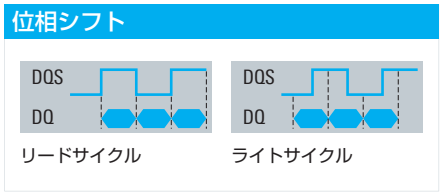


図4：リード／ライト信号に関するDQ信号とDQS信号の同期。

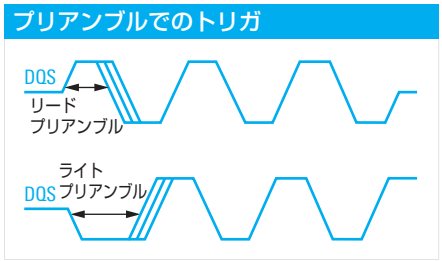


図5：DDR3リード／ライトサイクルのDQS信号のプリアンブル。

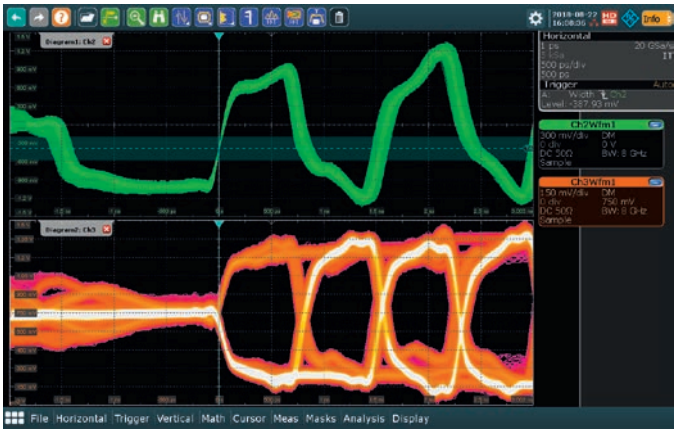


図6：負パルストリガによるリードプリアンブルでのトリガ。

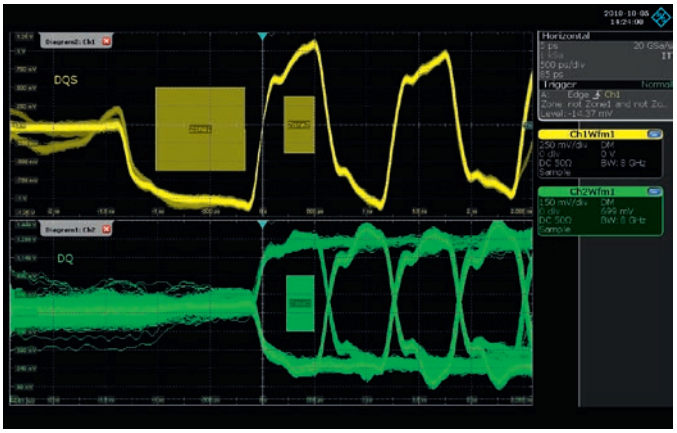


図8：ゾーンの組み合わせによるリードサイクルでのトリガ。

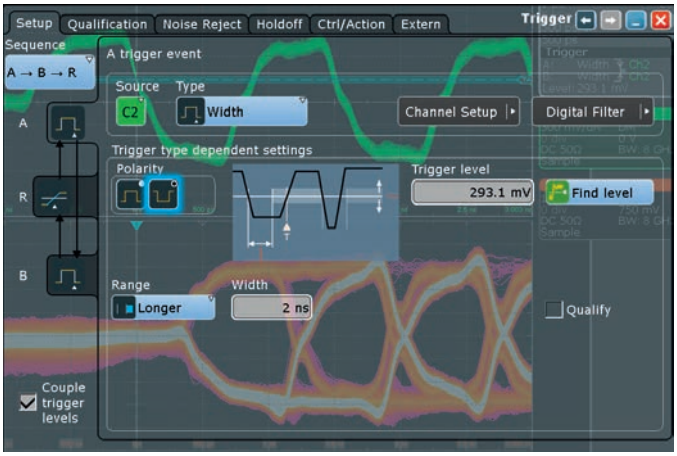


図7:複合トリガ条件(A-B-Rパルストリガ)によるライトプリアンブルでのトリガ。

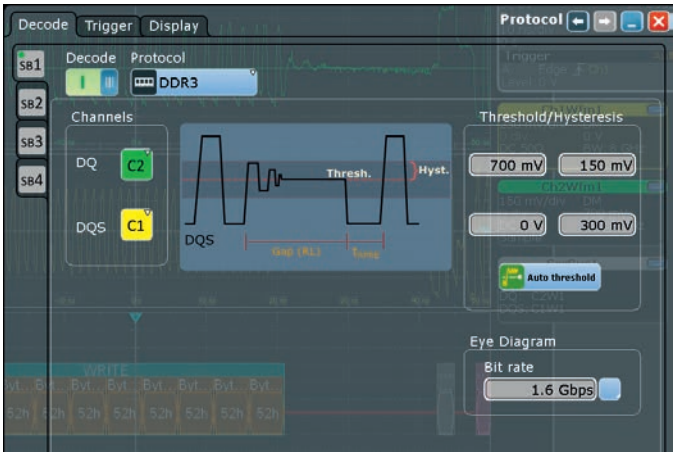
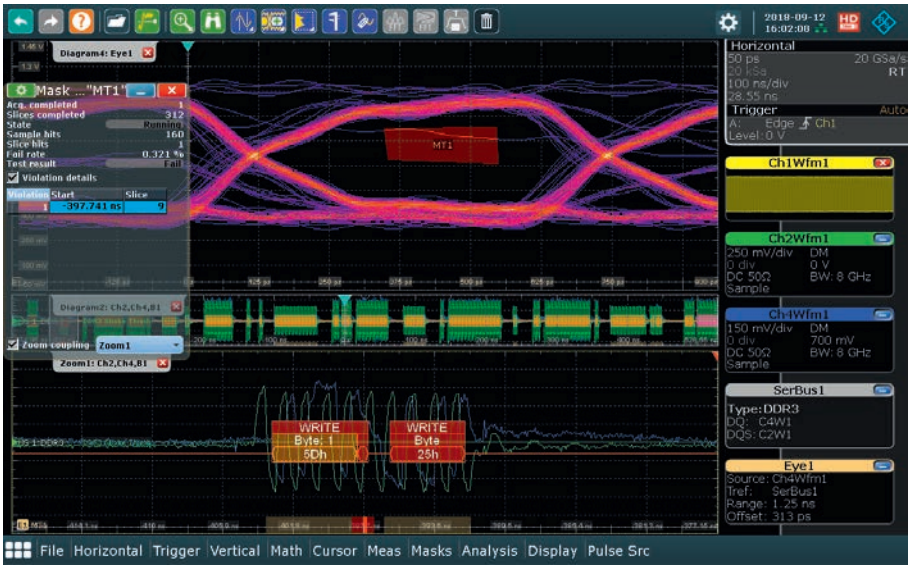


図9：R&S®RTO/R&S®RTP-K91 オプションによるリード／ライトデコードの設定。

DDR3規格に対するコンプライアンステスト

コンプライアンステストでは、測定値を規格に記述されている仕様と比較します。セットアップ／ホールドなどの強力な基本測定機能は有用ですが、最大の便利さと効率を実現するには、自動ソリューションが必要です。自動ソリューションは、信号の接続に関する詳細な指示を表示し、オシロスコープを自動的に設定し、必要な波形を収集して測定し、結果をまとめたレポートを作成します。異なるデータラインや異なるデータサイクルに対して多数の測定が

図10：ライトサイクルのアイダイアグラム（マスク違反のアイ・ストライプ・マークを表示）。



1. モジュラープローブCh 1をCK信号に接続
2. モジュラープローブCh 2をDQS信号に接続
3. モジュラープローブCh 3をDQ信号に接続
4. オシロスコープに表示される予想信号

図11:コンプライアンステストのデータ･タイミング･テストの手順指示の例。

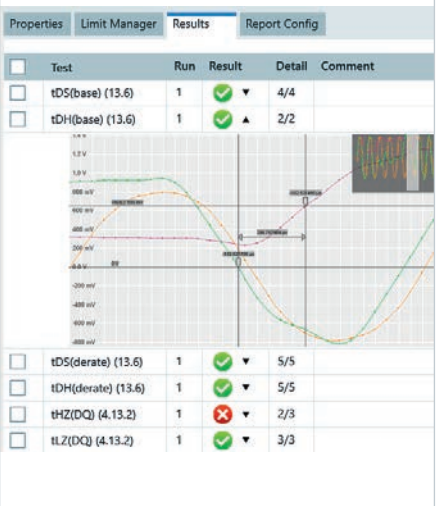


図12：行を展開することで各テストの詳細結果を表示できます。

必要な場合には、利点はさらに大きくなります。R&S®ScopeSuiteは、リードサイクルとライトサイクルの分離の問題を自動的に解決し、セットアップ／ホールド測定のディレーティングに関するサポートを提供します。

これはすべて、R&S®RTO/R&S®RTP-K91オプションによって行われます。DUTがDDR3（JESD79-3）、DDR3L（JESD79-3-1、JESD79-3-1A.01）、LPDDR3（JESD209-3C）規格に適合するかどうかを確認できます。測定手順が画像とテキストでわかりやすく表示され、オシロスコープのどのチャネルを接続し、どの測定信号を表示する必要があるかが示されます（図11）。

表示される結果を見れば、概要を一目でつかむことができ、レポートを作成しなくても詳細に容易にアクセスできます（図12）。

ディレーティング

ディレーティング機能は、DQ信号とDQS信号の実際のスルーレートに基づいて、測定リミット値の正または負の調整量を決定するものです。スルーレートは、各セットアップ／ホールド測定で、DQS信号とDQ信号の立ち上がり／立ち下がりエッジで測定されます。その後、JEDEC規格で定義された基準値の間で補間を行うことで、ディレーティング値が決定されます。

図13に、セットアップ時間（tDS）測定結果の例を示します。DQS信号とDQ信号のスルーレートが、実際の測定値とともに示されています。この例での結果のディレーティングは50.226 psで、これがtDSリミットで考慮されます。

R&S®RTO/R&S®RTP-K91 オプションは、ディレーティングを考慮した測定を効率的に自動実行します。最初に、DDR3信号のサイクルがリードサイクルとライトサイクルに分離されます。次に、定義された信号時間に対して適切な測定が開始され、最悪の測定値の結果がグラフで表示され、レポートにまとめられます（図14）。

タイミングテスト

JEDEC DDR3規格では、インタフェーステストがタイミングテストと電気テストに分類されています。タイミングテストには、個々の信号の時間的動作を記述する仕様が含まれています。例えば、ストローブタイミングは、クロック／データ信号に対するストローブ信号の時間応答を定義します。また、tRPRE時間測定は、リードプリアンブルがクロックサイクルの90 %より長いことを確認します。プリアンブルのスタート時間は、ストローブ信号の立ち下がりエッジの0交差をリニア補間することによって近似されます。終了ポイントは、ストローブ信号の立ち上がりエッジが次に0と交差する時間によって決定されます。図15は測定詳細で、読み取りサイクルのズームイン表示を示しています。

その他の情報

測定	設定	リミット
処理されたバースト数	1559	
tDS（ディレーティング）最小値	218.712 ps	x >= 80.226 ps
DQSスルーレート	4.090V/ns	
DQスルーレート	1.505V/ns	
ディレーティング	50.226 ps	

図13：ディレーティングを使用したセットアップ時間（tDS）測定の結果。この例でのディレーティング計算結果は50.226 psです。

他の信号に対しても同様のテストが必要です。多くの測定は類似していますが、同一ではありません。R&S®RTO/R&S®RTP-K91オプションのコンプライアンステストは、規格に記述されているすべてのタイミングテストに対応しています（図17）。

電気テスト

電気テストは、名前からわかるように、信号の電気特性を確認するものです。差動信号の場合、グランドを基準とした個々のラインの特性（V+、V–）が別々に確認されます。図16に概要を示します。タイミングテストと異なり、これらの測定では1つの信号だけが観察対象となります。ただし、いくつかのケースでは、リード／ライトサイクルを判別するために、他のDQ/DQS信号が必要です。

