

第5世代移動通信システム(5G)に対応した シグナルアナライザ MS2850A の開発

大谷 暢 Toru Otani, 富崎巧一郎 Koichiro Tomisaki, 伊藤伸一 Shinichi Ito, 塩沢良洋 Yoshihiro Shiozawa,
小野 純 Jun Ono, 木村淳一 Junichi Kimura, 近藤佑樹 Yuki Kondo, 呉 志輝 Zhihui Wu

[要 旨]

ワイヤレスネットワークの更なる発展のため、5G への期待が高まっている。5G では多数同時接続、超低遅延、超高速等の実現が検討されている。超高速の実現のためには、信号の広帯域化が必須であり、より広い帯域が利用可能なマイクロ波・ミリ波の活用が検討されている。アンリツはこの広帯域化、高周波化の要求に応えるため、解析帯域幅 1 GHz、上限周波数 44.5 GHz に対応したシグナルアナライザ MS2850A を開発した。MS2850A は 5G に対応した初めてのミドルレンジ価格帯のシグナルアナライザでありながら、優れた帯域内フラットネス性能とダイナミックレンジ性能を装備しており、より確度の高い測定を可能にした。さらに 5G に対応したアプリケーションソフトウェアを本体に搭載可能であり、測定の簡易化と測定速度の高速化を実現した。

1 まえがき

近年 5G の商用化に向けての機運が高まっており、無線通信メーカ各社は実証実験から商用製品の開発・製造設備の検討段階に入りつつある。5G ではさまざまな技術革新が検討されているが、その必須要件のうちの一つである「超高速」を達成するため、国際的な調和が可能な周波数帯域幅の利用が検討されている。しかしながら、これまでの移動体システムで使用されている 3 GHz 以下の周波数では、広い帯域幅を確保することは難しく、より帯域幅を広く取ることが可能なマイクロ波、ミリ波帯(例えば 28 GHz 帯や 39 GHz 帯)の使用が検討されている。

このような信号の試験を実施するためには、高周波数・広帯域解析が可能なシグナルアナライザが必要であるが、高価なハイエンド機に限られていた。しかしながら、商用化が進み、その製品の開発・製造においては、数多くの測定器が必要であり、設備投資費が膨らんでしまうことが問題となる。

このような課題を解決するため、アンリツは業界で初めて、ミドルレンジクラスにて 5G に必要な広帯域信号の解析が可能なシグナルアナライザ MS2850A を開発した。MS2850A は、解析帯域幅 1 GHz、上限周波数 44.5 GHz を実現するだけでなく、市場のハイエンド機をも上回るダイナミックレンジ性能(ADC: Analog to Digital Converter レンジのオーバーフローレベルとノイズフロアの差)と優れた帯域内フラットネス性能を備えている。この優れたダイナミックレンジ性能により、5G での使用が有望視されている 28 GHz の周波数において、100 MHz の帯域を持った 1 キャリアの信号を測定した場合、EVM(Error Vector Magnitude) $\leq 1\%$ を実現した。加えて、最大 8 キャリア一括測定に対応した 5G 測定ソフトウェア MX285051A を本体に搭載可能とし、簡単で高速な 5G 信号の変

調解析を可能とした。また 16 GByte の大容量波形メモリと本体に取り込んだ波形を外部 PC に高速転送が可能な外部インタフェースを搭載し、広帯域信号の解析に適したプラットフォーム構成とした。

図 1 に MS2850A の外観を示す。



図 1 MS2850A の正面図

2 開発方針

5G に対応したシグナルアナライザを実現するため、本開発では、以下の方針を立てた。

- (1) 中心周波数 28 GHz、100 MHz 帯域の信号において EVM $\leq 1\%$ の達成

5G では 28 GHz 帯の使用が有力視されており、その周波数帯域において、100 MHz 帯域幅にて EVM $\leq 1\%$ を目標とした。そのため測定信号の PAPR(Peak to Average Power Ratio)を 14 dB と想定して、SNR(Signal to Noise Ratio) ≤ 54 dB 以上のダイナミックレンジ性能を目標とした。

- (2) 優れた帯域内フラットネス性能の実現

2020 年代には移動体通信のトラフィック量は 2010 年に対して 1000 倍以上に増大すると予想されており、5G は膨大なトラフィック量を低コスト・低電力で提供することが求めら

れている。このような要求に対応するため、Massive MIMO や DPD(Digital Pre-Distortion)といった技術の研究・開発が進められている。これらの技術は帯域内振幅特性・帯域内位相特性が性能に影響を与えるため、測定器にはこれまで以上に優れた帯域内フラットネスが求められている。

MS2850A は中心周波数 28 GHz, 1 GHz 解析帯域幅において以下の帯域内フラットネスを目標とした。

帯域内振幅特性: ± 1.25 dB

帯域内位相特性: 6° p-p

(3) 解析帯域幅 1 GHz と大容量キャプチャの実現

5G のように高速な次世代通信システムでは、帯域幅の拡大に伴い高いサンプリングレートで ADC を動作させ信号を取り込む必要がある。サンプリングレートが高くなったことでデータサイズも大きくなる。

MS2850A では 1 GHz 解析帯域幅を実現するため、FPGA(Field Programmable Gate Array)での信号処理を高速データに追従可能な速度で行うことを目標とした。また、大きなデータサイズに対して不具合解析等を行うのに十分な大容量キャプチャが可能であることを目標とした。

(4) 5G 向け測定ソフトウェアの搭載

MS2850A には今後、開発や製造が本格化する 5G 規格に沿った信号の解析に対応した測定ソフトウェアを本体に搭載する。5G の規格策定については 2016 年 6 月に Verizon 5G Technical Forum が策定した Verizon 5G 規格が公開された。今後、Verizon 5G 規格に基づく機器の開発・製造が始まることが考えられる。一方、Verizon 5G Technical Forum とは別に 3GPP においても 5G の規格策定が推進されており、Verizon 5G 規格とは異なる物理層規格となる見込みである。このため、搭載される 5G 向け測定ソフトウェアは今後策定さ

れる 3GPP の 5G 規格にも対応できる構成とする。

(5) 高速データ転送用外部インタフェース

規格策定途上にある通信システムの研究・開発段階においては、研究者・開発者は独自に測定環境を構築し、独自の信号解析ソフトウェアを作成する場合がある。特に 5G のような広帯域信号を扱う通信システムでは、高いサンプリングレートでデータを取り込む必要があり、その結果キャプチャデータサイズは非常に大きくなる。大容量のデータを外部の PC で取り扱う場合、測定器と PC の間のデータ転送速度が課題となる。MS2850A は大容量データの高速転送を目的とした、USB 3.0(Universal Serial Bus, Version 3.0)と PCIe2.0 x8(Peripheral Component Interconnect Express Generation 2, 8 lane)の 2 つの外部 PC 向け高速データ転送用外部インタフェースを搭載することとし、以下の平均データ転送速度を目標とした。

USB 3.0: 300 Mbyte/s

PCIe2.0 x8: 2000 Mbyte/s

3 設計の要点

3.1 MS2850A の構成

図 2 は MS2850A の内部構成図である。左端の INPUT 端子から入力された RF(Radio Frequency)信号は RF ATT(RF Attenuator)で適切な入力レベルに調整されミキサに入力される。ミキサで LO(Local Oscillator)信号と混合され RF 信号が IF(Intermediate Frequency)信号に変換される。変換された IF 信号は Antialiasing Filter を通り、IF AMP(IF Amplifier)と IF ATT(IF Attenuator)によりレベル調整されて ADC に入力される。ADC でサンプリングした IF 信号を FPGA で複素信号に変換して信号処理を施し、画面にスペクトラムを描画する。

