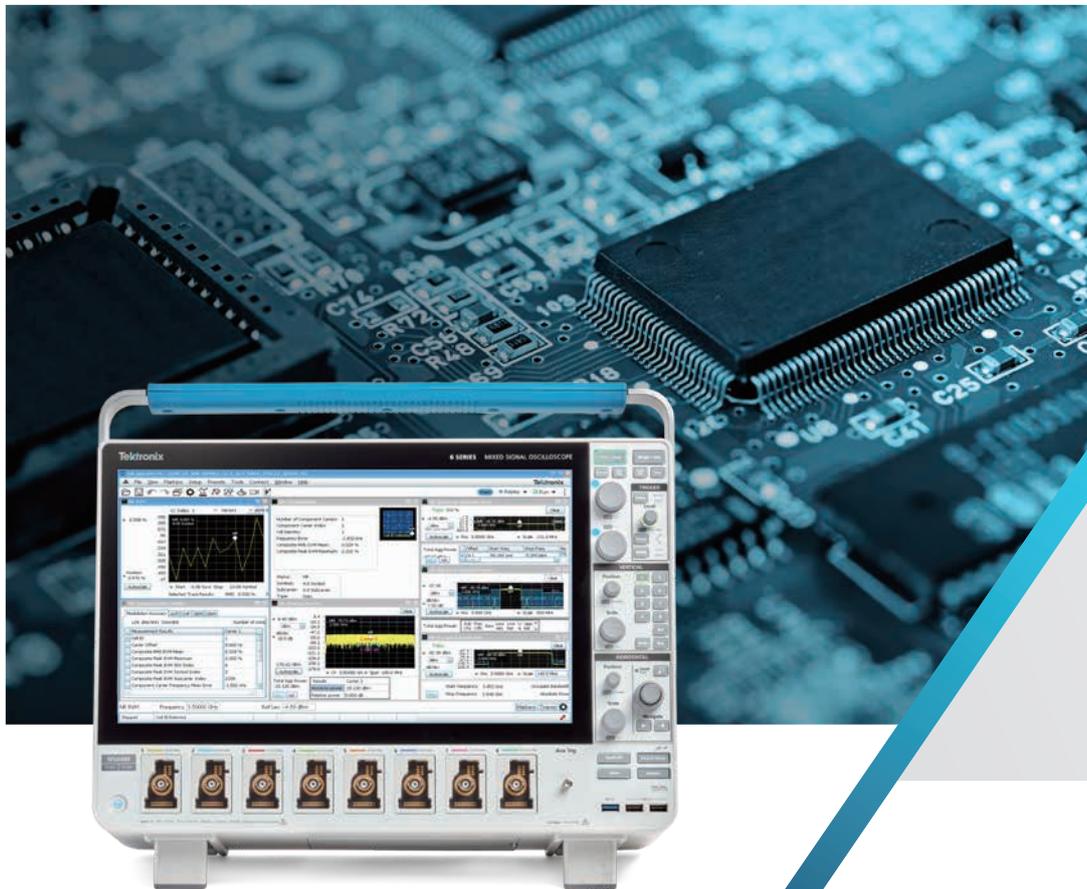


Tektronix®

# 時間、RF、デジタル・ドメインによる、 5G NR マルチチャンネル・システムの トラブルシューティング

ホワイト・ペーパー



## はじめに

デジタル、アナログ、RF信号が相互に影響し合う、複雑な5Gシステムにおいて、複数のドメインの信号を1台の計測器で同時に表示し、測定して解析できるのは非常に有益です。

5Gシステムの開発ではすでに多くのことが行われていますが、科学者やエンジニアは以下のような多くの課題に直面しています。

- 適用チャンネル (LDPC、Polar) コードの効率的な実現を含む eMBB (enhanced Mobile Broadband) トランシーバの実装課題、トランシーバ設計のエネルギー効率、大きなFFTサイズのOFDMおよびDFT-spread-OFDM信号に対する強力な同期方法など
- 効果的なチャンネル・コーディング、無線リソースへの確実なアクセス、トランシーバ設計を含む、V2X、遠隔制御通信システム向けの超信頼性URLLC (Ultra-reliable low-latency communication) 伝送方式の検討
- ミリ波領域の通信における、トランシーバ実装の具体的な問題点についての考察
- Massive MIMOの構造とアルゴリズム
- mMTC (巨大マシン型通信、例：Internet of Things) のためのエネルギー効率の良い伝送、同期、多重アクセス方式
- mMTCのための変調と符号化
- 5Gにおけるコグニティブ無線のアプリケーション