図18に、DQS信号の単純な例を示します。これは、VIHdiff(AC)パラメータのレポートから取られたものです。ここには、差動DQS信号のハイロジック電圧が示されています。これは、ヒストグラムによって判定されます。

テストポイントへの接続

JEDEC DDR3仕様では、DRAMコンポーネント上の信号を直接指定しています。このため、トラブルシューティングやシグナルインテグリティー・テストに使用するテストポイントは、メモリコンポーネントのできるだけ近くで接続する必要があります。

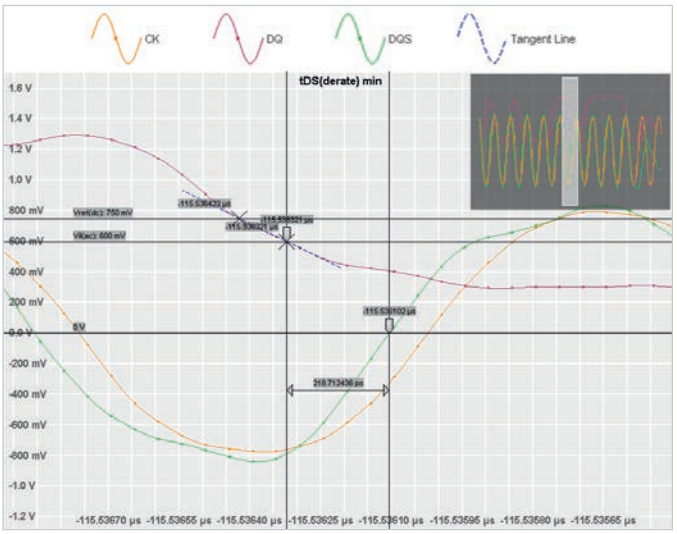


図14：ディレーティングを使用したセットアップ時間測定のレポート。

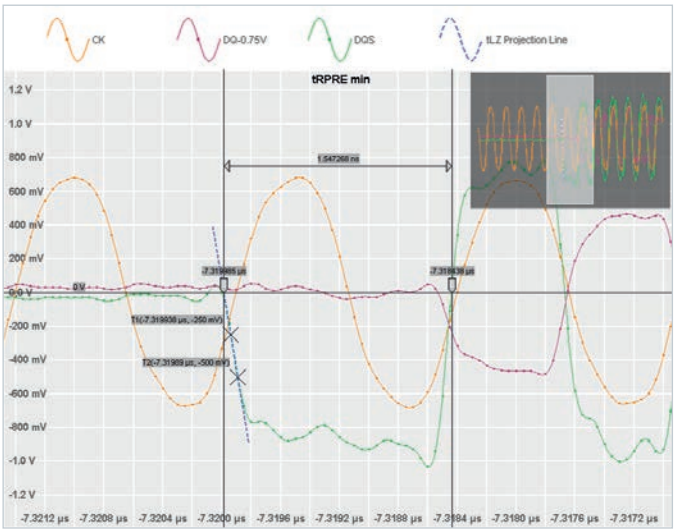


図15：時間測定（ここではtRPRE測定）のインターセプトポイントの判定。DQ信号（紫）はリードサイクルとライトサイクルの分離のためだけに必要です。

- Electrical Tests
  - Single-Ended Measurements
    - Input Slew Rate for ADD and CMD (8.5, 13.5)
    - Input Slew Rate for DQ and DM (8.5, 13.6)
    - AC & DC Input Levels for ADD and CMD (8.1.1)
    - AC & DC Input Levels for DQ and DM (8.1.2)
    - AC Input Levels for CK and DQS (8.3.3)
    - Output Slew Rate for DQ (9.3)
    - AC & DC Output Levels for DQ (9.1)
    - AC Overshoot & Undershoot for ADD and CMD (9.6.1)
    - AC Overshoot & Undershoot for CK, DQ, DQS and DM (9.6.2)
  - Differential Measurements
    - AC Input Levels for CK and DQS (8.3)
    - AC Differential Cross Point Voltage for CK and DQS (8.4)
    - Differential Output Slew Rate for DQS (9.4)
    - Differential AC Output Levels for DQS (9.2)

図16：R&S®RTO/R&S®RTP-K91・オプションで実行可能な電気テストのリスト。

- Clock Timing (12.1)
- Data Timing (4.13.2, 13.4, 13.6)
- Strobe Timing (4.13.2, 4.14.2, 8.3.1)
- Command Timing (13.5)
- Address Timing (13.5)
- Chip Select Timing (13.5)

図17：R&S®RTO/R&S®RTP-K91オプションで実行できるタイミングテストのリスト。

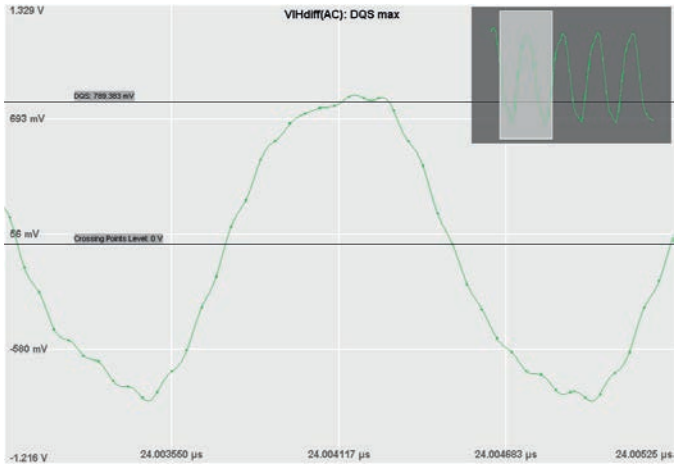


図18：DQS信号の最大VIHdiff(AC)値の判定と表示。

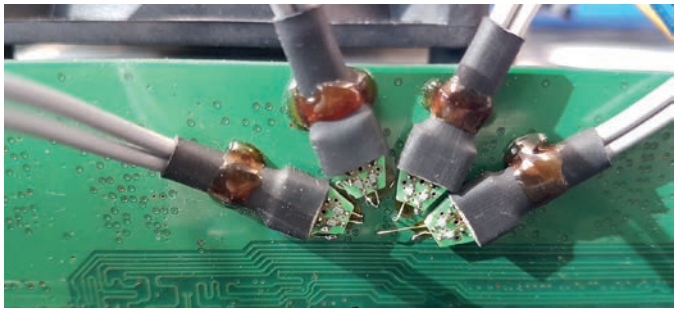


図19：ビアを使用してプリント回路基板の裏面からDQ信号とDQS信号にアクセス。

図20：DDR3信号への接続用のはんだ付けプローブ・チップモジュールを使用するためのインターポーザーを装着したDIMM。

はんだ付けモジュールとの接続

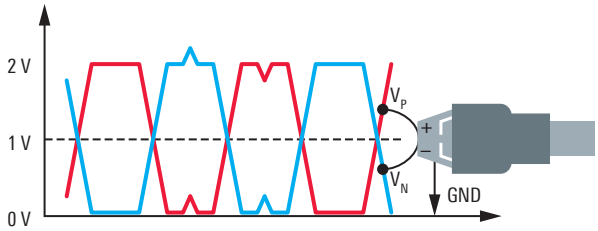


図21：R&S®RT-ZMA10はんだ付けプローブ・チップモジュールのはんだ接続。

DDR3メモリコンポーネントは通常ボール・グリッド・アレイ（BGA）パッケージであり、PCボードに直接はんだ付けされるか、デュアル・インライン・メモリ・モジュール（DIMM）にはんだ付けされます。パッケージ下部のボールに直接接続することは、通常は不可能です。シングルサイドの回路ボードやDIMMの場合は、ビアを使用して信号線にアクセスできます（図19）。

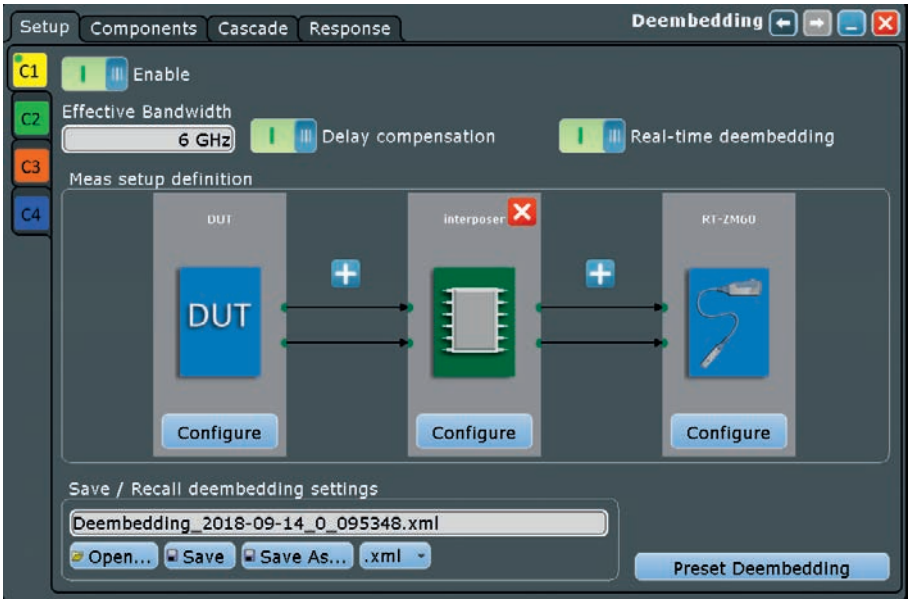
ボードの裏側での接続が現実的でない場合、DIMMとSDRAMコンポーネントの間にインターポーザーを挿入することができます。インターポーザーは、特定の信号線へのプローブ接続を可能にする役割を果たします。図20に示すのは、Nexus Technology（www.nexustechnology.com）製のインターポーザーを使用して改造されたDIMMです。DRAMコンポーネントをDIMMから取り外し、DIMMサブストレートとDRAMコンポーネントの間にレイザーとインターポーザーを挿入しました。

ローデ・シュワルツは、信号接続用のさまざまなチップモジュールを備えたモジュラー広帯域プローブを提供しています。例えば、R&S®RT-ZMA10 はんだ付けチップモジュールは、プローブをテストポイントに接続するために使用できます。R&S®RT-ZMA40 ブラウザー・チップモジュールは、他の柔軟な接続オプションを提供します。

あらゆる接続方法に関する一般則として、付加されるインダクタンスとキャパシタンスを最小限に抑えるために、接続はできるだけ短くする必要があります。例えば、R&S®RT-ZMA10のはんだ付け接続は、長さ2～3 mmを超えないようにする必要があります。

R&S®RT-ZM モジュラープローブのマルチモード機能を使用すれば、差動、シングルエンド、またはコモンモード電圧の測定に関して大きな柔軟性が得られます。クロック信号やDQS信号などの差動信号を測定する場合、プローブを差動入力V_P/V_Nとグランドに接続します（図21）。マルチモードを使用すると、電気テストで差動モードと

図22：ディエンベディング機能のセットアップダイアログ。



シングルエンドモードを簡単に切り替えることができます。

シングルエンドDDRデータ信号または制御信号に対して最高の信号再現性を実現するには、差動プローブ入力（V_P/V_N）を追加のグランド接続なしで使用します。

ディエンベディングによる伝送損失の補正

プローブを通じた信号の伝送（DDRデータラインのコンタクトポイントからオシロスコープまで）は、完全ではありません。伝送損失によって信号の歪みが生じ、仕様との比較がさらに難しくなります。インターポーザーなどの追加のテストコンポーネントがあると、損失はさらに大きくなります。

R&S®RTOおよびR&S®RTP オシロスコープは、このような伝送損失を補正するための一般的な方法であるディエンベディングをサポートしています。R&S®RTO-K121/RTP-K121 ディエンベディングオプションは、Sパラメータに基づいて補正フィルターを計算し、収集波形に適用します。図22に、信号経路の定義のためのセットアップダイアログを示します。各要素の伝送特性を記述したSパラメータファイルをロードすることができます。ディエンベディングをオンにした場合、経路全体（オシロスコープ入力を含む）の特性が1回測定され、補正フィルターが計算されます。