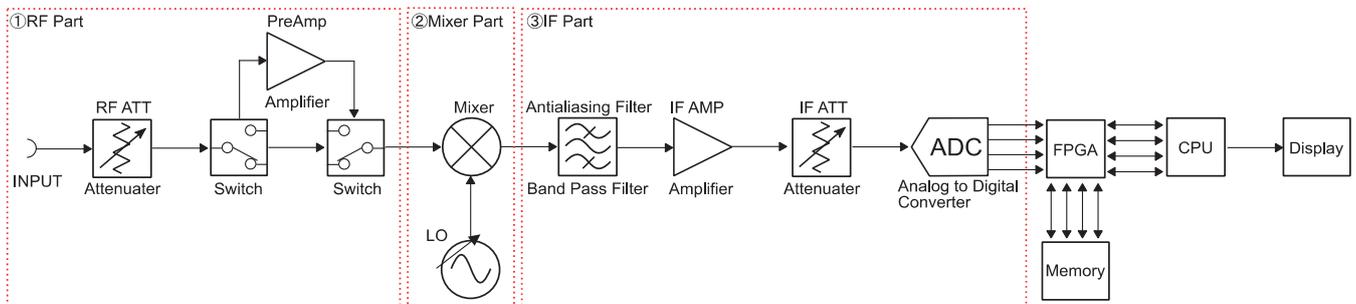


図 2 MS2850A の構成

3.2 中心周波数 28 GHz, 100 MHz 帯域の信号において EVM ≤ 1% の達成

通信装置の変調精度指標の一つとして EVM がある。理想的な信号を測定したときの変調精度を残留 EVM と言い、変調解析時の測定限界を決めるため、測定器の重要な性能指標である。残留 EVM が小さいほど測定誤差は小さくなるため、性能の良い測定器であるといえる。

測定器の残留 EVM はさまざまな要因 (SNR, ひずみ, 位相雑音等) によって複合的に決まるが、広帯域信号の場合は SNR が支配的要因となる。なぜなら信号の帯域が広がるにつれて電力密度が下がり、SNR の残留 EVM への寄与分がほかの誤差要因に対して相対的に増加するからである。例えば表示平均雑音レベルが -140 dBm/Hz のシグナルアナライザに帯域が 20 MHz (例: LTE) でレベルが -10 dBm の信号を入力したとすると、SNR は 57 dB, EVM 換算で 0.14% の寄与となる。一方、帯域が 100 MHz になった場合 (例: 5G) を考えると、SNR は 50 dB, EVM 換算で 0.3% となる。これは信号が広帯域化するに従い、測定器の SNR の影響が無視できなくなることを示しており、測定器のノイズフロアはできるだけ低いことが望ましい。

5G システムを取り巻く環境には SNR を低下させるいくつかの要因がある。

1 つは PAPR が大きいということである。5G システムでの使用が検討されている OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 信号の PAPR は約 14 dB である。PAPR は信号の平均電力とピーク電力の比である。信号を劣化なく扱うためにはピーク電力が測定器の ADC フルスケール上限レベルを超えないように入力 (あるいは測定器内部のアッテネータで調整) する必要がある。これは平均電力を測定器の上限レベルから PAPR 分だけ低く設定する必要があることを意味し、SNR を PAPR 分だけ低下させてしまう。この関係を図示すると図 3 のようになる。シグナルアナライザの場合、システムのダイナミックレンジは信号経路の NF (Noise Figure) と ADC 自身の SNR の和で決まる。最大信号レベルは ADC のフルスケール値で決まるが、信号の PAPR が存在するため、実質的な SNR は図のように PAPR 分低下してしまうのである。

2 つめは現在入手可能な広帯域 ADC のビット数が小さいことである。ADC の SNR はそのビット数によって決まるが、これが小さいため、システムの SNR がこれまでの狭帯域システムに比べて低い (図 3 を用いて説明すると、広帯域 ADC の方が狭帯域 ADC よりもノイズレベル N が高いということの意味する)。

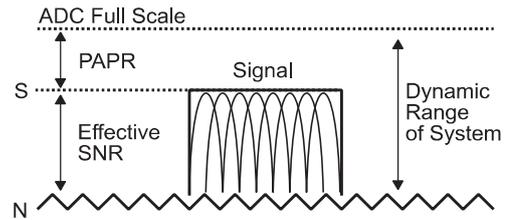


図 3 シグナルアナライザの実質的な SNR

MS2850A では狭帯域信号解析用と広帯域信号解析用の ADC を別々に装備しているが、前者のビット数は 16 bit, 後者は 12 bit である。

以上まとめると、広帯域シグナルアナライザでは ADC のビット数起因でシステム全体としての SNR が低いうえ、さらに PAPR や帯域幅により実質的な SNR が低下してしまう。このような背景があるため測定器内部のレベル調整を最適化することは重要になる。一般的なシグナルアナライザにおいて、レベル調整機構はフロントエンドに配置されるアッテネータ (図 2 の RF ATT) のみである。この場合 RF ATT だけで ADC をオーバーフローさせずに SNR が良くなるポイントを探す必要が出てくるが、可変機構が 1 つしかないためこの両立は難しい。RF ATT を小さくすると信号経路の SNR が良くなる一方で、PAPR 起因で ADC がオーバーフローしやすくなる。逆に ADC のオーバーフローが起きないようにするために RF ATT を大きくすると、信号経路の SNR が悪化してしまうからである。

MS2850A ではこの問題を IF 段に可変アッテネータ (IF ATT) を配置し RF 入力レベルの調整 (RF ATT) と ADC 入力レベルの調整 (IF ATT) を分けることで解決した。ミキサを線形領域で使うためのレベル調整機構として RF ATT を使用する。ミキサが歪まない範囲で RF ATT 減衰量を少なくすることで信号経路の SNR を最大限にする。この場合 ADC がオーバーフローする恐れがあるが、IF ATT により ADC の入力レベルを調整することでオーバーフローを避けることができ、システムとしての最大の SNR を得ることが可能になる。

以上により、MS2850A は中心周波数 28 GHz, 100 MHz 帯域の Verizon 5G 信号入力時に、EVM=0.83% (図 4) を達成した。

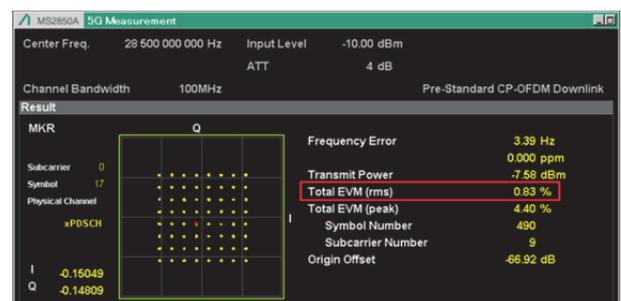


図 4 MS2850A での EVM 解析結果

3.3 優れた帯域内フラットネスの実現

MS2850A は帯域内振幅特性 ± 1.25 dB, 帯域内位相特性 6°p-p を実現するため, 内部回路の状態に応じて適切な補正がされるように設計されている。

MS2850A の各部 (図 2) が帯域内フラットネスに与える影響について説明する。

① RF Part

RF 部では信号が最適なレベルで Mixer に入力されるように, RF ATT や Pre-Amp によりゲイン調整がされる。RF 部は非常に広い周波数範囲の信号を通すことができるようにつくられており, MS2850A は 9 kHz から 44.5 GHz までの信号を通すことができる。

例えば数 10 MHz などの狭い周波数範囲で見た場合, RF 部の周波数特性は平坦であり良好な特性を持つが, 5G で扱うような 1 GHz といった帯域幅になると, 狭い周波数範囲と比較して性能が悪化する。

またゲイン調整のため RF ATT や Pre-Amp の切り替えが行われるが, これらの経路間の周波数特性の変化についても考慮する必要がある。

② Mixer Part

LO 信号の周波数の変更は LO 信号のレベル変化を引き起こす。その結果, Mixer から出力される信号の帯域内フラットネスに影響を与えることに注意する必要がある。広い周波数範囲で良好な帯域内フラットネスを維持するためには, LO 信号の周波数の変化による帯域内フラットネスへの影響を把握することが重要である。