## アナログ、デジタル、RF信号の相関関係による原因究明

5Gシステムは、デジタル信号、アナログ信号、RF信号の協調性に依存しています。現在、RFパワー・アンプの同期、ゲイン、タイミングの特性テストは、MIPIをRFフロントエンド制御インターフェース (RF FE) として使用するような、最新の制御インターフェースと組み合わせる必要があります。

干渉、グリッチ、スプリアス、ドロップアウトなどのエラーを発見するためには、複数のドメインにまたがる信号を解析できることが重要になります。

このホワイト・ペーパーでは、広帯域RFアンプの代表的な5Gシステムのデバッグと検証のシナリオを説明します。

## テスト・セットアップ

RFアンプ性能の解析でマルチドメイン・オシロスコープを使用する利点を説明するため、ここではアキュイジション・ハードウェアとして、テクトロニクス社の[6シリーズB MSO \(ミックスド・シグナル・オシロスコープ\)](#)を使用します。



図1. SignalVu-PCソフトウェアをインストールした6シリーズB MSO

DUT (被測定デバイス) は、Mini Circuits社製GVA-123+です。小型のRFアンプですが、ユーザ端末と基地局のアプリケーションで一般的な測定課題を見ることができます。

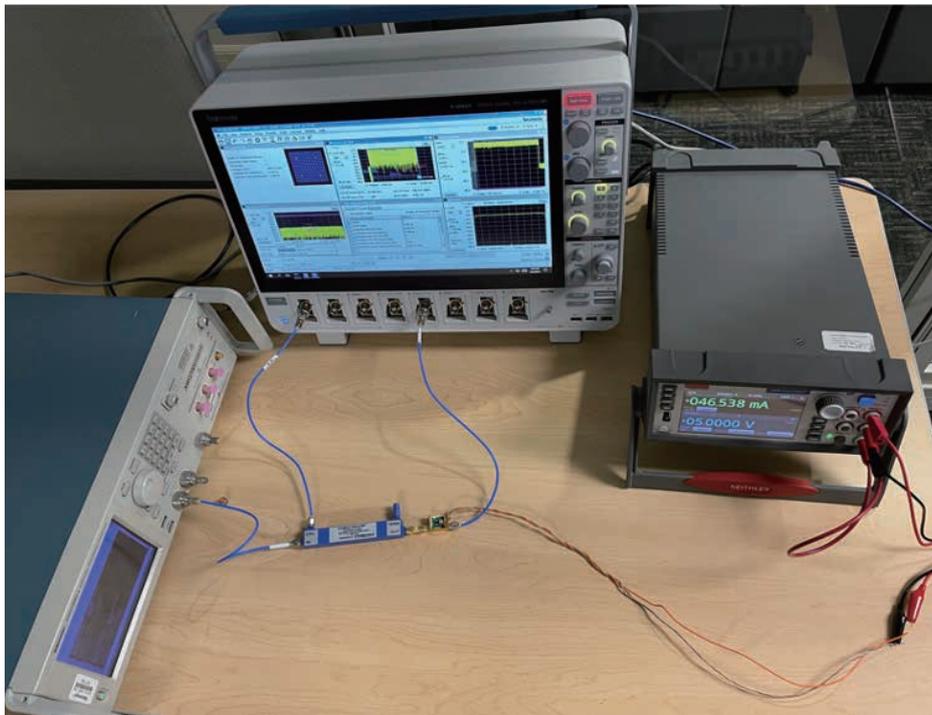


図2. オシロスコープ、シグナル・ジェネレータ、カプラ、電源、DUTによるテスト・セットアップ

信号源には、テクトロニクス社の[AWG70000Bシリーズ任意波形ジェネレータ](#)を使用します。3.5GHzの中心周波数、100MHzの帯域幅の5G New Radio (NR) キャリアを出力します。30kHzのサブキャリア間隔(SCS)、256-QAM、11.5dBのOFDM PAPRを持つアップリンク信号です。AWGは、250mV~500mVのPeak-to-Peak信号、つまり約-11~-17dBmの合成平均パワーになるように調整します。