R&S®RTP-K122 オプションを使用すると、R&S®RTPでハードウェアアクセラレーテッドディエンベディングをリアルタイムで実行できます。オシロスコープの毎秒最大100万波形の高速収集を利用することで、トラブルシューティングの際に、発生頻度の低いイベントを短時間で高い信頼性で捕捉できます。トリガシステムも、補正済みの正しい信号を使用して動作するため、リアルタイム補正の恩恵を受けます。

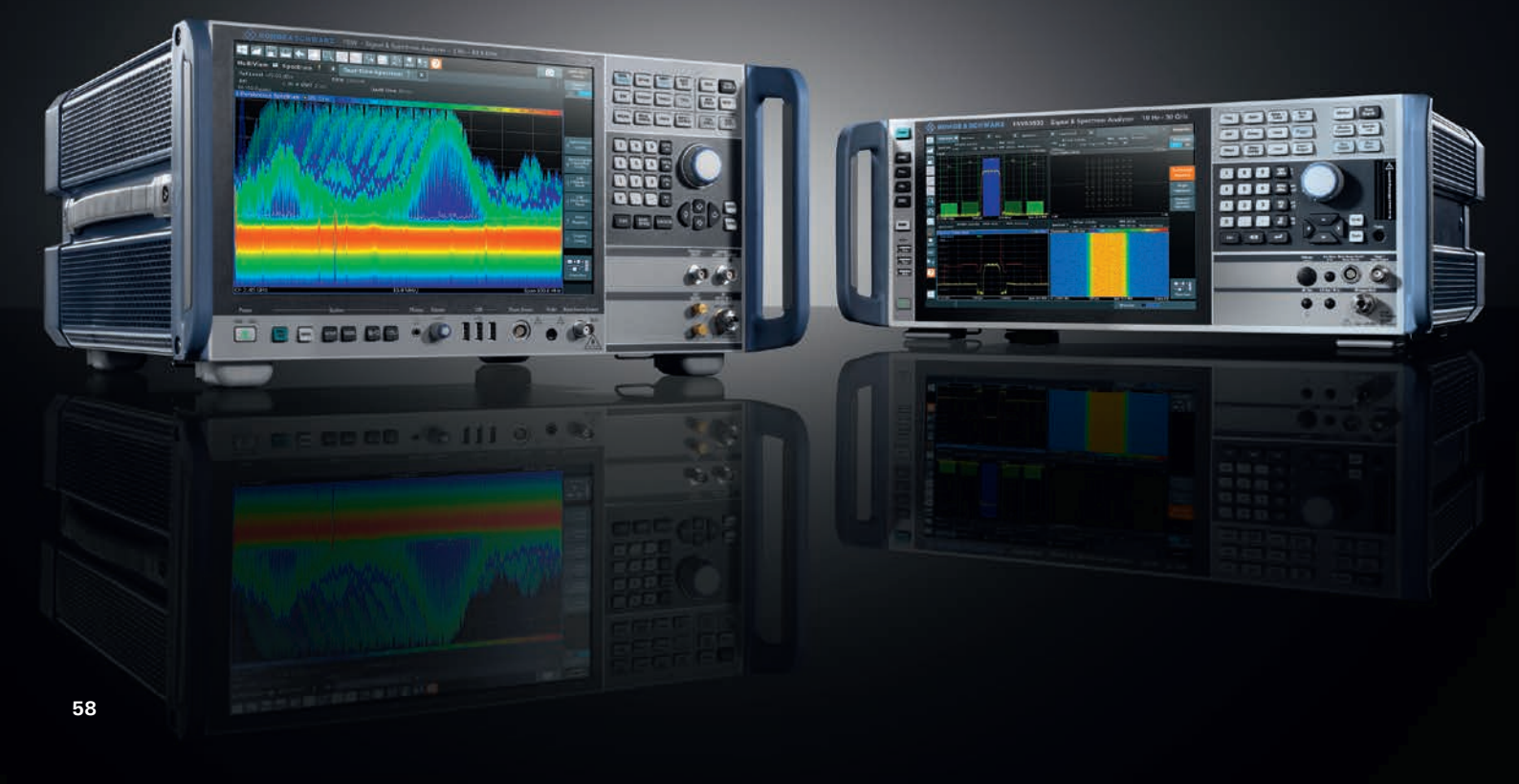
まとめ

DDR3メモリデバイスの統合にあたって、回路デザイナーは、デザインとテストに関する固有の課題に直面します。これに対処するには、オシロスコープをベースとするカスタマイズされた測定ソリューションを使用するのが最適です。R&S®RTO-K91/R&S®RTP-K91 オプションは、必要なすべての機能を備えています。DDR3アイダイアグラムやリード／ライトデコードといった効果的なトラブルシューティングのための機能に加えて、使いやすいガイド付きの規格コンプライアンステストも用意されています。R&S®RTPのリアルタイムディエンベディング機能は、測定セットアップによる歪みの影響を自動的に除去することで、解析結果の信頼性を改善し、測定の効率を高めます。

Guido Schulze、Johann Tost

シグナル・スペクトラム・アナライザ：アップスケール要件のための新しいモデル

広帯域通信システムや高分解能レーダーを測定する場合には、最高ランクのアナライザが必要です。トップクラスとアッパーミドルクラスの新しいモデルは、さらに高レベルの性能を備えています。



基準測定器をさらに改善

R&S®FSW シリーズのアナライザは、長年にわたって市場でテクノロジーの最先端を担ってきています。そして、さらに進化を遂げ、その仕様、機能、動作が強化され、外観も一新されました。

現在でも性能の面で頂点に位置する測定器をさらに改善することは、困難を極める作業です。R&S®FSW（図1）は、以下のようないくつもの点でこれに成功しています。

仕様の改善

多くのハイエンドアプリケーションで決定的な意味を持つパラメータである位相雑音が、代表値で−140 dBc/Hz（中心周波数1 GHz、10 kHzオフセット）または−133 dBc/Hz（中心周波数10 GHz、10 kHzオフセット）となりました。

機能の改善

- タッチスクリーンが静電式になり、新しいジェスチャーが使用可能になりました。
- 26 GHz以上のすべてのモデルが、最大2 GHzの内部解析帯域幅をサポートするようになりました。また、R&S®RTO オシロスコープを使用して5 GHzまでの信号を復調することも一部のモデルで可能です。
- リアルタイム帯域幅を最大800 MHzまで拡張できます。最大512 MHzの帯域幅の信号をI/Qインタフェース経由でストリーミングして、新しいR&S®IQW I/Qレコーダー（63ページの簡単な紹介を参照）などで記録できます。
- SCPIレコーダーを使用して、リモート制御プログラムを容易に作成できます。このツールは、作業者の手動操作をリモート制御コマンドに直接変換し、自動プログラム作成を支援します。
- その上、R&S®FSW85には、従来の1 mmコネクタに加えてより堅牢な1.85 mmコネクタも装備されています。これは最高67 GHzの測定に対応するとともに、50 GHzより上で測定感度の向上を実現します。

800 MHzのリアルタイム解析による、きわめて短時間における正確な信号レベルの検出

周波数アジャイルレーダー・システムや通信ソリューションの開発と特性評価では、信号をシームレスに収集し、きわめて短時間の信号を検出し、比較的長いシーケンスを中断なしに記録することが不可欠です。これが可能なのは、リアルタイム・アナライザだけです。規制機関にも、不要な信号や無免許信号を追跡するために、リアルタイム・アナライザが必要です。

比較的単純なアプリケーションの場合も、リアルタイム解析は有用なツールです。掃引式のアナライザを使用した場合、周波数ドメインの間欠的なイベントや短時間のイベント、周波数スイッチング

図1：強力な解析：R&S®FSWの主な仕様はさらに向上しています。

中の信号源のスペクトラム動作、RF信号に対するデジタル回路の影響などを調査するのは困難で、時間がかかります。

以前のR&S®FSWでは最大512 MHz帯域幅のスペクトラムのリアルタイム解析が可能でしたが、新しい世代の測定器では、R&S®FSW-B800Rオプションにより、最大800 MHzの解析ウィンドウ幅を実現できます。FFT長は32～16,384の範囲で調整可能なので、さまざまな分解能帯域幅を実現できます。長さ0.46 μsという短時間の信号を、100 %の捕捉率（POI）で、正しい信号レベルで検出できます。さらに、持続時間がわずか数nsの信号も、高い信頼性で検出できます（ただし信号レベルは正しくない可能性があります）。評価できるスペクトラムの数は毎秒200万以上です。人間の目では1秒間に最大30個程度の画像しか処理できないので、R&S®FSWでは、すべてのイベントを観察できるように、スペクトラム残光表示やスペクトログラムなどの表示が用意されています（図2）。周波数マスクトリガ（FMT）によって、毎秒234万個のスペクトラムを自動的に評価し、ユーザー定義のイベントに応答することができます。イベントの持続時間はわずか数nsでもかまいません。

リアルタイムのスペクトラムを長時間にわたって記録した後に評価する場合（フィールド測定など）、あるいはラボで信号発生器を使用して現実的な環境を供給したい場合、R&S®FSW-B517オプションをインストールして、測定データをI/Qレコーダー（新しいR&S®IQWなど。63ページを参照）にストリーミングすることができます。512 MHzのストリーミング帯域幅をフルに使用した場合、持続時間40分以上のシーケンスを記録できます。帯域幅がもっと小さければ、シーケンスはさらに長くすることができます。

2 GHz帯域幅の内部解析によるレーダー／通信信号の広帯域解析

複雑なレーダーアプリケーションや最新の通信規格には、きわめて広い解析帯域幅が必要ですが、このような帯域幅は必ずしもリアルタイムモードで使用できる必要はありません。例えば、5G NR信号の解析には400 MHzの帯域幅が、無線LAN 802.11ad信号の解析には2 GHzもの帯域幅が必要です。5G NRで伝送品質を上げるためにデジタルプリエンファシスが用いられている場合、少なくとも両側1つずつの隣接チャネルを測定に含める必要があります。これだけで1.2 GHzの帯域幅が必要です。

R&S®FSWは、このような要件に応える最大2 GHzの内部解析帯域幅を備えているだけでなく、5Gまたは無線LANの信号の変調品質の自動測定に対応したアプリケーションソフトウェアを測定器に内蔵しています（図3）。R&S®FSW67モデルは、60 GHzバンドの無線LAN 802.11ad信号を、外付けの周波数コンバーターなしで測定できます。

2 GHzでは足りない場合

帯域幅が足りなければ、さらに帯域幅を広げるしかありません。次世代の車載用レーダーセンサには、帯域幅4 GHzのチャープ信号が用いられます。新しい無線LAN 802.11ay規格では、2つのチャネルの解析のために、すでに最低5 GHzの帯域幅が必要です。同様の動向は、航空宇宙／防衛分野にも見られます。

R&S®FSWにB5000オプションとR&S®RTO2064オシロスコープを組み合わせることで、最大5 GHzの解析帯域幅が得られます。

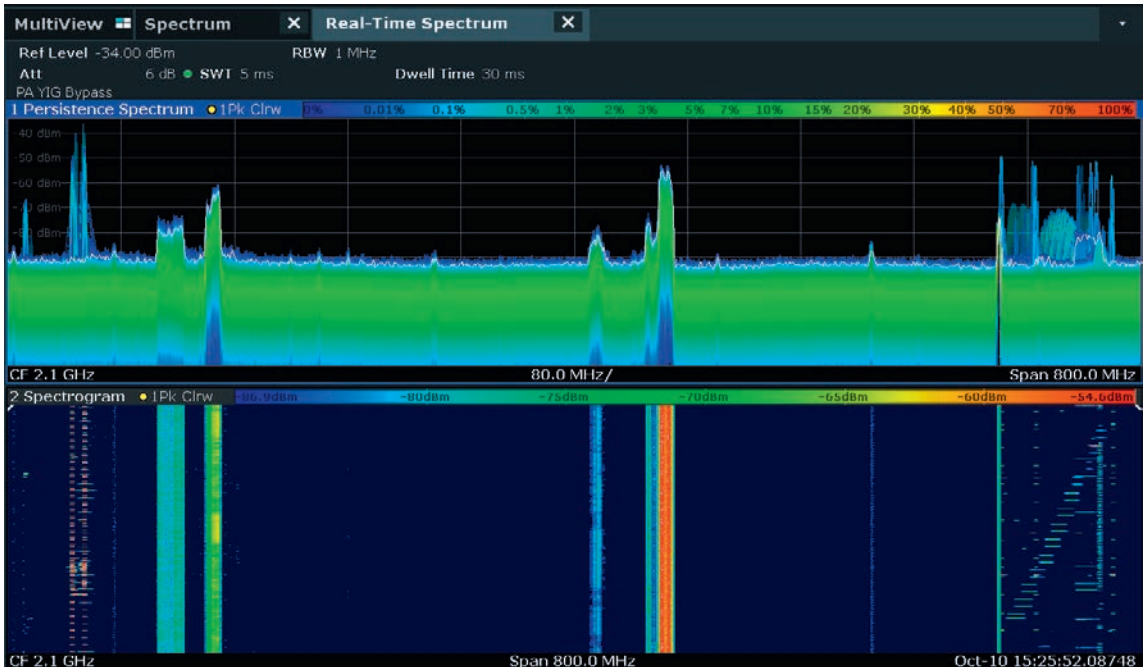


図2：中心周波数2.1 GHzで800 MHz帯域幅のリアルタイム解析により、ISMバンドとLTEバンドの同時収集が可能です。上部の残光表示スペクトラムではスペクトラムが発生頻度によってカラーコード化され、下部のスペクトログラムにはスペクトラム履歴が表示されます。