③ IF Part

IF 部では不要な信号を除去するため, Antialiasing Filter によるフィルタリングが行われる。また測定ダイナミックレンジを最適化するため, IF ATT が調整される。

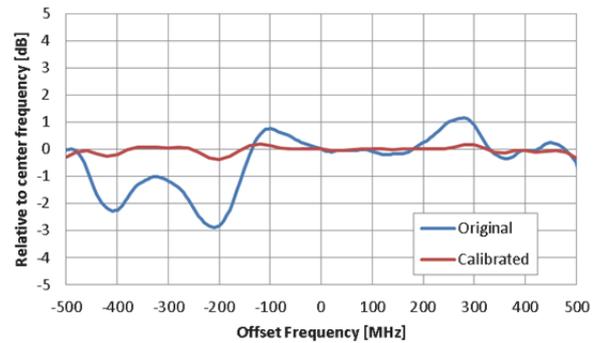
Antialiasing Filter は解析帯域外の信号によるイメージ発生を抑えるため急峻な減衰特性を持っており, このことは帯域内フラットネスに大きな影響を与える。また IF ATT は, アッテネータ値の変更がインピーダンスを変化させ, 帯域内フラットネスに影響を与える。

MS2850A は①～③に記載の振幅・位相特性に影響する要因を補正することにより, 中心周波数 28 GHz において, 帯域内振幅特性^{*1}: ± 1.2 dB, 帯域内位相特性^{*2}: 5°p-p という帯域内フラットネス

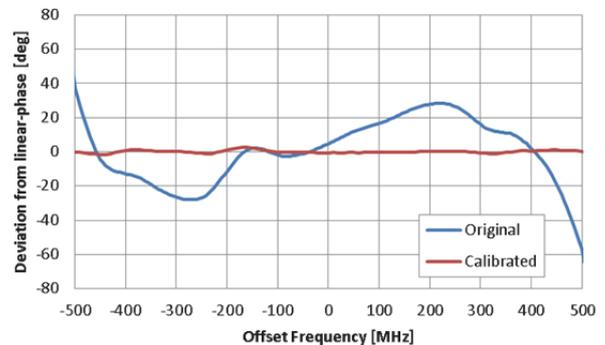
*1: 18~28°C, 中心周波数でのレベルを基準として, 帯域幅 > 31.25 MHz における公称値。

*2: 直線位相特性からの偏差。帯域幅 > 31.25 MHz, ATT 10 dB, プリアンプ=Off, Reference Level ≤ 0 dBm 設定時。オフセット周波数 \leq 中心周波数 ± 500 MHz における公称値。

を実現した。補正を行う前と補正を行った後の MS2850A の帯域内振幅特性の実測値を図 5(a)に, 帯域内位相特性を図 5(b)に示す。



(a) 帯域内振幅特性



(b) 帯域内位相特性

図 5 補正前と補正後の帯域内フラットネス (中心周波数=28 GHz)

3.4 解析帯域幅 1 GHz と大容量キャプチャの実現

(1) 解析帯域幅 1 GHz の実現

MS2850A は 1 GHz 解析帯域幅を実現するため, ADC から高速サンプリングされたデジタルデータを FPGA 内部で高速信号処理する機能を装備している。

図 6 に示すように ADC と FPGA 間は JESD204B 規格で通信を行っている。JESD204B 規格とは, コンバータと FPGA 間の高速通信を行うために策定されたシリアルデータ通信の標準規格であり, 最大で 12.5 Gbps/レーンの高速通信ができる。

MS2850A は JESD204B 規格に対応した 12 bit, 2600 MSample/s の ADC を用いて, FPGA にデジタルデータを送信している。しかし, FPGA の動作クロックはデバイスグレードや回路規模にもよるが, 数百 MHz 程度であり, そのままでは 2600 MSample/s のデジタルデータは処理できない。そのため受け取ったデジタルデータを並列処理することで, ADC の高速データ取得に追従した解析を可能とした。

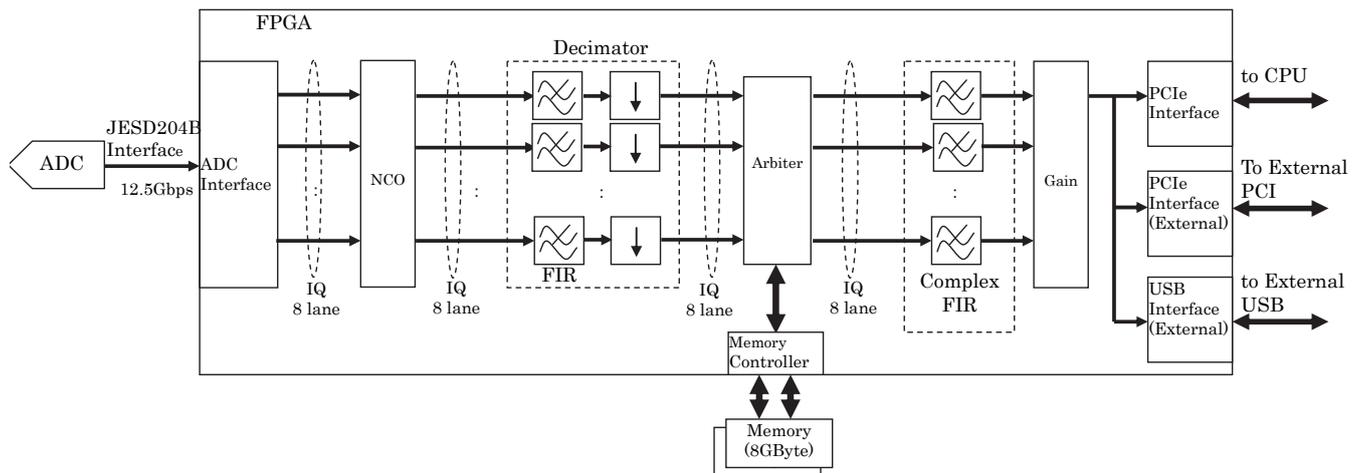


図6 FPGA 内部の並列化処理

また、2 項(2)で挙げられている優れた帯域内フラットネス性能の実現のため、帯域内の振幅・位相特性を補正することが可能な補正フィルタを実装した(本補正フィルタを利用した補正前後の帯域内フラットネス特性については 3.3 項を参照)。

CPU へのデータ転送には PCIe2.0 x8(Peripheral Component Interconnect Express Generation 2, 8 lane)を採用しており、その転送速度以上の処理を行うことができるように、本補正フィルタに関しても並列処理を行っている。

(2) 大容量キャプチャの実現

キャプチャデータサイズはほぼ解析帯域幅に比例して増加する。表 1 は LTE と 5G のデータを MS2850A でキャプチャしたときのキャプチャデータサイズを比較したものである。

表 1 LTE と 5G のキャプチャサイズ比較

	Each per Frame [ms]	Sampling Rate [MSample/s] ^{*1}	Size [MByte]
LTE	10	50	1
5G	20 ^{*2}	1300	104

*1: LTE の帯域幅は 30.72 MHz, 5G の帯域幅は 800 MHz を想定し、それぞれに対応したサンプリングレートとした。

*2: 3GPP TS 38.213 V1.1.0 (2017-10)による。

このように 5G では、LTE の 100 倍以上のキャプチャデータサイズとなる。さらにこれらの信号に対して不具合解析等を行う場合は、複数フレームのデータが必要となる。そのため MS2850A には 16 GByte のメモリ容量を実装した。なお、本メモリ容量は 2017 年 11 月現在、シグナルアナライザの波形メモリ容量としては世界最大である。表 2 は MS2850A での解析帯域幅とサンプリングレートと最大キャプチャ時間を示したものである。