カブラ (ZDC-10-0123) を使用して、オシロスコープのCh1で入力信号を取込みます。

ケースレーのソースメータ (SMU) でDUTに電源を供給します。

さらに、オシロスコープのCh6に電流プローブを接続して、アンプに流れる電流を測定します。

6シリーズB MSOのオシロスコープにおいて、オプションの5G NRプラグインを備えたSignalVu VSAソフトウェアを実行し、Ch1で取込んだ信号を解析するように設定します。

## 測定例

この例では、RF入力でトリガをかけ、良好な測定結果が得られているアンプを観測しています。



図3. この測定では、コンスタレーション・ダイアグラムで表示されているEVMは期待通りになっている

突然、外乱による大きな歪みで変動が発生しています。何が原因なのでしょう。



図4. この測定では、EVMが想定より大きくなっている

上の2つの画面を見ると、コンスタレーション・ダイアグラムにおける5G EVMが、良い状態と悪い状態で波打っているのがわかります。パワー対時間の表示から、信号パワーが途切れていることがわかります。

RFドメインで何かおかしいという兆候があるので、その原因を探ります。

電源に何か問題があるのでしょうか。従来のVSAでは、ここで行き詰って、まだ推測の域をでないのではないのでしょうか。しかし、6シリーズMSOがあれば、アナログ、デジタル、RFが同時に観測でき、相関付けて原因を探ることができます。