他のソリューションと異なり、この組み合わせの周波数応答は完全にディエンファサイズされており、ユーザーは校正について心配せずにただちに作業を開始できます。トップモデルのR&S®FSW85にB5000 オプションをインストールした場合、帯域幅4 GHzの次世代車載用レーダー信号を79 GHzで直接収集して解析できます（図4）。R&S®FSW85の周波数応答は90 GHzまで延びており、85 GHzまで対応のプリセレクタも搭載しています。一方、67 GHz未満の測定を行う場合は、その目的専用に、さらに信頼性の高い1.85 mmコネクタを備えた第2RF入力が標準装備されています。

図3：R&S®FSW-K145オプションによる28 GHzの5G NRダウンリンク信号の解析。EVM対搬送波、コンスタレーションダイアグラム、すべての重要なパラメータの表形式リストといったさまざまな表示により、5Gアプリケーションの特性評価や最適化を高速に行うことができます。

図4：帯域幅2 GHzのレーダー信号の短いチャープの測定を、5 GHzの測定帯域幅で実行しています。この測定の主な目的である、急速に減衰する周波数チャープが選択されています。スペクトログラムからは、バンド外に不要なサイドラインが存在しないことがわかります。

きわめて純度の高い信号と信号源の解析

シグナル・アナライザやスペクトラム・アナライザの品質は、基本的に内蔵局部発振器の位相雑音によって決まります。位相雑音が小さいほど、変調品質の測定や搬送波近傍のスペクトラム測定を正確に行うことができます。例えば、狭帯域伝送システムの隣接チャネル電力の測定や、スペクトラムマスクのチェックなどです。また、VCOやシンセサイザーなどのコンポーネントを特性評価する場合にも、位相雑音はきわめて重要です。

このため、R&S®FSWの位相雑音性能はさらに改善されています。−140 dBc/Hz（10 kHzオフセット、1 GHz受信周波数）または−133 dBc/Hz（中心周波数10 GHz、10kHzオフセット）という性能は、現時点での他社の同クラスの製品すべてを上回っています。この性能とR&S®FSW-K40 オプションを組み合わせることで、オプションを組み合わせることで、これまでトップクラスの位相雑音測定機でしかできなかった位相雑音測定が可能になります（図5）。デジタルPLLをI/Qモードで使用することで、R&S®FSWは、DUTのドリフトを追跡して、搬送波近傍でのVCOの特性評価を実行できます。

図5：R&S®FSW-K40 測定アプリケーションを使用した、ハイグレード発振器の10 GHzでの位相雑音測定。さまざまなオフセット周波数での測定結果が下部に示されています。

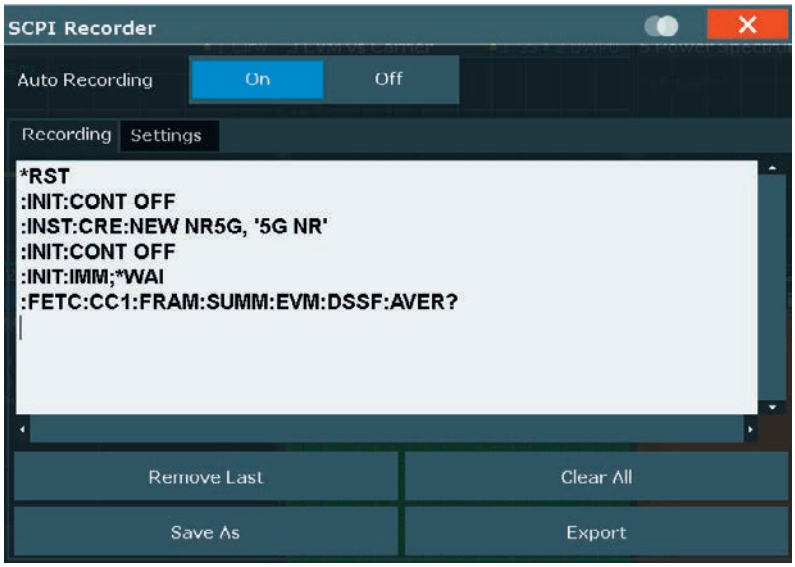
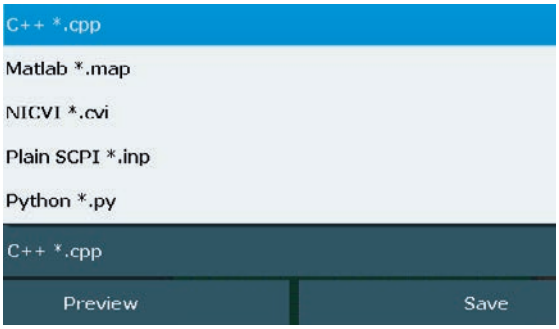


図6:SCPIレコーダーは、ユーザーの操作を記録します。ここでは、5G NRオプションをオンにし、測定を実行してから、EVMを取得します。スクリプトは、さまざまなフォーマットでエクスポートできます。



SCPIレコーダーと新しいタッチジェスチャーによる操作の簡素化

測定器のリモート制御プログラムの開発は、時間のかかる困難なプロセスです。マニュアルを調べて正しいSCPIコマンドを見つけ、パラメータの意味を理解する必要があります。測定器のオンラインマニュアルも、あまり役に立つとは言えません。そこで、R&S®FSWの標準のSCPIレコーダーを使用すれば、プログラムを短時間で容易に作成できます。ユーザーは、レコーダーをオンにして、必要な測定シーケンスを手動で実行します。測定器は、ユーザーの入力を、パラメータ設定を考慮しながら、自動的にコマンドシーケンスに変換します（図6）。特定の結果の問い合わせをテーブルから追加することもできます。テーブルをタッチして、メニューが表示されたら、コピーするパラメータを選択します。完成したスクリプトは、C++、MATLAB®、またはPythonにエクスポートすることもできます。同期コマンドを自動的に挿入することもできます。これにより、シグナル・スペクトラム・アナライザの制御がこれまでになく容易になりました。この作業はプログラミング初心者でも簡単に行うことができます。

容易なプログラム作成に並んで重要なのは、手動操作の便利さです。タッチスクリーンはかなり以前から、測定機器に標準装備されるようになっています。測定器の設定をするにも結果を表示するにも、便利で効率的だからです。R&S®FSWの新しい静電式タッチスクリーンは、スマートフォンと同等の感度を備えています。ジェスチャーで周波数や基準レベルを変更したり、2本指の操作でトレースを拡大したりして、ただちに結果を確認できます。また、入力アッテネータのような測定に影響を与える設定は、スワイプ·ジェスチャーで変更可能かどうかを選択できます。

まとめ：仕様、機能、オプションのさらなる向上によって、R&S®FSWはクラストップの地位を保っています。通常動作とリアルタイム動作での最大の内部解析帯域幅に加えて、位相雑音などの重要なRFパラメータも、他の測定器の追随を許しません。また、測定器の操作とプログラミングもさらに容易になっています。

Dr. Wolfgang Wendler

長い信号シーケンスの記録と再生

R&S®FSWのようなトップエンドのアナライザは、数GHzの帯域幅の信号を解析できますが、内部に搭載されたハードウェアだけでは、ライブでの解析か、内部的に記憶できる非常に短いシーケンスに基づく解析しか実行できません。広帯域測定の場合、データレートが非常に高いため、データの処理には、プロフェッショナルレベルの最高速のSSDを使用し、かつデータ・フロー・アーキテクチャー全体が適切に設計されていることが必要です。この状況に対応するために、新しいR&S®IQWのような外付けの高性能I/Qレコーダーが使用できます。R&S®FSWのHSデジタルI/QインタフェースにR&S®IQWを接続することで、最大帯域幅512 MHzの長時間の信号シーケンスを、16ビットのI/Q分解能でシームレスに記録できます。この最大帯域幅の入力信号の場合、対応する転送速度は2.5 Gバイト/sになり、6.4 Tバイトの交換可能SSDでは42分間の記録が可能です。帯域幅がもっと小さければ、数時間分のデータを記録できます。R&S®IQWの代表的なアプリケーションとしては、R&S®FSWをフロントエンドとした実環境のRFシナリオの記録が挙げられます。内蔵GPSモジュールを使用して、記録場所の座標をデータに付加することもできます。ラボでは、記録したベースバンド信号を、接続したR&S®SMW200A ベクトル信号発生器によって再びRFドメインに変換することで、実環境で取得した信号をテストセットアップに供給できます。もちろん、レコーダーは純粋なラボアプリケーションでも威力を発揮します。操作は、タッチスクリーンまたはLAN経由で接続したコンピューターを通じて簡単に行うことができます。特に、ウィザードによる設定は便利です。航空宇宙／防衛産業のように情報漏洩に対する注意が必要な分野では、交換可能なSSDが取り外されないように保護することができます。

R&S®IQWは、最大帯域幅512 MHzの長時間の信号シーケンスを、16ビットのI/Q分解能でシームレスに記録できます。

ミッドレンジ分野の新しい風

ほとんどの信号／スペクトラム解析作業には、最高クラスの電子計測機器を使用する必要はありません。今日のアッパーミッドレンジの測定器は、数年前ならプレミアムクラスの測定器にしかなかった特長を備えています。それを実証しているのが、新しい2つのモデルです。

新しい世代の測定器では、前の世代の後に進歩した技術を反映して、先行機種を明らかに超える性能を発揮することを期待されています。R&S®FSV3000およびR&S®FSVA3000 シグナル・スペクトラム・アナライザは、あらゆる面でこの期待に応えています（図1）。RF性能の改善、測定速度の向上、魅力的な機能を備えたこれらの測定器は、ラボや自動テスト環境（ATE）での使用に最適な高品質の標準電子計測機器です。広帯域通信や航空宇宙／防衛などの分野の複雑な測定作業にも対応できます。

選べる2つの性能レベル

R&S®FSV3000とR&S®FSVA3000の2つのモデルは、外観と操作方法は同一ですが、RF性能と対象アプリケーションが異なります。

R&S®FSV3000は、複雑な測定を短時間で容易に実行することを目的として開発されています。高速な測定と容易な操作により、ラボや製造ラインに最適です。解析帯域幅は最大200 MHzなので、100MHz帯域幅の2つの5G NR搬送波を同時に捕捉して解析できます。

R&S®FSVA3000は、最大400 MHzの解析帯域幅、広いダイナミックレンジ、−120 dBc/Hz（中心周波数1 GHz、10 kHzオフセット）の位相雑音という、ミッドレンジを超える性能を備えています。アプリケーションとしては、パワーアンプの線形化、短時間のイベントの収集、周波数アジャイル信号の特性評価などが挙げられます。

発生頻度の低いイベントの自動捕捉

R&S®FSV3000とR&S®FSVA3000のイベント・ベースド・アクション機能は、発生頻度の低いイベントの捕捉に便利です。必要な操作は、ACLRやリミットライン違反などのトリガ基準をドロップダウンメニューから選択し、実行するアクション（スクリーンショットやI/Qデータの保存など）を指定することだけです（図2）。アクションはイベントが発生したときだけ実行され、後で解析できるように記録されます。