表 2 Span とキャプチャサイズの関係

Span [MHz]	Sampling Rate [MSample/s]	Maximum Capture Time [s]
1000	1300	3.07
510	650	6.15
255	325	12.3
125	162.5	24.6

このように MS2850A は大容量キャプチャを実現することで、広帯域信号の解析を可能とした。

3.5 5G 向け測定ソフトウェアの搭載

5G 向け測定ソフトウェアは、以下のように対応する物理層規格をオプションとすることにより、本当に必要な機能のみを選択することによって測定環境構築のための費用対効果を高めることを可能とした。また、対応する物理層規格をオプションとすることで、今後策定される 3GPP の 5G 規格の追加にも柔軟に対応可能である。2017 年 11 月時点で商品化されている MS2850A に搭載可能な 5G 向け測定ソフトウェアは表 3 のとおりとなっている。

表 3 5G 向け測定ソフトウェアの形名と品名

形名	品名
MX285051A	5G Standard Measurement Software (Base License)
MX285051A-001	Pre-Standard CP-OFDM Downlink
MX285051A-051	Pre-Standard CP-OFDM Uplink

MS2850A は 1 GHz の変調解析帯域幅を持っており、Verizon 5G 規格に準拠した変調解析ソフトウェアを本体に搭載することにより、最大 8 キャリア:800 MHz 帯域幅の一括解析が可能となる。

また、Verizon 5G 規格に準拠した変調解析ソフトウェアとするこ

とで、変調解析時に必要となる煩雑なパラメータ設定を簡単化できる。このほか、MS2850Aは従来機種で対応しているLTEなどの変調解析ソフトウェアもオプションとして本体に搭載可能であり、1台でLTEから5Gまでの変調解析に対応できる。LTEなどの変調解析ソフトウェアは従来機種と同じリモートコマンドで制御可能であり、5Gに対応した測定環境を構築する際、既存のリモートシーケンスをそのままに置き換えることが可能であり、測定器の置き換えにかかる工数を削減できる。

3.6 高速データ転送

従来の外部PCへのデータ転送方式はSCPI(Standard Commands for Programmable Instruments)規格に従ったPIO(Programmed I/O)データ転送方式であった。測定器内部のCPUのメモリ最大割り当てサイズなどの制限により、1回のデータ転送サイズは50 kSampleに限られているため、データ転送に時間がかかる。また、データ転送は測定器内部のCPUを介しているため、さらに転送時間がかかることになる。図7に、従来のデータ転送の流れを示す。(1)波形メモリからデータをリードして、(2)外部PCへのI/Oデバイスにデータを書き込む、これを1サイクルとして、大量のデータを分割してデータ転送する場合は、(1)と(2)の処理を繰り返すことになる。従来の方式では、その繰り返し回数に比例してCPU処理の負荷が大きくなり、データ転送速度は遅くなっていく。

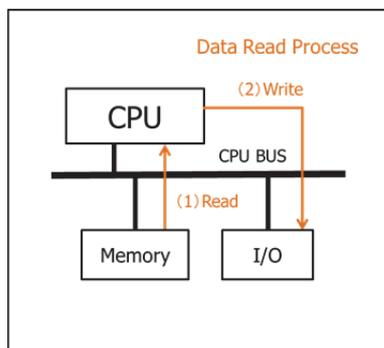


図7 PIOデータ転送方式

高速データ転送方式は、測定器内部のCPUを介さないDMAC(Direct Memory Access Controller)を用いたDMA(Direct Memory Access)データ転送方式となる。DMA転送を使うことで、CPUの負荷を上げずに、ハードウェアの能力を利用した高速なデータ転送が実現できる。図8に、高速データ転送の流れを示す。(1)メモリからデータをリードして、(2)外部PCへのNew I/Oデバイスにデータを書き込む、これを1サイクルとして、大量のデータを分割してデータ転送する場合は、(1)、(2)の処理を

繰り返すことになる。大量のデータを分割してデータ転送する場合であっても、測定器内部のCPUを介さないため、データ転送速度は一定となる。

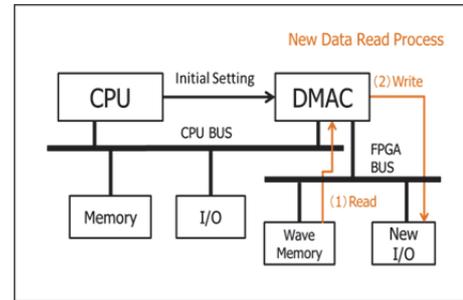


図8 DMAデータ転送方式

つまり高速データ転送方式を採用することで、安定して高速にデータの転送をすることが可能となる。

4 機能

4.1 5G Standard Measurement Softwareの機能

5G Standard Measurement Softwareに搭載されるPre-Standard CP-OFDM DownlinkおよびPre-Standard CP-OFDM Uplinkには主に以下の機能がある。

- ・ 最大8キャリア:800 MHzの一括解析機能
- ・ 広帯域信号のEVM測定時に課題となる入力レベル設定の自動最適化機能
- ・ マルチキャリア信号の測定に対応した便利な測定結果表示以降にこれら機能の詳細について説明する。

4.1.1 最大8キャリア:800 MHzの一括解析機能

Verizon 5G規格で規定されている信号は1コンポーネントキャリアあたり100 MHzの帯域幅であり、最大8コンポーネントキャリアのマルチキャリア信号とすることにより800 MHzの帯域幅の信号とすることができる。変調解析ソフトウェアは8キャリアを一括して取り込み、変調解析ができる。マルチキャリア信号を一括して取り込むことにより、キャリア間のタイミング誤差やほかのキャリアの影響による特定のキャリアへの信号品質の悪化が正確に測定できるようになっている。

マルチキャリア信号測定時は表4のトレースを選択して測定結果を表示できる。

表 4 トレース名称と表示される測定結果

トレース名称	表示される測定結果
Summary	<p>Tx Total Power: 全キャリアの送信電力の合計を表示する</p> <p>Tx Power Flatness: 測定したキャリアのうち、最大の送信電力のキャリアと最小の送信電力のキャリアの電力差を表示する</p> <p>Frequency Error: 各キャリアの周波数誤差を表示する</p> <p>Transmit Power: 各キャリアの送信電力を表示する</p> <p>EVM(rms): 各キャリアの EVM の RMS(Root Mean Square) 値を表示する</p> <p>EVM(peak): 各キャリアの EVM の Peak 値を表示する</p> <p>Timing Difference: Reference Carrier で指定されたキャリアに対するタイミング誤差を表示する</p>
Power vs RB	RB(Resource Block)ごとのパワーを色調表示する
EVM vs RB	RB(Resource Block)ごとの EVM を色調表示する