Ch6の電流プローブによる測定、Ch5のRF出力を見ると、ところどころに電流の欠落があります。

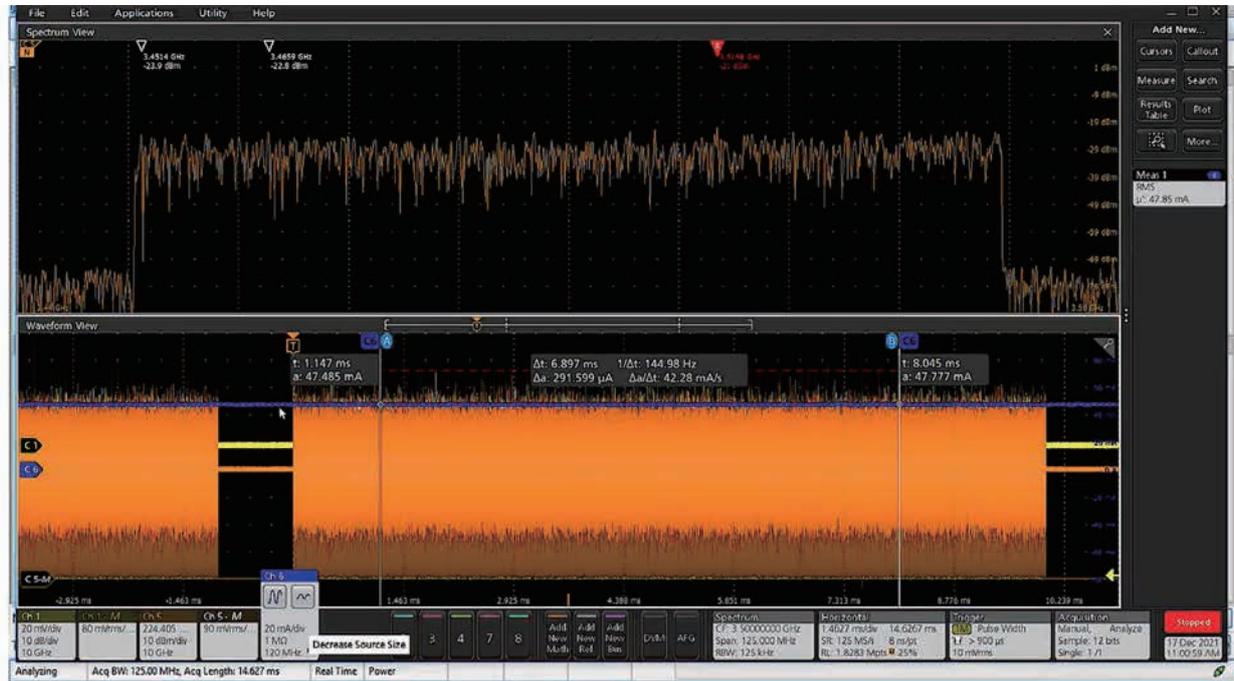


図5. この波形取込みでは、電源は48mAを供給し (Ch6, 青)、パワー・アンプの出力は公称値 (Ch5, オレンジ) であることがわかる

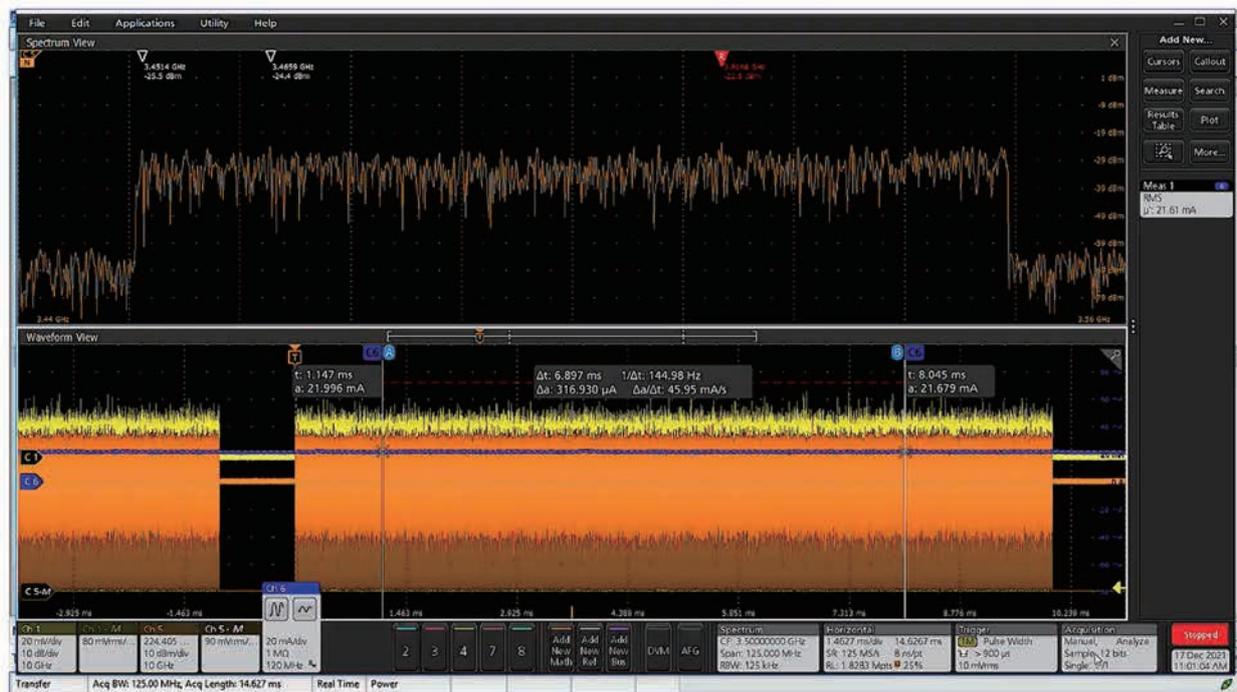


図6. この波形取込みでは、電源は22mAを供給し (Ch6, 青)、パワー・アンプの出力 (Ch5, オレンジ) が低下していることがわかる

そこで、周波数ドメインのRFパルスにトリガするのではなく、時間ドメインの電流でトリガしてみます。

トリガ・ソースを、Ch6の電流プローブに変更します。また、47mAで適切に動作していることから、トリガを43mAに設定して電流がいつ低下するのかを観測します。パルス・リミットの代わりに、電流のエッジでトリガするように設定します。