新しいワンボタン測定機能により、測定器のセットアップ時間が短縮されます。ボタンを押すだけで、表示関連のパラメータ（中心周波数、スパン、レベル範囲など）が印加信号に合わせて調整されます。パルスド信号の場合、ゲート掃引パラメータも調整されます。通信信号に対するACLRやスペクトラム・エミッション・マスク（SEM）のような規格に準拠した測定の場合、ワンボタン測定機能は、チャネル間隔、チャネル帯域幅、測定時間などの設定を、規格に従って適切に選択します。

自動製造ラインでの複雑な測定サイクルを実行する場合、外部PC上のSCPIプログラムで測定器を制御できます。内蔵のSCPIレコーダーを使用することで、このような制御スクリプトのプログラミング時間を大幅に短縮できます。ユーザーによる手動入力がすべてSCPIコマンドに変換され、SCPIコマンド列で保存したり、一般的なプログラミング言語やツール（C++、Python、MATLAB®など）の構文でエクスポートしたりすることができます。

図1：R&S®FSV3000とR&S®FSVA3000は、ミッドレンジクラスを牽引しています。クラス最高のRF性能と操作の容易さにより、新しい基準を打ち立てています。

多くのRF測定作業には、信号発生器とスペクトラム・アナライザの組み合わせが用いられます。この場合、これらの測定器の設定は連係していることが必要です。例えば、特定のモバイル信号に対するアンプの特性を測定する場合、信号発生器とアナライザの周波数とレベルの設定は一致する必要があります。R&S®FSV3000とR&S®FSVA3000のインテリジェントな信号発生器制御ユニットは、この同期を自動的に行います。アナライザは、カップリングマネージャーを通じて信号発生器*を直接制御します。アナライザの周波数とレベルの変更は、信号発生器に反映されます。信号発生器のGUIをアナライザに表示して操作できるので、1台の測定器からセットアップ全体にアクセスできます。さらに、2台の測定器のSCPIレコーダーを連動させることで、統合されたリモート制御プログラムを作成することもできます。

高速解析

R&S®FSV3000とR&S®FSVA3000は、自動テストシステムでの測定アプリケーション用に開発されています。スペクトラム測定、変調解析、モードや周波数の変更はきわめて高速です。FFTベースのACLRおよびSEM測定は掃引測定よりも高速であり、ダイナミックレンジに悪影響を与えません。復調オプションは、5G NR(図3)、LTE、無線LAN 802.11ac/axといった最新の規格をサポートしています。雑音指数測定、位相雑音測定、アンプ測定、汎用ベクトル信号解析といった汎用的な測定アプリケーションも利用できます。

クラウドベースのテストシステムでは、信号解析はサーバー上で実行されます。このためには、大量のI/Qデータを転送する必要があります。R&S®FSV3000シリーズは、この動作モードでも最適に動作するように設計されています。優れたシグナル・プロセッシング・アーキテクチャーとオプションの10 GBit/s LANインタフェースにより、広い解析帯域幅に必要な高いサンプリングレートで収集されたI/Qデータもネットワークに転送することができます。

まとめ: R&S®FSV3000とR&S®FSVA3000は、ラボや製造ラインでの測定作業に便利な多数の機能に加えて、このクラスで他に類のないRF性能と測定速度を備えています。自動設定機能、イベント・ベースド・アクション機能、SCPIレコーダーにより、今日ますます複雑化している日常の測定作業を簡素化することができます。クラウドベースで信号解析を行うATEのフロントエンドとしては、10 Gbit/s LANインタフェースを通じて、広帯域I/Qデータをクラウドコンピューターにストリーミングすることができます。

Martin Schmähling

* 現時点では、R&S®SMW200AおよびR&S®SMBV100B信号発生器に対応しています。

R&S®FSV3000/FSVA3000は、2019年4月11日より販売開始予定です。

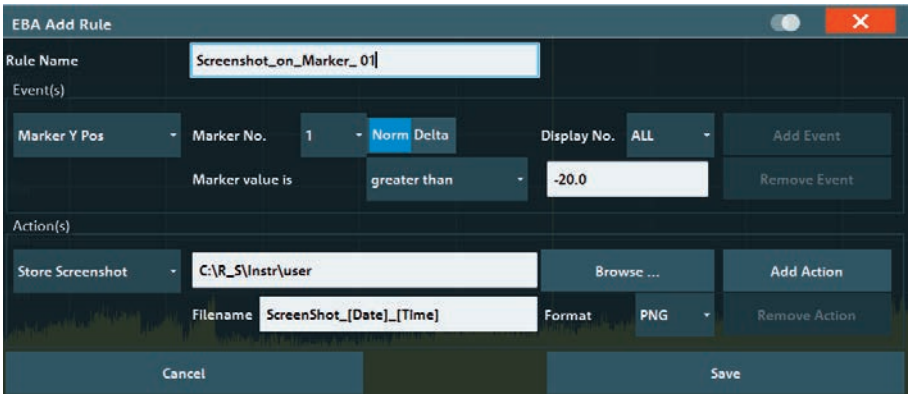
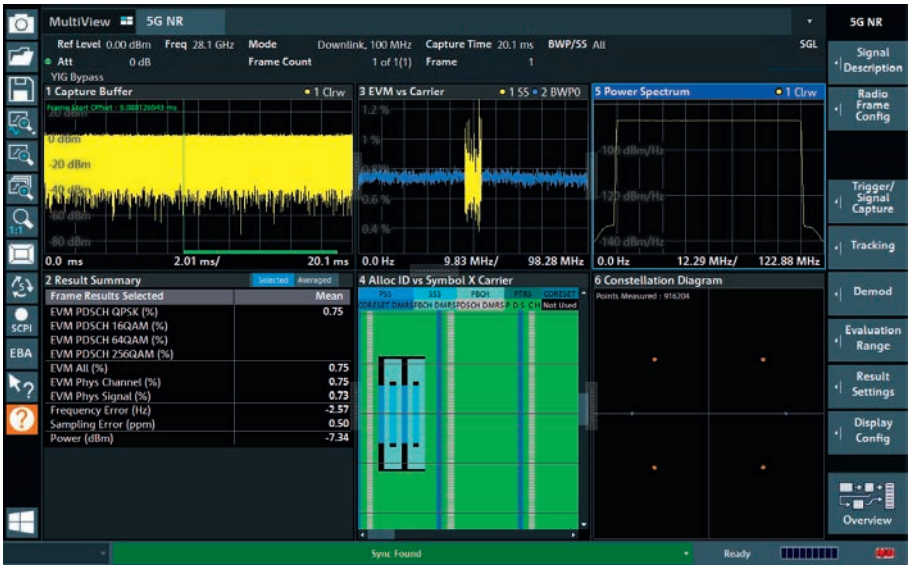


図2 : イベント・ベースド・アクション機能により、効率的なトラブルシューティングが可能です。スクリーンショットなどのアクションを起動するユーザー定義のルールは、画面上で簡単に作成できます。

図3 : R&S®FSV3000とR&S®FSVA3000は、5G NRに対応しています。28 GHzでは、100 MHz幅の信号に対して1 %未満のEVM値を達成できます。



新しいスイッチ・コントロール・センター

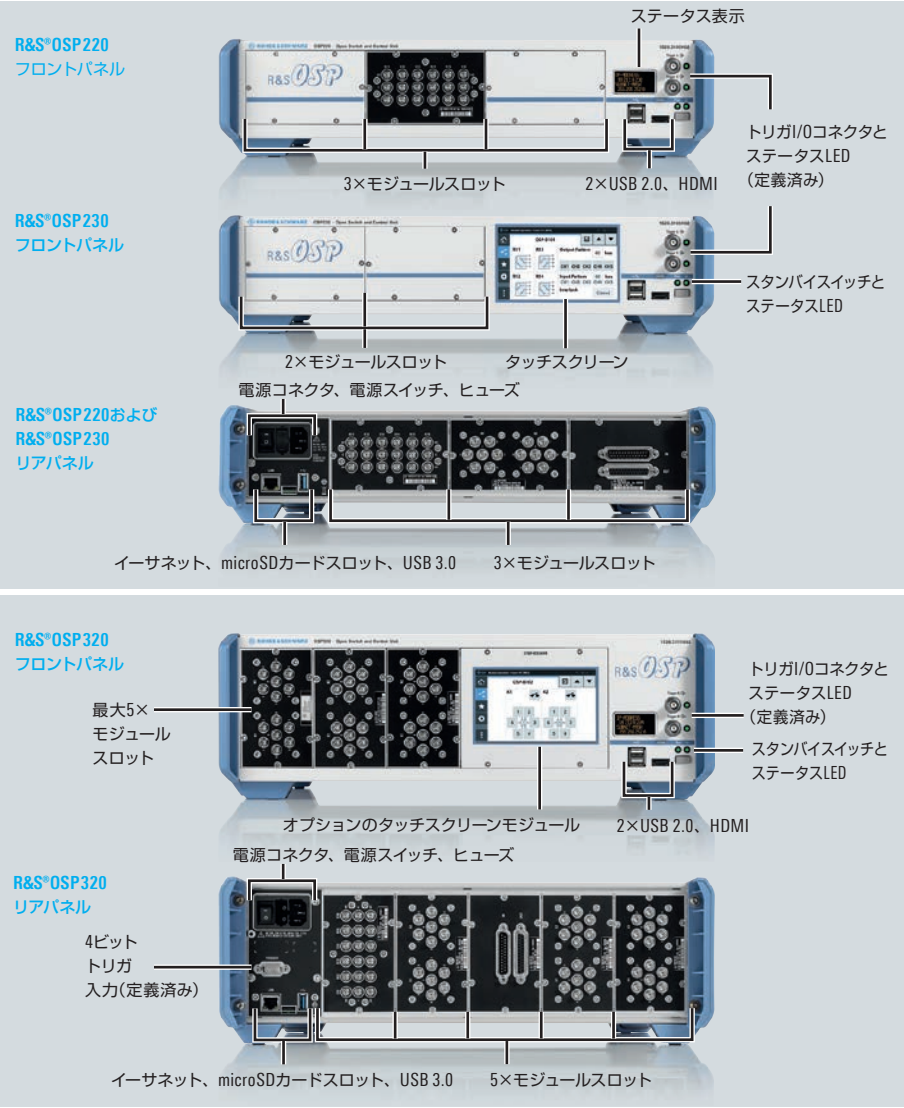
過去10年にわたるR&S®OSP スイッチ・コントロール・プラットフォームの開発経験に基づいて、次世代の製品開発が完了しました。新しいプラットフォームは、最先端でありながら旧製品との互換性を維持しており、従来のスイッチ／制御モジュールを新しいユニットで使用できます。

5Gや高度なレーダーテクノロジーといった新しいテクノロジーは、広い周波数レンジと短いスイッチング時間を必要とするため、スイッチ／制御機器にとっては困難な課題となります。こういった要件を考慮して、R&S®OSP スイッチ・コントロール・プラットフォームが、ハードウェアとソフトウェアの両面で全面的に再設計され、最先端の動作方式が導入されました。3つのモデル（R&S®OSP220/230/320、図1と2）と、独立したサテライトボックス（R&S®OSP-B200S2）からなる新しいプラットフォームは、ラボ測定用のベンチトップ構成から、複雑なラックマウント・テスト・システムへの統合まで、広い範囲のアプリケーションに対応します。

R&S®OSPモデルの性能と機能範囲は、大幅に向上しています。

- すべてのモデルは、フロントパネルとリアパネルにモジュールスロットを備え、配線に関する高い柔軟性が得られます。
- 各モデルは、接続したサテライトボックスを含めて最大16台のモジュールの管理と制御が可能です。電源の出力パワーが強化され、電気機械式RFリレーのスイッチングに対応しています。
- ネットワーク構成に便利なように、R&S®OSPモデルにはステータスディスプレイまたはタッチスクリーンが付属しており、TCP/IPアドレスやホスト名が表示されます。
- タッチスクリーンを装備したユニットは、設定や操作を外部アクセサリなしで手動で行うことができます。