各トレースの一例を図 9, 10, 11 に示す。



図 9 Summary

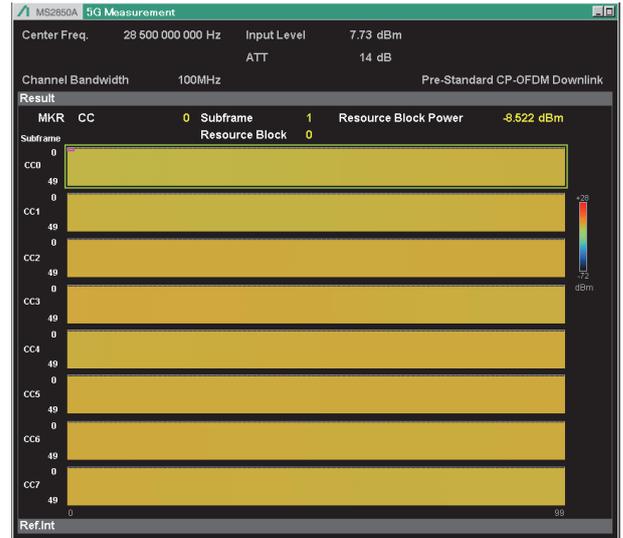


図 10 Power vs RB

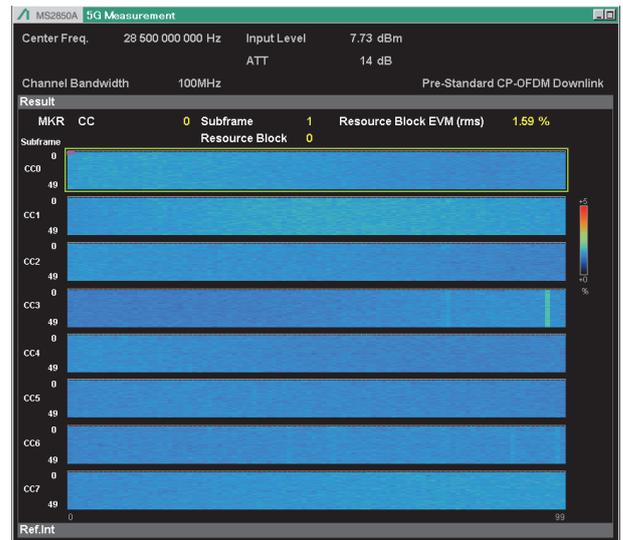


図 11 EVM vs RB

4.1.2 入力レベル設定の自動設定機能

3.2 項で述べたとおり 5G のような広帯域信号の測定において、測定器の SNR による影響をできるだけ低くすることが望ましい。Verizon 5G 測定ソフトウェアは 1 ボタンで入力信号のレベルに応じて Input Level およびアッテネータ値を最適な値に設定する機能を持っている。これにより、シグナルアナライザの設定に要する時間を短縮できるほか、作業者によらず EVM を測定するために最適な設定を簡単に行うことができる(図 12)。

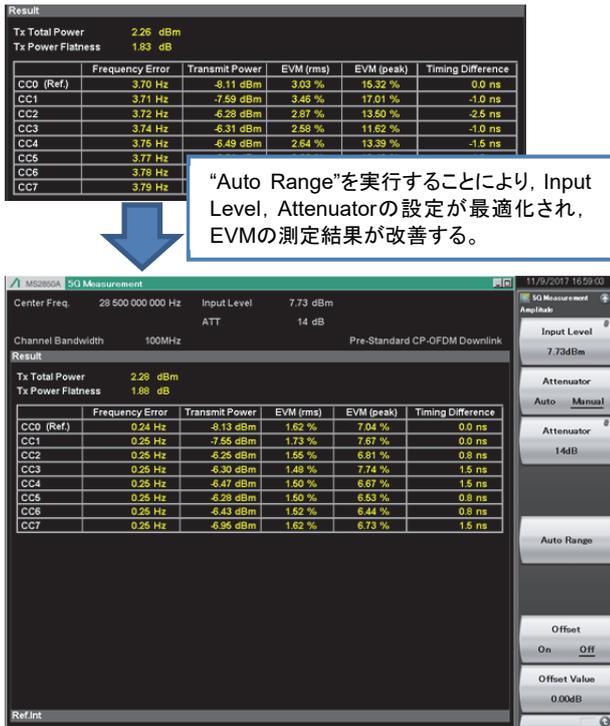


図 12 Auto Range の一例

4.1.3 マルチキャリア信号の測定に対応した便利な測定結果表示

マルチキャリア信号を測定したときに、シングルキャリアと同様の結果表示を行うと、キャリア数に比例して得られる測定結果が多くなり、本当に必要な測定結果を探し難くなる。Verizon 5G 測定ソフトウェアではマルチキャリア信号の測定時に Resource Block ごとの EVM とパワーを色調で表示することで、マルチキャリア信号の測定結果の概要を 1 画面で確認できる。また、測定結果に異常のあるキャリアが見つかった場合には、そのキャリアだけを解析することで、より詳細な測定結果を確認し、異常の原因を突き止めることができる。

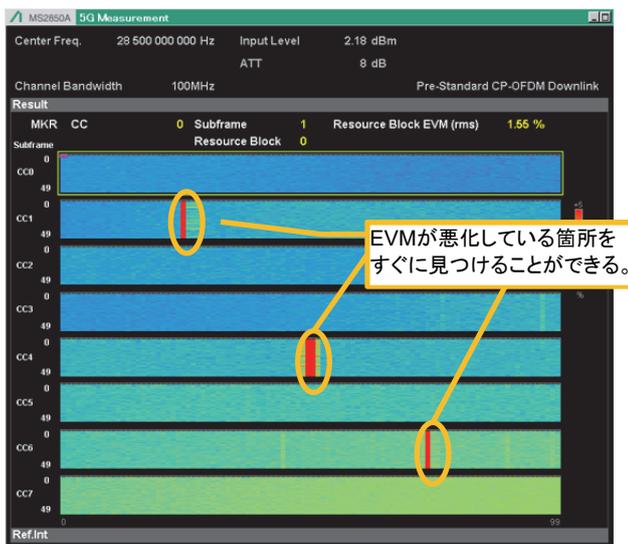


図 13 EVM vs RB の一例

4.2 高速データ転送用外部インターフェース

図 6 に示すように、MS2850A は汎用性と高速性のどちらの要求にも応えられるよう、表 5 に示す USB 3.0 と PCIe2.0 x8 の 2 つの高速データ転送用外部インターフェースを搭載した。

表 5 高速データ転送用外部インターフェース

形名	品名
MS2850A-053/153	External Interface for High Speed Data Transfer PCIe
MS2850A-054/154	External Interface for High Speed Data Transfer USB3.0

表 6 に示すように、最大 8 キャリア:800 MHz(1 GHz 解析帯域幅)、160 ms 長のデータを転送する場合、1000 Base-T を利用した従来の PIO データ転送方式では、約 90 s もの時間がかかってしまう。対して高速データ転送用外部インターフェースを利用した DMA データ転送方式では、PCIe の場合で従来比 100 倍以上高速なデータ転送が可能となった。

表 6 データ転送速度比較(1 GHz 解析帯域幅、160 ms 長のデータの場合)

MS2850A(実測値)	PCIe (x8/Gen2)	USB (3.0)	1000Base-T (VISA)
平均転送速度[Mbytes/s]	2233.8	360.0	18.6
転送時間[s]	0.745	4.62	89.46

なお、転送速度に関しては、外部 PC のスペックに依存する。

表 7 に上記のデータ転送速度比較の評価に使用した外部 PC のスペックを示す。

表 7 評価に使用した外部 PC のスペック

OS	Windows 10 Pro (64 bit)
CPU	インテル® Xeon® プロセッサ E5-1630v4 3.7 - 4.0
チップセット	インテル® C612 チップセット
メモリ	16 GByte (8 GByte × 2)

5 むすび

今後発展が期待される 5G に向けて MS2850A を開発した。MS2850A はミドルレンジクラスのシグナルアナライザでありながら解析帯域幅 1 GHz に加えて、広帯域信号の測定で重要となる優れた帯域内フラットネス性能と、ダイナミックレンジ性能を実現した。これにより、5G 商用製品の開発・製造において設備投資を抑制しながらも必要な測定器を導入することが可能になった。

アンリツは、今後も進化する無線機器の開発に必要なソリューションを提供し、無線通信技術の進化と発展に貢献していく。

参考文献

- 1) Verizon 5G TF; Air Interface Working Group; Verizon 5th Generation Radio Access; Physical channels and modulation (Release 1) TS V5G.211 V1.7 (2016-10)
- 2) 大谷, 富崎, 宮内, 倉光, 近藤, 木村, 大山: “低位相雑音シンセサイザを搭載したシグナルアナライザ MS2840A の開発”, アンリツテクニカル 92号(2017.03)