図7. 電流低下の状態を取込むために、電流の低下で取込むようにトリガを設定

RF 欠落の原因をオシロスコープと相関させ、SignalVuに戻ると、電流が低下するタイミングを捉えることができます。

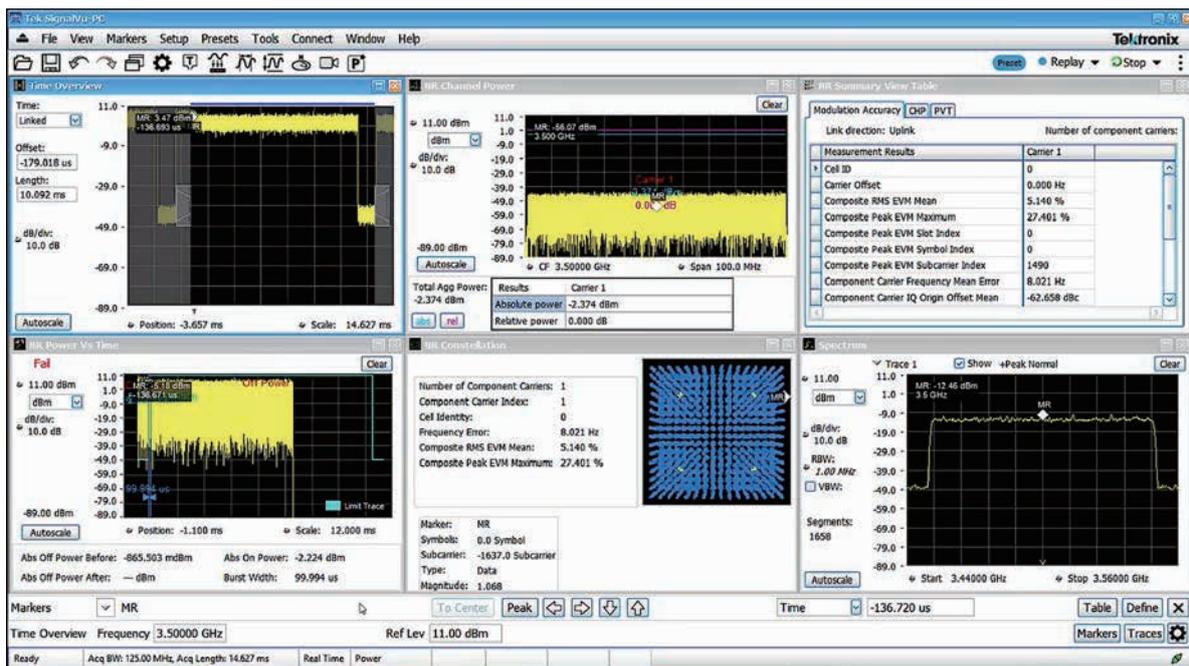


図8. 電流低下でトリガした場合、コンスタレーション・ダイアグラムで常にEVMの劣化が観測できる

オシロスコープ画面に表示されるRFドロップと電流に、相関関係があることがはっきりとわかります。電流のドロップアウトでトリガしたことで、コンスタレーションまたはEVM表示で劣化が確認でき、真の問題が見えてきます。障害の瞬間にトリガしたため、EVMが常によくないことがわかります。

電流が仕様内にあるときにトリガし、RF測定がどうなるかを見てみましょう。この場合、トリガの向きを立上りに変更するだけで、電流が仕様内にあるときに取込むことができます。オシロスコープのアプリケーションでは、RFのエネルギー・レベルは期待通り元に戻り、SignalVu VSAのアプリケーションを見ると、取込んだすべての5G信号は仕様に合わせています。