図2：R&S®OSP スイッチ・コントロール・プラットフォーム：モデルとインタフェース。



事実上無制限の拡張性

すべてのR&S®OSPモデルは、イーサネット経由で、企業ネットワークやグローバルネットワークにマスター／スレーブ構成で統合できます。この機能と、トリガ／経路制御機能の組み合わせにより、R&S®OSPユニットのアプリケーション範囲が大幅に広がります。新しい要件を後で追加することもできます。

複数のR&S®OSPユニットのネットワーク接続に加えて、コンパクトなR&S®OSP-B200S2 サテライトボックスを使用することで、スイッチ／制御機能をDUTやアンテナの近くに配置することができます（図3）。その結果、必要となる長いRFケーブルの数が減り、配線のRF性能の向上とコストの削減を実現できます。

図1：新しいR&S®OSPスイッチ・コントロール・ユニットのフロントパネルとリアパネルのモジュールスロットには、さまざまなモジュールを収容して、多様な配線構成を実現できます。

直感的なウェブインタフェース

R&S®OSPモデルにはウェブインタフェースが内蔵されており、タッチスクリーンによるローカル操作またはPC上のブラウザーから利用できます。その他の設定ソフトウェアは不要です。ブラウザーベースの制御の場合、表示される内容の解像度は、タッチスクリーン、スマートフォン、接続されたモニター、またはPC画面のサイズに応じて自動的に調整されます（図4）。

実証済みの要素の保持

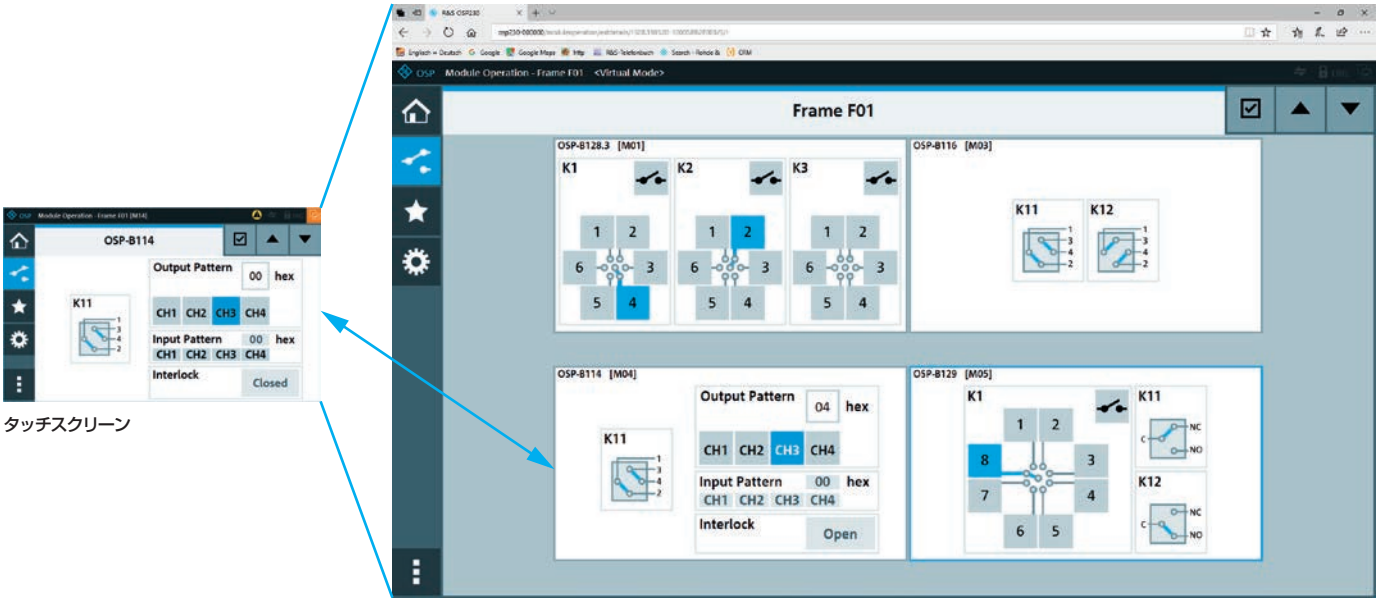
以下のような実績のある検証済みの要素は保持されています。

- 信頼性の高い**Linuxオペレーティングシステム**：これは、ウイルス攻撃のリスクが低いという特長もあります。

R&S®OSPユニットとR&S®OSP-B200S2 衛星ボックスの代表的な組み合わせ

図3：R&S®OSP-B200S2 衛星ボックスを使用すれば、スイッチ／制御機能をDUTの近くに配置できます。

図4：ウェブブラウザー・ベースの制御の場合、表示される内容の解像度は、使用するディスプレイやモニターの画面サイズに応じて自動的に調整されます。



タッチスクリーン

PC、ノートパソコン、スマートフォン

- **USBおよびHDMIインタフェース**：外部モニターおよびキーボード／マウスを使用した手動制御に使用できます。
- **経路制御**：リレーのスイッチング状態の組み合わせによって、複雑な配線設定の制御とプログラミングを簡素化します。
- **仮想モード**：ユニットやモジュールの一部が利用できない場合でも、デバイスや経路を事前に設定できるので、複雑なシステムの設定が容易になります。
- **柔軟なモジュールバスと結合可能なモジュールスロット**：これにより汎用的な構成が可能で、特に大規模なアプリケーション専用モジュールを使用する場合に便利です。
- **モジュールバスの互換性**：利用可能なすべてのR&S®OSPモジュール（新旧とも、図5）に対応しており、以下のようなさまざまなリレータイプやモジュール種別がサポートされます。
  - すべての基本的タイプのRFリレー（SPDT、SPnT、DPDT）
  - さまざまなバージョン（フェールセーフ、ラッチ、終端、非終端）の最高67 GHzの電気機械式同軸リレー
  - 半導体リレー（SSR）
  - デジタルI/Oモジュールおよびマルチプレクサーモジュール

トリガオプションによる高速スイッチング

重要な新しい機能である内蔵トリガユニットは、R&S®OSP-K100 オプション（近日発売予定）によってアクティブになります。これを使用すれば、外部トリガ入力を通じて、定義済みの経路に切り替えることができます。ハードウェアベースのスイッチングによって、LANベースの制御よりもスイッチング速度を大幅に高めることができます。この機能が特に必要なのは、半導体リレーを使用して、複数のアンテナやレーダーモジュールなどを高速に切り替える場合です。

フロントパネルのトリガコネクタは、トリガモードに応じて入力または出力として設定できます。これにより、定義済みの経路を順次切り替えたり、2つの異なる状態を切り替えたりすることができます。これに加えて、R&S®OSP320では、リアパネルのデジタルアドレス入力を通じて、定義済みの経路を直接制御することもできます。

Gert Heuer

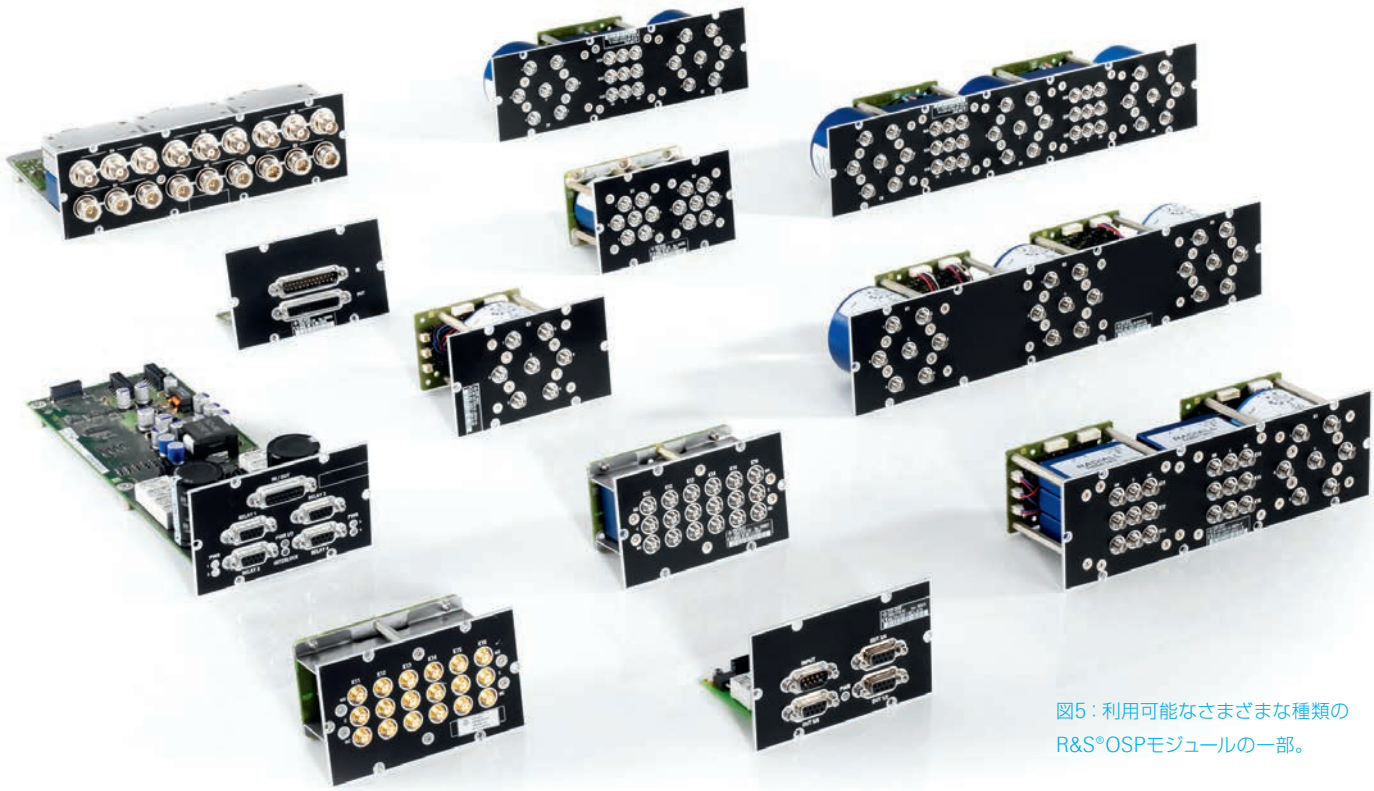


図5：利用可能なさまざまな種類のR&S®OSPモジュールの一部。

インターネット経由でライブ伝送するためのプロトコル

ライブメディア・コンテンツの配信に関して、衛星またはコンテンツ配信ネットワーク経由のポイントツーポイント接続による従来の方法は、費用がかかる上に、いくつかの欠点があります。ローデ・シュワルツの子会社であるGMITは、公衆インターネットを経由する実証済みのソリューションを提供しています。この方法は、コストパフォーマンスと柔軟性に優れています。

メディアプロバイダーが長期的な成功を収めるには、視聴者に対して適切なコンテンツをできるだけ迅速に低価格で提供することが必要です。顧客への伝送経路には、費用節約の可能性が存在します。大陸間、データセンター間、エンドポイント間のオンライン帯域幅の拡大に伴い、公衆インターネットを通じた、ライブ・イベントのブロードキャスト、広範囲の視聴者へのテレビコンテンツの提供、オンライン・テレビ・サービスへの新しい番組の追加が可能になってきました。

一般的には、コンテンツの集信とコンテンツの配信は区別されます（図1）。どちらの場合も、管理されていないインターネットを通じたライブコンテンツのブロードキャストを、高い信頼性、高いビットレート、最小限の遅延で、24時間提供するためには、いくつかの技術的障害を克服する必要があります。このレベルの性能が得られるようになったのは、ごく最近のことです。