塩沢良洋
計測事業グループ計測事業本部
IoT テストソリューション事業部
商品開発部



小野 純
計測事業グループ計測事業本部
IoT テストソリューション事業部
商品開発部



木村 淳一
計測事業グループ計測事業本部
IoT テストソリューション事業部
商品開発部



呉 志輝
計測事業グループ計測事業本部
IoT テストソリューション事業部
商品開発部



近藤佑樹
計測事業グループ計測事業本部
IoT テストソリューション事業部
商品開発部

執筆者



大谷 暢
計測事業グループ計測事業本部
IoT テストソリューション事業部
商品開発部



富崎 巧一郎
計測事業グループ計測事業本部
IoT テストソリューション事業部
商品開発部



伊藤 伸一
計測事業グループ計測事業本部
IoT テストソリューション事業部
商品開発部

表 8 MS2850A シグナルアナライザ主要規格

周波数	周波数範囲	MS2850A-047: 9 kHz~32 GHz MS2850A-046: 9 kHz~44.5 GHz シグナルアナライザ機能(解析帯域幅 > 31.25 MHz のとき) MS2850A-047: 800 MHz~32 GHz MS2850A-046: 800 MHz~44.5 GHz	
	SSB 位相雑音	18~28°C, 1000 MHz, スペクトラムアナライザ機能にて	
		オフセット周波数	Specification
		10 Hz	-80 dBc/Hz (nom.)
		100 Hz	-92 dBc/Hz (nom.)
		1 kHz	-117 dBc/Hz (nom.)
		10 kHz	-123 dBc/Hz
		100 kHz	-123 dBc/Hz
		1 MHz	-135 dBc/Hz
		10 MHz	-148 dBc/Hz (nom.)