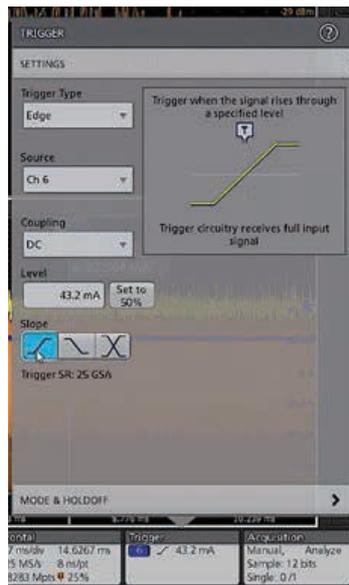


図9. わずかなボタン操作により、電流の増加でトリガするように設定でき、  
電流が正常に戻ったときに信号を取込むことができる



図10. 電流の立上りエッジでトリガすると、電流が正常に戻った時の測定が可能

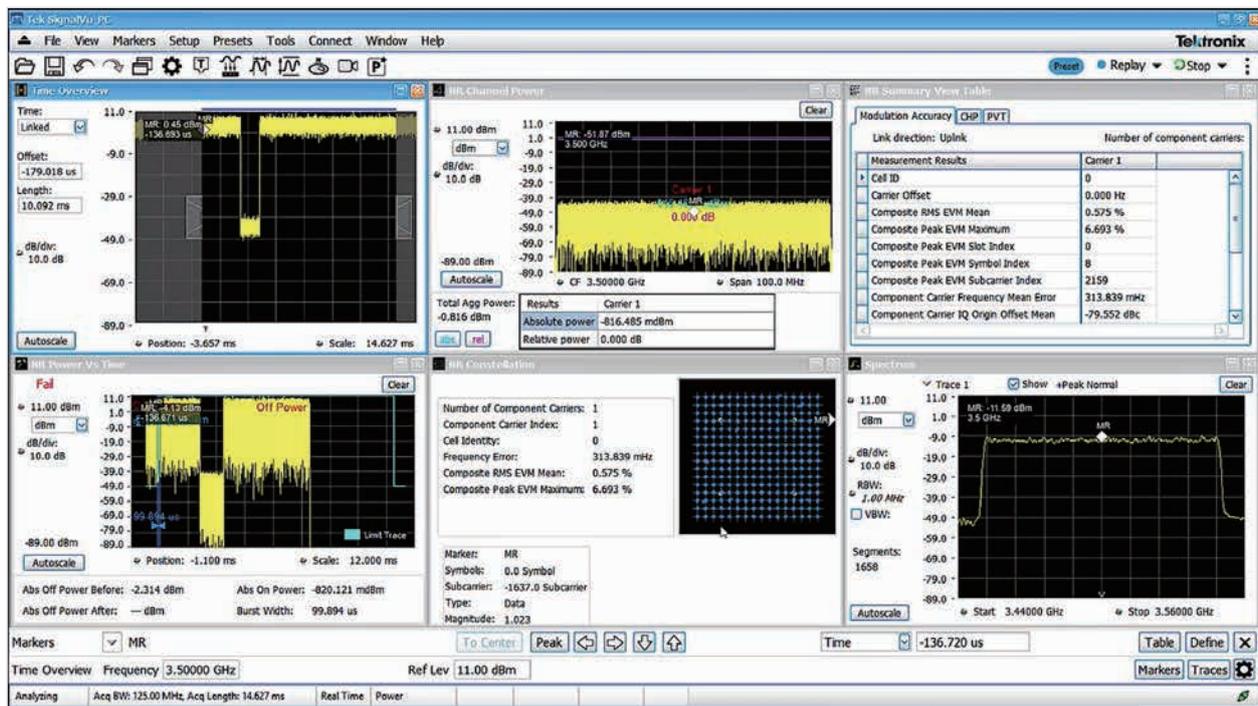


図11. 正常の電流レベルが測定されると、EVMは常に仕様を満足する

電流が仕様を外れると、RF出力、EVMは仕様を外れます。このため、RF性能低下の原因を、電源電流の周期的な低下と関連付けました。

このシンプルなデモでは、SMUを使用して電流をステップ・アップ、ステップ・ダウンしています。5Gの設計エンジニアであれば、DPD(Digital Pre-distortion) アルゴリズムやDPD係数のロード・エラーによる電流変動の根本的な理由を、より詳細に知っているかもしれません。