インターネットプロトコルはどこにでもあります

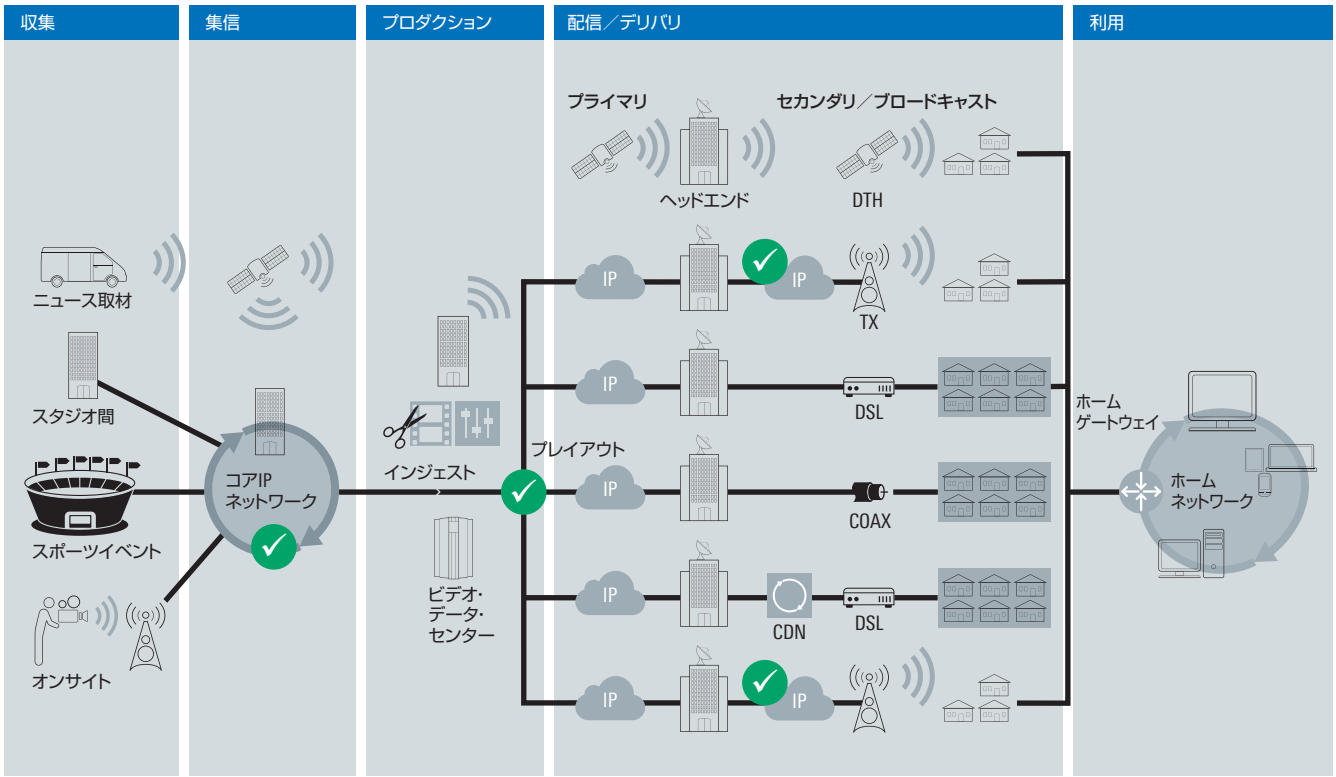


図1：収集から活用まで：IP集信とIP配信は、あらゆるメディアプロダクション・インタフェースで行われます。

従来のポイントツーポイント接続

テレポート

長距離でのライブコンテンツの供給／配信には、長年にわたって衛星が用いられてきました。信号はテレポート経由で衛星に送られ、他のテレポートに転送されてから、専用の管理された光ネットワークを通じて配信されます。このプロセスの欠点は、初期コストと運用コストが非常に高いことと、新しい接続を確立する際の柔軟性に欠けることです。

コンテンツ配信ネットワーク

コンテンツ配信ネットワーク（CDN）は、コンテンツ配信のもう1つの方法です。これらのネットワークは、複数のデータセンターに配置されたインターネットサーバーから構成されます。ネットワークの規模は、プロバイダーによって異なります。サーバー間の接続には、管理されていない公衆インターネット、管理された仮想オーバーレイネットワーク、あるいは高いサービス品質が必要な場合には専用の光ネットワークが用いられます。コンテンツは、ミラーリングされます。すなわち、複数のサーバーに同一のコピーが保持されます。従来のCDNでは、ウェブサイト全体がミラーリングされ、そのコンテンツがさまざまな地域のサーバーにコピーされていました。ユーザーがインターネットブラウザーからウェブサイトにアクセスすると、ユーザーに最も近いCDNサーバーからコンテンツ（テキスト、グラフィックスなど）が配信されます。最も近いサーバーは、ラウンドトリップ時間などのインターネット上の距離によって判定されます。

CDNでのHLSストリーミング

最近になって、実績のあるCDNプロバイダーが多数、ストリーミング市場に参入してきました。スマートフォンやスマートTVでは、Appleが開発したHLS（HTTP Live Streaming）プロトコルが業界標準として用いられています。この方式では、オンデマンド・ビデオ・コンテンツやライブストリームが、長さ数秒のMPEG-TSファイルからなる「チャンク」に分割されます。HLSは、アダプティブストリーミングに対応できます。コンテンツは、さまざまなビットレートで利用できます。ストリーミングクライアントは、その時点で利用可能な帯域幅に基づいて、各チャンクに最適な解像度を選択します。

HLSのベースとなっているプロトコルは、ウェブサイトをブラウザーに送信するために広く用いられているHTTPなので、インターネットストリームを他のウェブコンテンツと同じ方法で受信でき、ファイアウォールを通した受信も可能です。既存のインターネット・インフラを通じてオーディオビジュアルコンテンツを配信するこの方式は、オーバー・ザ・トップ（OTT）と呼ばれることもあり、ラストマイル（エンドユーザーのストリーミングクライアントまでの経路）用に多く用いられます。

CDNの欠点

CDNは、現時点で最も広く用いられているテクノロジーですが、欠点もあります。コストの高さに加え、最大の問題の1つは遅延の大きさです。コンテンツミラーリングのために、多くのCDNプロバイダーでは、HLSによるライブストリーミングの際に30秒から60秒の遅延が発生します。衛星伝送と同等の数秒の遅延を実現しているプロバイダーは、ほとんどありません。

もう1つの欠点は、ライブストリームをCDN自体に供給する責任を、主に顧客自身が負っていることです。コンテンツは、最寄りのネットワーク・アクセス・ポイントまで高い信頼性で伝送する必要があります。近くのデータセンターにCDNのアクセスポイントがない国や地域では、プロバイダーは衛星接続または専用の光ネットワークに頼らざるを得ません。

純粋にインターネットベースのインフラの問題点

インターネットはどこでも利用でき、帯域幅も拡大し続けているので、メディアコンテンツの伝送手段としてこれ以外の選択肢は事実上ありません。問題は、純粋にパケットベースのコネクションレスという媒体の性質上、クオリティ・オブ・サービス（QoS）の一般的な保証ができないことです。ルーターによるインターネットトラフィックの処理中のパケット損失や、ルーティング変更によるストリームの短時間のドロップアウトは日常的に起こります。データパケットの欠落は画像の歪みや音声の途切れにつながり、短時間のドロップアウトはライブ再生の中断を引き起こします。

ローデ・シュワルツ独自のRelayCasterが問題を解決

ストリーミングを専門に手がけるMotama GmbHの目標は、インターネットの不規則性をインテリジェントなプロセスによって補正することでした。同社はこの分野のパイオニアであり、2010年にアムステルダムで行われたIBC国際トレードショーで、RelayCaster製品を発表しました。ベルリンに本社があるローデ・シュワルツの子会社GMIT GmbHは、2017年にMotamaのテクノロジーを買収し、IPネットワークを通じた音声／ビデオコンテンツの干渉のない伝送に関する製品ポートフォリオを拡充しました。製品はローデ・シュワルツによって改良され、現在R&S®RelayCasterという名称で販売されています。拡張されたバージョンでは、SDI/HDMIデータストリームの供給とエンコードが可能になっています。この内蔵機能により、ライブコンテンツの伝送のためのコストパフォーマンスの高いプラットフォームの価値がさらに高まります。

特長：独自のプロトコル

オンラインで主に用いられているプロトコルはUDPとTCPです。UDPはライブストリームの伝送に適した性質を備えていますが、本質的に信頼性がありません。このため、パケット損失による間欠的な音声の欠落やビデオエラー（ブロックアーチファクト）が生じ、その程度は軽いものから重大なものにまで及びます。

一方、TCPは100 %の信頼性がありますが、まさにその理由で、多くの帯域幅を必要とするライブストリームを、長いインターネット距離（長いラウンドトリップ時間と多くのインターネットホップ）

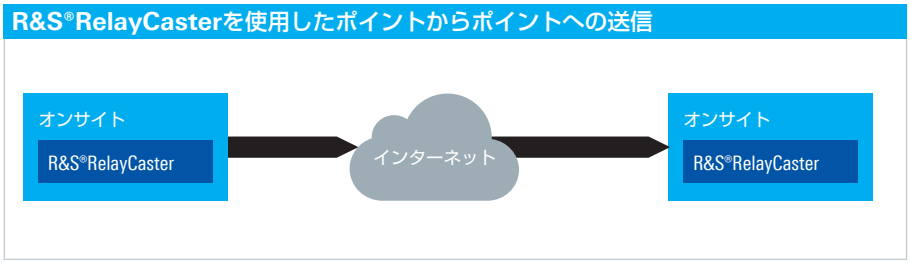


図2：R&S®RelayCasterサーバーは、ライブデータ·ストリームを、公衆インターネットを通じて、R&S®RelayCasterレシーバーに送信します。特殊なプロトコルによって、信頼できる伝送と小さい遅延が保証されます。

を通じて伝送するには適していません。わずかでもパケット損失があると、TCPは帯域幅を縮小するため、ライブストリームは停止してしまいます。この問題は、HTTPをはじめ、TCPをベースとしたすべてのプロトコルで起こります。したがって、HLSなどのストリーミングプロトコルもその影響を受けます。すなわち、パケット損失が起きると、HLSは低いビットレートに切り替わるため、音声／ビデオの品質が低下します。

Motamaのソリューションは、2つのR&S®RelayCasterインスタンス（図2）を使用して、エラーのないライブ伝送をオンラインで実現します。2つのインスタンスの間では、独自のR&S®RelayCasterストリーミングプロトコル（RCSP）が用いられます。一方のインスタンスは、ローカルネットワークから、公衆インターネットを通じて、インターネットに接続できる任意の場所にあるもう1つのR&S®RelayCasterインスタンスにライブストリームを送信します。受信側では、ライブ信号を自身のローカルネットワークに転送します。例えば、地上波放送局がコンテンツ利用者にコンテンツを放送するような場合です（図4のB2C）。

RCSPは、インターネットの管理されていない部分でのパケット損失といった問題を解決します。このプロトコルは、長いインターネット距離を隔てて利用でき、パケット損失の補正が可能で、インターネットと完全に互換性があります。オプションのAES（Advanced Encryption Standard）暗号化により、コンテンツのセキュリティーも維持できます。

RCSPはUDPに基づいており、損失パケットの最適化された再送信といったいくつかの方法の組み合わせによってQoSを実現します。このプロトコルは、UDPとTCPという2つの主要なインターネットプロトコルの利点を兼ね備えており、約1秒というきわめて小さい遅延で動作します。

Googleが開発したQUICプロトコルもUDPをベースにしていますが、完全に信頼できるデータ伝送を目標として設計されている点が、信頼性よりもリアルタイム機能を優先しているRCSPと異なります。

RCSPは、1つまたは複数のストリームを、任意の帯域幅で送信できます。ただし、入力と出力の帯域幅は、それぞれトランスミッターとレシーバーでサポートされていることが条件です。経験則として、回線品質の急激な変動に備えるため、20 %の追加の帯域幅をマージンとして組み込む必要があります。

さまざまなバージョン

R&S®RelayCasterにはさまざまなバージョンが用意されており、あらゆる規模のネットワークに対応できます。いくつかのサーバータイプ（図3）に加えて、安価なポータブルの組み込みデバイスバージョンと、純粋なソフトウェアバージョンも用意されています。ソフトウェアバージョンは、外部データセンターのリースサーバーや、Amazon AWS、Microsoft Azureといったクラウドプロバイダーの仮想マシン上で実行できます（図4）。