振幅	表示平均雑音レベル	18~28°C, Detector: Sample, VBW: 1 Hz (Video Average), 入力アッテネータ: 0 dB, スペクトラムアナライザモード, MS2850A-046 搭載, MS2850A-076 未搭載, Frequency Band Mode: Normal, Preselector Bypass: Off 時																																																																					
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>周波数</th> <th>MS2850A-068 未搭載</th> <th>MS2850A-068 搭載かつ プリアンプ: Off</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>9 kHz ≤ 周波数 < 100 kHz</td><td>-120 dBm/Hz</td><td>-120 dBm/Hz</td></tr> <tr><td>100 kHz ≤ 周波数 < 1 MHz</td><td>-134 dBm/Hz</td><td>-134 dBm/Hz</td></tr> <tr><td>1 MHz ≤ 周波数 < 10 MHz</td><td>-144 dBm/Hz</td><td>-144 dBm/Hz</td></tr> <tr><td>10 MHz ≤ 周波数 < 30 MHz</td><td>-150 dBm/Hz</td><td>-150 dBm/Hz</td></tr> <tr><td>30 MHz ≤ 周波数 < 1 GHz</td><td>-153 dBm/Hz</td><td>-153 dBm/Hz</td></tr> <tr><td>1 GHz ≤ 周波数 < 2.4 GHz</td><td>-150 dBm/Hz</td><td>-150 dBm/Hz</td></tr> <tr><td>2.4 GHz ≤ 周波数 ≤ 3.5 GHz</td><td>-147 dBm/Hz</td><td>-147 dBm/Hz</td></tr> <tr><td>3.5 GHz < 周波数 ≤ 6 GHz</td><td>-144 dBm/Hz</td><td>-144 dBm/Hz</td></tr> <tr><td>6 GHz < 周波数 ≤ 13 GHz</td><td>-146 dBm/Hz</td><td>-142 dBm/Hz</td></tr> <tr><td>13 GHz < 周波数 ≤ 18.3 GHz</td><td>-144 dBm/Hz</td><td>-140 dBm/Hz</td></tr> <tr><td>18.3 GHz < 周波数 ≤ 26.5 GHz</td><td>-140 dBm/Hz</td><td>-136 dBm/Hz</td></tr> <tr><td>26.5 GHz < 周波数 ≤ 34 GHz</td><td>-140 dBm/Hz</td><td>-135 dBm/Hz</td></tr> <tr><td>34 GHz < 周波数 ≤ 40 GHz</td><td>-136 dBm/Hz</td><td>-131 dBm/Hz</td></tr> <tr><td>40 GHz < 周波数 ≤ 44.5 GHz</td><td>-130 dBm/Hz (nom.)</td><td>-125 dBm/Hz (nom.)</td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>周波数</th> <th>MS2840A-068/069 搭載かつプリアンプ: On</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100 kHz</td><td>-147 dBm/Hz (nom.)</td></tr> <tr><td>1 MHz</td><td>-156 dBm/Hz</td></tr> <tr><td>30 MHz ≤ 周波数 < 1 GHz</td><td>-166 dBm/Hz</td></tr> <tr><td>1 GHz ≤ 周波数 < 2 GHz</td><td>-164 dBm/Hz</td></tr> <tr><td>2 GHz ≤ 周波数 ≤ 3.5 GHz</td><td>-163 dBm/Hz</td></tr> <tr><td>3.5 GHz ≤ 周波数 ≤ 6 GHz</td><td>-160 dBm/Hz</td></tr> <tr><td>6 GHz < 周波数 ≤ 13 GHz</td><td>-163 dBm/Hz</td></tr> <tr><td>13 GHz < 周波数 ≤ 18.3 GHz</td><td>-162 dBm/Hz</td></tr> <tr><td>18.3 GHz < 周波数 ≤ 26.5 GHz</td><td>-159 dBm/Hz</td></tr> <tr><td>26.5 GHz < 周波数 ≤ 34 GHz</td><td>-156 dBm/Hz</td></tr> <tr><td>34 GHz < 周波数 ≤ 40 GHz</td><td>-153 dBm/Hz</td></tr> <tr><td>40 GHz < 周波数 ≤ 44.5 GHz</td><td>-145 dBm/Hz (nom.)</td></tr> </tbody> </table>	周波数	MS2850A-068 未搭載	MS2850A-068 搭載かつ プリアンプ: Off	9 kHz ≤ 周波数 < 100 kHz	-120 dBm/Hz	-120 dBm/Hz	100 kHz ≤ 周波数 < 1 MHz	-134 dBm/Hz	-134 dBm/Hz	1 MHz ≤ 周波数 < 10 MHz	-144 dBm/Hz	-144 dBm/Hz	10 MHz ≤ 周波数 < 30 MHz	-150 dBm/Hz	-150 dBm/Hz	30 MHz ≤ 周波数 < 1 GHz	-153 dBm/Hz	-153 dBm/Hz	1 GHz ≤ 周波数 < 2.4 GHz	-150 dBm/Hz	-150 dBm/Hz	2.4 GHz ≤ 周波数 ≤ 3.5 GHz	-147 dBm/Hz	-147 dBm/Hz	3.5 GHz < 周波数 ≤ 6 GHz	-144 dBm/Hz	-144 dBm/Hz	6 GHz < 周波数 ≤ 13 GHz	-146 dBm/Hz	-142 dBm/Hz	13 GHz < 周波数 ≤ 18.3 GHz	-144 dBm/Hz	-140 dBm/Hz	18.3 GHz < 周波数 ≤ 26.5 GHz	-140 dBm/Hz	-136 dBm/Hz	26.5 GHz < 周波数 ≤ 34 GHz	-140 dBm/Hz	-135 dBm/Hz	34 GHz < 周波数 ≤ 40 GHz	-136 dBm/Hz	-131 dBm/Hz	40 GHz < 周波数 ≤ 44.5 GHz	-130 dBm/Hz (nom.)	-125 dBm/Hz (nom.)	周波数	MS2840A-068/069 搭載かつプリアンプ: On	100 kHz	-147 dBm/Hz (nom.)	1 MHz	-156 dBm/Hz	30 MHz ≤ 周波数 < 1 GHz	-166 dBm/Hz	1 GHz ≤ 周波数 < 2 GHz	-164 dBm/Hz	2 GHz ≤ 周波数 ≤ 3.5 GHz	-163 dBm/Hz	3.5 GHz ≤ 周波数 ≤ 6 GHz	-160 dBm/Hz	6 GHz < 周波数 ≤ 13 GHz	-163 dBm/Hz	13 GHz < 周波数 ≤ 18.3 GHz	-162 dBm/Hz	18.3 GHz < 周波数 ≤ 26.5 GHz	-159 dBm/Hz	26.5 GHz < 周波数 ≤ 34 GHz	-156 dBm/Hz	34 GHz < 周波数 ≤ 40 GHz	-153 dBm/Hz
周波数	MS2850A-068 未搭載	MS2850A-068 搭載かつ プリアンプ: Off																																																																					
9 kHz ≤ 周波数 < 100 kHz	-120 dBm/Hz	-120 dBm/Hz																																																																					
100 kHz ≤ 周波数 < 1 MHz	-134 dBm/Hz	-134 dBm/Hz																																																																					
1 MHz ≤ 周波数 < 10 MHz	-144 dBm/Hz	-144 dBm/Hz																																																																					
10 MHz ≤ 周波数 < 30 MHz	-150 dBm/Hz	-150 dBm/Hz																																																																					
30 MHz ≤ 周波数 < 1 GHz	-153 dBm/Hz	-153 dBm/Hz																																																																					
1 GHz ≤ 周波数 < 2.4 GHz	-150 dBm/Hz	-150 dBm/Hz																																																																					
2.4 GHz ≤ 周波数 ≤ 3.5 GHz	-147 dBm/Hz	-147 dBm/Hz																																																																					
3.5 GHz < 周波数 ≤ 6 GHz	-144 dBm/Hz	-144 dBm/Hz																																																																					
6 GHz < 周波数 ≤ 13 GHz	-146 dBm/Hz	-142 dBm/Hz																																																																					
13 GHz < 周波数 ≤ 18.3 GHz	-144 dBm/Hz	-140 dBm/Hz																																																																					
18.3 GHz < 周波数 ≤ 26.5 GHz	-140 dBm/Hz	-136 dBm/Hz																																																																					
26.5 GHz < 周波数 ≤ 34 GHz	-140 dBm/Hz	-135 dBm/Hz																																																																					
34 GHz < 周波数 ≤ 40 GHz	-136 dBm/Hz	-131 dBm/Hz																																																																					
40 GHz < 周波数 ≤ 44.5 GHz	-130 dBm/Hz (nom.)	-125 dBm/Hz (nom.)																																																																					
周波数	MS2840A-068/069 搭載かつプリアンプ: On																																																																						
100 kHz	-147 dBm/Hz (nom.)																																																																						
1 MHz	-156 dBm/Hz																																																																						
30 MHz ≤ 周波数 < 1 GHz	-166 dBm/Hz																																																																						
1 GHz ≤ 周波数 < 2 GHz	-164 dBm/Hz																																																																						
2 GHz ≤ 周波数 ≤ 3.5 GHz	-163 dBm/Hz																																																																						
3.5 GHz ≤ 周波数 ≤ 6 GHz	-160 dBm/Hz																																																																						
6 GHz < 周波数 ≤ 13 GHz	-163 dBm/Hz																																																																						
13 GHz < 周波数 ≤ 18.3 GHz	-162 dBm/Hz																																																																						
18.3 GHz < 周波数 ≤ 26.5 GHz	-159 dBm/Hz																																																																						
26.5 GHz < 周波数 ≤ 34 GHz	-156 dBm/Hz																																																																						
34 GHz < 周波数 ≤ 40 GHz	-153 dBm/Hz																																																																						
40 GHz < 周波数 ≤ 44.5 GHz	-145 dBm/Hz (nom.)																																																																						
フラットネス	帯域内周波数特性	18~28°C, 中心周波数でのレベルを基準として, 帯域幅 > 31.25 MHz において 中心周波数 ± 50 MHz にて <table border="1"> <thead> <tr> <th>中心周波数</th> <th>Specification</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>4.2 GHz ≤ 周波数 < 5 GHz</td><td>±0.3 dB (nom.)</td></tr> <tr><td>5 GHz < 周波数 ≤ 18.5 GHz</td><td>±0.3 dB (nom.)</td></tr> <tr><td>18.5 GHz < 周波数 ≤ 26.5 GHz</td><td>±0.3 dB (nom.)</td></tr> <tr><td>26.5 GHz < 周波数 ≤ 32 GHz</td><td>±0.3 dB (nom.)</td></tr> <tr><td>32 GHz < 周波数 ≤ 44.5 GHz</td><td>±0.3 dB (nom.)</td></tr> </tbody> </table> 中心周波数 ± 255 MHz にて <table border="1"> <thead> <tr> <th>中心周波数</th> <th>Specification</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>4.2 GHz ≤ 周波数 < 5 GHz</td><td>±0.7 dB (nom.)</td></tr> </tbody> </table> 中心周波数 ± 500 MHz にて <table border="1"> <thead> <tr> <th>中心周波数</th> <th>Specification</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>5 GHz < 周波数 ≤ 18.5 GHz</td><td>±0.7 dB (nom.)</td></tr> <tr><td>18.5 GHz < 周波数 ≤ 26.5 GHz</td><td>±1.0 dB (nom.)</td></tr> <tr><td>26.5 GHz < 周波数 ≤ 32 GHz</td><td>±1.2 dB (nom.)</td></tr> <tr><td>32 GHz < 周波数 ≤ 44.5 GHz</td><td>±1.25 dB (nom.)</td></tr> </tbody> </table>	中心周波数	Specification	4.2 GHz ≤ 周波数 < 5 GHz	±0.3 dB (nom.)	5 GHz < 周波数 ≤ 18.5 GHz	±0.3 dB (nom.)	18.5 GHz < 周波数 ≤ 26.5 GHz	±0.3 dB (nom.)	26.5 GHz < 周波数 ≤ 32 GHz	±0.3 dB (nom.)	32 GHz < 周波数 ≤ 44.5 GHz	±0.3 dB (nom.)	中心周波数	Specification	4.2 GHz ≤ 周波数 < 5 GHz	±0.7 dB (nom.)	中心周波数	Specification	5 GHz < 周波数 ≤ 18.5 GHz	±0.7 dB (nom.)	18.5 GHz < 周波数 ≤ 26.5 GHz	±1.0 dB (nom.)	26.5 GHz < 周波数 ≤ 32 GHz	±1.2 dB (nom.)	32 GHz < 周波数 ≤ 44.5 GHz	±1.25 dB (nom.)																																											
中心周波数	Specification																																																																						
4.2 GHz ≤ 周波数 < 5 GHz	±0.3 dB (nom.)																																																																						
5 GHz < 周波数 ≤ 18.5 GHz	±0.3 dB (nom.)																																																																						
18.5 GHz < 周波数 ≤ 26.5 GHz	±0.3 dB (nom.)																																																																						
26.5 GHz < 周波数 ≤ 32 GHz	±0.3 dB (nom.)																																																																						
32 GHz < 周波数 ≤ 44.5 GHz	±0.3 dB (nom.)																																																																						
中心周波数	Specification																																																																						
4.2 GHz ≤ 周波数 < 5 GHz	±0.7 dB (nom.)																																																																						
中心周波数	Specification																																																																						
5 GHz < 周波数 ≤ 18.5 GHz	±0.7 dB (nom.)																																																																						
18.5 GHz < 周波数 ≤ 26.5 GHz	±1.0 dB (nom.)																																																																						
26.5 GHz < 周波数 ≤ 32 GHz	±1.2 dB (nom.)																																																																						
32 GHz < 周波数 ≤ 44.5 GHz	±1.25 dB (nom.)																																																																						