オシロスコープベースのソリューションでは、電力付加効率 (PAE) など、アンプの正確な電力効率を測定、計算することもできます。

この例で使用しているデバイスにはデジタル・バスはありませんが、ある場合は、デジタル・バスにトリガして、問題をデジタル・バスの動きと関連付けることが可能です。

## テクトロニクスのソリューションのまとめ

同期のとれたマルチチャンネル・スペクトラム解析と時間ドメイン波形は、迅速な5Gのトラブルシューティングに役立ちます。

5Gシステムは、デジタル信号、アナログ信号、RF信号の協調性に依存しています。干渉、グリッチ、スプリアス、ドロップアウトなどのエラーを発見するためには、複数のドメインにまたがる信号を解析できることが重要になります。

4、5、6シリーズMSOでは、各入力部において、カスタムASIC内に12ビットのADCがあります。それぞれのADCは、2つの経路で高速のデジタル・データを送ります。このアプローチにより、時間ドメインと周波数ドメインの取込設定が独立して行え、信号の波形表示、スペクトラム表示の両方が最適に行えます。この独自のSpectrum View機能により、最高8チャンネルで時間ドメイン、RFドメイン、デジタルドメインを同期して測定できます。

6シリーズMSOは、最高10GHzの周波数範囲、最高2GHzのRF解析帯域があり、Sub 6 (FR1) 5G信号を直接測定できます。詳細については、当社Webサイトをご覧ください。

- [5Gテスト](#)
- [6シリーズB MSO \(ミックスド・シグナル・オシロスコープ\)](#)
- [スペクトラム・アナライザ・ソフトウェア](#)

**お問い合わせ先：**

オーストラリア 1 800 709 465  
オーストリア 00800 2255 4835  
バルカン諸国、イスラエル、南アフリカ、その他ISE諸国 +41 52 675 3777  
ベルギー 00800 2255 4835  
ブラジル +55 (11) 3530 8901  
カナダ 1 800 833 9200  
中央／東ヨーロッパ、バルト海諸国 +41 52 675 3777  
中央ヨーロッパ／ギリシャ +41 52 675 3777  
デンマーク +45 80 88 1401  
フィンランド +41 52 675 3777  
フランス 00800 2255 4835  
ドイツ 00800 2255 4835  
香港 400 820 5835  
インド 000 800 650 1835  
インドネシア 007 803 601 5249  
イタリア 00800 2255 4835  
日本 81 (3) 6714 3086  
ルクセンブルク +41 52 675 3777  
マレーシア 1 800 22 55835  
メキシコ、中央／南アメリカ、カリブ海諸国 52 (55) 88 69 35 25  
中東、アジア、北アフリカ +41 52 675 3777  
オランダ 00800 2255 4835  
ニュージーランド 0800 800 238  
ノルウェー 800 16098  
中国 400 820 5835  
フィリピン 1 800 1601 0077  
ポーランド +41 52 675 3777  
ポルトガル 80 08 12370  
韓国 +82 2 565 1455  
ロシア +7 (495) 6647564  
シンガポール 800 6011 473  
南アフリカ +41 52 675 3777  
スペイン 00800 2255 4835  
スウェーデン 00800 2255 4835  
スイス 00800 2255 4835  
台湾 886 (2) 2656 6688  
タイ 1 800 011 931  
イギリス、アイルランド 00800 2255 4835  
アメリカ 1 800 833 9200  
ベトナム 12060128  
2022年2月現在



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

テクトロニクス／ケースレイインスツルメンツ

各種お問い合わせ先：<https://www.tek.com/ja/contact-tek>

技術的な質問、製品の購入、価格・納期、営業への連絡、修理・校正依頼  
〒108-6106 東京都港区港南2-15-2 品川インターシティB棟6階

記載内容は予告なく変更することがありますので、あらかじめご了承ください。

Copyright © 2022, Tektronix. All rights reserved. TEKTRONIX およびTEKはTektronix, Inc. の登録商標です。  
記載された製品名はすべて各社の商標あるいは登録商標です。

2022年8月 61Z-73902-0