図3：R&S®RelayCasterには、サーバーソリューション、小型の組み込みデバイス、純粋なソフトウェアソリューションの種類があります。

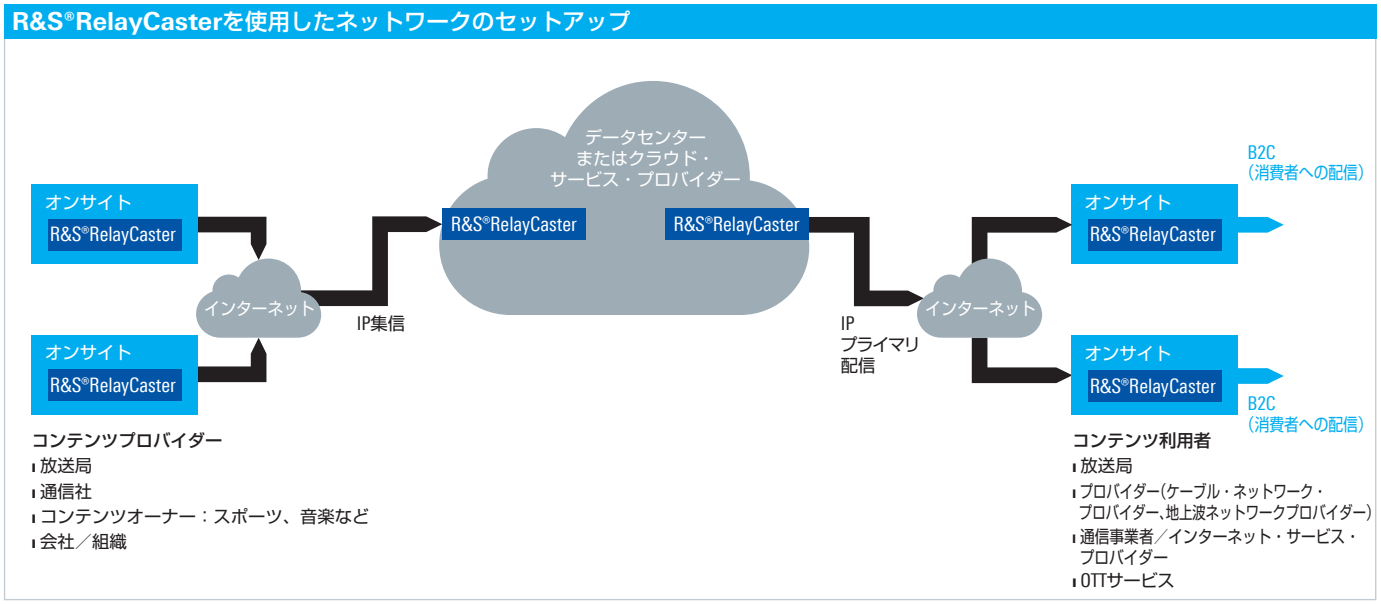


図4：R&S®RelayCasterを使えば、コンテンツプロバイダーとコンテンツ利用者をつなぐ大規模な集配信ネットワークを構築できます。このネットワークは、クラウドベースのリソースにより、ほぼ無制限に拡張可能です。

既存の伝送テクノロジーと新しいインターネットベースの集配信ソリューションを組み合わせたハイブリッドソリューションは、多くのプロジェクトに適した方式です。さまざまなアプリケーションの中から2つ例を挙げれば、衛星テレポートまでのライブコンテンツの送信や、テレポートからCDNフィードポイントまでのギャップの橋渡しが挙げられます。

まとめ

今日では、インターネットベースのIP伝送テクノロジーの成熟によって、従来の専用のポイントツーポイント接続に代わる、安定した大幅に低コストのコンテンツ配信手段が利用できるようになりました。R&S®RelayCasterは、管理されていない公衆IPネットワークを通じた干渉のない伝送に必要なQoS条件を満たします。IPベースの伝送を利用することで、ユーザーは費用のかかる衛星接続、専用接続、CDNプロバイダーに頼る必要がなくなります。R&S®RelayCasterは、特定の地域やデータセンターに制限されません。このソリューションにより、インターネット接続さえあれば、どれほど離れた場所にでもコンテンツを配信できるようになります。製作者やライブコンテンツのアグリゲーターだけでなく、ライブコンテンツ・ストリーミングやOTTストリーミングのプロバイダーにとっても最適です。この革新的プラットフォームを使用すれば、柔軟でスケーラブルな独自のコンテンツ配信ネットワークを構築し、インターネットを利用することで運用コストを革命的に引き下げることができます。

放送関連の包括的なポートフォリオ、サイバーセキュリティーに関する専門知識、グローバルな事業基盤を持つローデ・シュワルツは、この新しい汎用IPベースの時代における信頼できるパートナーです。

Dr. Marco Lohse

LANCOM Systems

ネットワーク・ソリューション・プロバイダー LANCOMがローデ・シュワルツ企業グループの一員に

ローデ・シュワルツは、ドイツの大手ネットワーク・インフラ・ソリューション企業であるLANCOM Systemsの過半数持分の割合を100 %まで増加させました。同社のソリューションは、企業顧客や公共機関向けに販売されています。この買収は、ローデ・シュワルツがネットワークおよびサイバーセキュリティーソリューションの欧州最大のプロバイダーになるための重要な一歩です。LANCOM Systemsは、企業グループ内の独立子会社となり、Rohde&Schwarz Cybersecurity GmbHとともにネットワークおよびサイバーセキュリティー事業部を構成します。同事業部の指揮を執るのは、LANCOMの創設者であるRalf Koenzenです。Koenzenは、前共同経営者のStefan Herrlichとともに、引き続きLANCOM事業の経営にあたります。

Air Zermattの迅速な運行を支えるLANCOMのクラウドソリューション

山岳救助では1秒の時間も無駄にできません。そのために、スイス・ヴァレー州のヘリコプター会社Air Zermattは、LANCOM Systemsが提供するクラウドベースのネットワークを利用しています。歴史のあるこの航空会社は、救助ミッションの際にこのネットワークを使用することで、必要なすべての運用データを収集し、驚くべき短時間で利用可能にしています。システムがスムーズに稼動するよう管理しているのは、スイスのITサービスプロバイダー Seabixです。

救助ミッションの他に運送と観光フライトの事業も営んでいるAir Zermattは、自社のITネットワークをクラウドに移行しました。ルーター、スイッチ、無線LANアクセスポイントなどのハードウェアと、ネットワーク管理ソリューションは、LANCOMが提供しています。インフラの管理は、マネージド・サービスプロバイダーのSeabix AGにアウトソーシングされました。同社は、ネットワーク全体の管理と監視を、任意の場所から単純なインターネット接続を通じて行っています(ソフトウェア定義ネットワーク)。これにより、従来のネットワーク管理方法と異なり、問題発生時に迅速なリモート対応が可能になりました。このドイツ製のソリューションは、最大のデータ保護とデータセキュリティーを実現しています。

救助が迅速に到着：Air Zermattの山岳救助隊は、LANCOMのネットワークによる迅速な緊急通報のおかげで、事故現場に短時間で到着できます。

ニュージーランドの航空交通管理プロバイダーがローデ・シュワルツをモダナイゼーションパートナーとして選択

ニュージーランドの航空ナビゲーション・サービス・プロバイダーであるAirwaysは、今後数年の間に、同国の航空交通管理（ATM）インフラ全体のモダナイゼーションを行う計画です。同社は、ATMの中心部分である音声通信システムのサプライヤーとして、ローデ・シュワルツを選択しました。

全国の航空交通管理拠点に、2段階に分けて、4系統の冗長型IPベースR&S®VCS-4G 通信システムが導入される予定です。第1段階では、オークランドとクライストチャーチの航空交通管理センターが対象となります。第2段階（2021年実施予定）では、全国にあるその他22か所の拠点がアップグレードされます。

プロジェクト全体では、200台以上のコントローラーワークステーション、新しいATC無線、さまざまな地上間通信リンクの納品、実装、および全使用期間にわたるサポートが実施されます。プロジェクトを管理するのは、Rohde&Schwarz Australiaです。

航空交通管制官の天国：クライストチャーチの管制塔からの眺めは、地平線まで広がっています。最先端のATC無線テクノロジーにより、この職場での仕事はさらにやりがいのあるものになるでしょう。

ローデ・シュワルツがNetflixのプロダクション・テクノロジー・アライアンスに参加

2018年のIBCトレードショーで、Netflixは、同社のプロダクション・テクノロジー・アライアンス製品（PTAP）プログラムを発表しました。ローデ・シュワルツは、同社のR&S®CLIPSTERマスタリングステーションでこのプログラムに参加しています。この製品は、多くのNetflixオリジナル作品のプロダクションと再生に用いられています。PTAPプログラムには、現在と将来のNetflixの仕様を満たす製品が含まれています。PTAPロゴは、Netflixのポスト・プロダクション・パートナーに対して、製品がNetflixの要件を満たすことを知らせる役割を果たします。アライアンスのメンバーであるローデ・シュワルツは、Netflixのテクノロジーロードマップにアクセスできるので、今後も必要な機能を備えた製品の開発を続けることができます。

最先端のEMC電波暗室をベトナムに開設

Rohde&Schwarz Asia（RS Asia）は、ベトナム情報通信省無線周波数管理局（ARFM）の依頼により、EMCテストセンターを建設しました。RS Asiaは、規格に準拠したEMC測定に必要な、同センターのすべての電子計測機器を提供しています。開設記念式典で、ARFMのDoan Quang Hoan局長は、Rohde&Schwarzとの協力関係は成功だったと述べました。最先端の電波暗室は、国内および国外のコンプライアンス規格でテスト環境に要求されている最も厳しい要件にも対応しています。

ホーチミン市に建設された新しい電波暗室の開設記念式典には、顧客側の高位者も出席しました。

FMはまだ現役

デジタル化がこれだけ進んだ現在でも、FMは多くの国で、信頼性の高い標準の無線テクノロジーとして確固たる地位を保っています。必要な放送インフラのアップグレードや建設も続いています。最近の2つの例を以下に紹介します。

史上最大のFMトランスミッター

ローデ・シュワルツの歴史上最大規模のFMトランスミッターシステムの導入が、ペルーで進められています。同国のメディアグループCRP Medios y Entretenimiento S.A.C.は、このトランスミッターシステムを収容するための新しいビルを建設しました。同グループが2018年4月にローデ・シュワルツのソリューションを選択したのは、そのコンパクトなデザインが理由でした。今回のシステムは幅が6 mで、30 kWのR&S®THR9 トランスミッター 8台と、20 kWの予備トランスミッターから構成されます。8台のトランスミッターは、それぞれが1つずつの番組を放送します。ローデ・シュワルツは、液冷式VHF FMトランスミッターを提供している唯一のメーカーです。これらのトランスミッターはコンパクトであるだけでなく、エネルギー効率がきわめて高く、静音で、メンテナンスに手間がかかりません。

このタイプでは最もコンパクトなトランスミッターですが、それでも巨大です。予備のキャパシティを含め、必要な出力パワーを実現するには、9台のラックが必要です。

トルコで最も高いビルに設置されるFMトランスミッター

イスタンブールに建設中のチャムルジャタワーは、高さ369 mのトルコで最も高いビルです。完成後は、ここから市内に向けてラジオとテレビの放送が行われます。ローデ・シュワルツはFMトランスミッターを供給しています。R&S®THR9シリーズの5 kWのトランスミッター80台を使用して、すべてのローカル番組が放送されます。さらに10台が予備のトランスミッターとして用いられます。ここでも、液冷式のR&S®THR9 トランスミッターのコンパクトさとエネルギー効率の高さが、受注を勝ち取る決定的要因となりました。

未来的デザインのチャムルジャタワー（画像はCG）は、イスタンブールの空にひときわ高くそびえることでしょう。

交通渋滞の中でも
自動的にレーンを空ける
未来の自動車

次世代V2Xを今すぐ体験

ローデ・シュワルツのターンキーテスト／測定ソリューションで
コンポーネントをテストすれば、将来にわたるオートノマス
モビリティ（自動運転）への道が開けます。ローデ・シュワルツは、
無線通信とEMCの分野で何十年にもわたり培った高度な知識と
豊富な経験を活用し、自動車産業向けソリューションを提供しています。

未来のドライビングの詳細についてはこちらをご覧ください：
www.rohde-schwarz.com/NextGeneration-V2X

ROHDE&SCHWARZ
オートモーティブ