フラットネス (続き)	帯域内位相特性	<p>直線位相からの偏差 帯域幅 > 31.25 MHz, ATT 10 dB 設定時, オフセット周波数 ≤ 中心周波数 ± 500 MHz において</p> <p>プリアンプ = Off, Reference Level ≤ 0 dBm 時</p> <table border="1" data-bbox="469 327 1267 461"> <thead> <tr> <th>中心周波数</th> <th>Specification</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4.2 GHz ≤ 周波数 ≤ 5.14 GHz</td> <td>5°p-p (nom.)</td> </tr> <tr> <td>5.14 GHz < 周波数 ≤ 42.1 GHz</td> <td>5°p-p (nom.)</td> </tr> <tr> <td>42.1 GHz < 周波数 ≤ 44.5 GHz</td> <td>6°p-p (nom.)</td> </tr> </tbody> </table> <p>プリアンプ = On, Reference Level ≤ -20 dBm 時</p> <table border="1" data-bbox="469 519 1267 654"> <thead> <tr> <th>中心周波数</th> <th>Specification</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4.2 GHz ≤ 周波数 ≤ 5.14 GHz</td> <td>7°p-p (nom.)</td> </tr> <tr> <td>5.14 GHz < 周波数 ≤ 42.1 GHz</td> <td>6°p-p (nom.)</td> </tr> <tr> <td>42.1 GHz < 周波数 ≤ 44.5 GHz</td> <td>6°p-p (nom.)</td> </tr> </tbody> </table>	中心周波数	Specification	4.2 GHz ≤ 周波数 ≤ 5.14 GHz	5°p-p (nom.)	5.14 GHz < 周波数 ≤ 42.1 GHz	5°p-p (nom.)	42.1 GHz < 周波数 ≤ 44.5 GHz	6°p-p (nom.)	中心周波数	Specification	4.2 GHz ≤ 周波数 ≤ 5.14 GHz	7°p-p (nom.)	5.14 GHz < 周波数 ≤ 42.1 GHz	6°p-p (nom.)	42.1 GHz < 周波数 ≤ 44.5 GHz	6°p-p (nom.)																																																						
中心周波数	Specification																																																																							
4.2 GHz ≤ 周波数 ≤ 5.14 GHz	5°p-p (nom.)																																																																							
5.14 GHz < 周波数 ≤ 42.1 GHz	5°p-p (nom.)																																																																							
42.1 GHz < 周波数 ≤ 44.5 GHz	6°p-p (nom.)																																																																							
中心周波数	Specification																																																																							
4.2 GHz ≤ 周波数 ≤ 5.14 GHz	7°p-p (nom.)																																																																							
5.14 GHz < 周波数 ≤ 42.1 GHz	6°p-p (nom.)																																																																							
42.1 GHz < 周波数 ≤ 44.5 GHz	6°p-p (nom.)																																																																							
キャプチャ	Span	<p>シグナルアナライザモードにて</p> <table border="1" data-bbox="469 707 1458 1442"> <thead> <tr> <th>Span</th> <th>サンプリングレート</th> <th>最大取り込み時間</th> <th>対象オプション</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1 kHz</td><td>2 kHz</td><td>2000 s</td><td rowspan="17">MS2850A-032/033/133/034/134</td></tr> <tr><td>2.5 kHz</td><td>5 kHz</td><td>2000 s</td></tr> <tr><td>5 kHz</td><td>10 kHz</td><td>2000 s</td></tr> <tr><td>10 kHz</td><td>20 kHz</td><td>2000 s</td></tr> <tr><td>50 kHz</td><td>100 kHz</td><td>2000 s</td></tr> <tr><td>100 kHz</td><td>200 kHz</td><td>500 s</td></tr> <tr><td>250 kHz</td><td>500 kHz</td><td>200 s</td></tr> <tr><td>500 kHz</td><td>1 MHz</td><td>100 s</td></tr> <tr><td>1 MHz</td><td>2 MHz</td><td>50 s</td></tr> <tr><td>2.5 MHz</td><td>5 MHz</td><td>20 s</td></tr> <tr><td>5 MHz</td><td>10 MHz</td><td>10 s</td></tr> <tr><td>10 MHz</td><td>20 MHz</td><td>5 s</td></tr> <tr><td>25 MHz</td><td>50 MHz</td><td>2 s</td></tr> <tr><td>31.25 MHz</td><td>50 MHz</td><td>2 s</td></tr> <tr><td>50 MHz</td><td>81.25 MHz</td><td>48 s</td></tr> <tr><td>62.5 MHz</td><td>81.25 MHz</td><td>48 s</td></tr> <tr><td>100 MHz</td><td>162.5 MHz</td><td>24 s</td></tr> <tr><td>125 MHz</td><td>162.5 MHz</td><td>24 s</td></tr> <tr><td>255 MHz</td><td>325 MHz</td><td>12 s</td></tr> <tr><td>510 MHz</td><td>650 MHz</td><td>6 s</td><td>MS2850A-033/133/034/134</td></tr> <tr><td>1000 MHz</td><td>1300 MHz</td><td>3 s</td><td>MS2850A-034/134</td></tr> </tbody> </table>	Span	サンプリングレート	最大取り込み時間	対象オプション	1 kHz	2 kHz	2000 s	MS2850A-032/033/133/034/134	2.5 kHz	5 kHz	2000 s	5 kHz	10 kHz	2000 s	10 kHz	20 kHz	2000 s	50 kHz	100 kHz	2000 s	100 kHz	200 kHz	500 s	250 kHz	500 kHz	200 s	500 kHz	1 MHz	100 s	1 MHz	2 MHz	50 s	2.5 MHz	5 MHz	20 s	5 MHz	10 MHz	10 s	10 MHz	20 MHz	5 s	25 MHz	50 MHz	2 s	31.25 MHz	50 MHz	2 s	50 MHz	81.25 MHz	48 s	62.5 MHz	81.25 MHz	48 s	100 MHz	162.5 MHz	24 s	125 MHz	162.5 MHz	24 s	255 MHz	325 MHz	12 s	510 MHz	650 MHz	6 s	MS2850A-033/133/034/134	1000 MHz	1300 MHz	3 s	MS2850A-034/134
Span	サンプリングレート	最大取り込み時間	対象オプション																																																																					
1 kHz	2 kHz	2000 s	MS2850A-032/033/133/034/134																																																																					
2.5 kHz	5 kHz	2000 s																																																																						
5 kHz	10 kHz	2000 s																																																																						
10 kHz	20 kHz	2000 s																																																																						
50 kHz	100 kHz	2000 s																																																																						
100 kHz	200 kHz	500 s																																																																						
250 kHz	500 kHz	200 s																																																																						
500 kHz	1 MHz	100 s																																																																						
1 MHz	2 MHz	50 s																																																																						
2.5 MHz	5 MHz	20 s																																																																						
5 MHz	10 MHz	10 s																																																																						
10 MHz	20 MHz	5 s																																																																						
25 MHz	50 MHz	2 s																																																																						
31.25 MHz	50 MHz	2 s																																																																						
50 MHz	81.25 MHz	48 s																																																																						
62.5 MHz	81.25 MHz	48 s																																																																						
100 MHz	162.5 MHz	24 s																																																																						
125 MHz	162.5 MHz	24 s																																																																						
255 MHz	325 MHz	12 s																																																																						
510 MHz	650 MHz	6 s	MS2850A-033/133/034/134																																																																					
1000 MHz	1300 MHz	3 s	MS2850A-034/134																																																																					
外部制御	Ethernet (10/100/1000Base-T)	背面パネル, RJ-45																																																																						
	GPIO	IEEE488.2 対応 背面パネル, IEEE488 バスコネクタ インタフェースコネクッション: SH1, AH1, T6, L4, SR1, RL1, PP0, DC1, DT0, C0, E2																																																																						
	USB (B)	USB2.0 対応 背面パネル, USB-B Connector																																																																						
	USB (B)	USB3.0 対応 背面パネル, USB-B Connector																																																																						
	PCIe	PCIe Gen2 x8 対応 背面パネル, PCIe Connector																																																																						

告知