

徹底検証

# オシロスコープのシグナルインテグリティ



# はじめに

シグナルインテグリティは、エレクトロニクスの世界で常に関心を集め続けているテーマです。今日のデザインでは、マージンの縮小とデータレートの高速化により、測定の確度が今までにもまして重要になっています。あらゆるオシロスコープメーカーが、シグナルインテグリティに関して何らかの売り文句を用意しています。例えば、最大のADCビット数、最も低いノイズフロア、最高速のサンプリングレートなどです。こういった仕様はすべて重要ですが、もっと大切なのは、測定システム全体を理解して、単に1つの仕様だけに基いて結論を下さないことです。

これらの仕様が回路やシステムの設計にとって実際にどういう意味を持つかを理解することで、テストにかかる時間と手間を節約できます。さらに、シグナルインテグリティを正確に判定するために何が必要かを正しく知ることができます。

このeBookが示すアドバイスやヒントは、あらゆるメーカーのあらゆるオシロスコープに当てはまります。現在お使いになっているオシロスコープで実際に試してみてください。できれば、複数のオシロスコープを調べて、ご自身で比較してみることをお勧めします。

キーサイトのSシリーズオシロスコープは、シグナルインテグリティを重視して設計されています。業界最高の仕様によって、信号の振る舞いを正確に観察できます。



# 目次

徹底検証：オシロスコープの  
シグナルインテグリティ



ヒント1

# ADCのビット数とENOBを理解する

## ヒント1 ADCのビット数とENOBを理解する

オシロスコープのADCのビット数は、売り文句として最も強調される仕様の1つです。このため、多くのエンジニアが、オシロスコープの品質をこの仕様だけで判定しています。ADCのビット数は非常に重要な仕様ではありますが、オシロスコープの他の部分が適切に設計されていなければ意味がありません。

ADCのビット数と同程度に重要なのが、システムの有効ビット数（システムENOB）です。システムENOBとは、実際の測定において有効なビットの数です。どんなオシロスコープでも、ADCのビット数の一部は無意味、すなわちノイズに埋もれています。このため、オシロスコープを用いた測定の品質は、ADCのビット数ではなくENOBで決まります。測定の品質が不十分だと、結果は不正確で再現性がなく、できあがった回路やシステムを正しく評価できません。

ENOBはシステム誤差を考慮しているため、シグナルインテグリティを的確に表すことができます。

オシロスコープメーカーがシステムENOBを売り文句にすることは通常ありません。ENOBを増やすための設計は、単にビット数の多いADCを搭載するよりも難しいからです。フロントエンドやADC周りの関連回路も高品質に設計する必要があります。これは容易ではありません。

当然のことながら、メーカーは自社の製品が最も優れて見える仕様を宣伝します。ADCのビット数が多いのは確かに利点ですが、シグナルインテグリティに影響する他の要素も確認する必要があります。ADCのビット数は1つの要素に過ぎません。

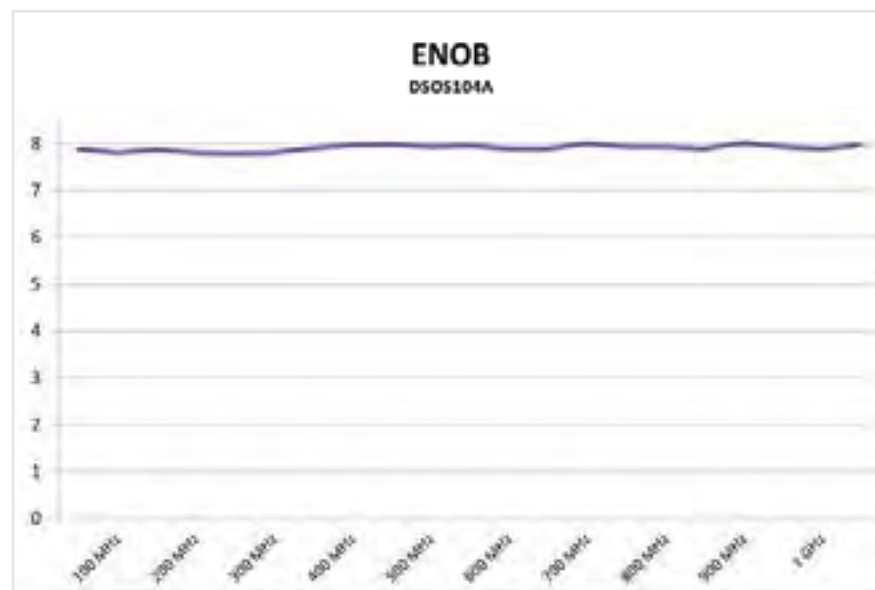


図1. SシリーズDSOS104A 1 GHzリアルタイムオシロスコープ（100 MHz～1 GHz）のENOBは8ビットという平均値から外れることがないため、常に最高のシグナルインテグリティを実現できます



ヒント2

# ADCのENOBとシステムENOB



## ヒント2

# ADCのENOBとシステムENOB

ENOBについて基本的な知識がなく、単にデータシートを見るだけだと、ENOB仕様にも違いがあることに気づかないかもしれません。ヒント2では、システムENOBについて説明しました。この用語はきわめて重要です。システムENOBとADCのENOBの間には大きな違いがあるからです。

ADCのENOBとは、ADCの有効ビット数を表し、ADCだけで決まります。ところが、オシロスコープはADCだけでなく、他のさまざまな部分も含む1つのシステムです。ADCのENOB仕様は、オシロスコープ全体の有効なビット数を表すものではありません。測定を行う際に実際に重要なのはADCのENOBではなくシステムENOBです。

システムENOBは、信号の画面への表示、測定の実行、解析機能に対して有効なビット数です。この仕様がデータシートやメーカーの資料に記載されていない場合は、メーカーに問い合わせてください。

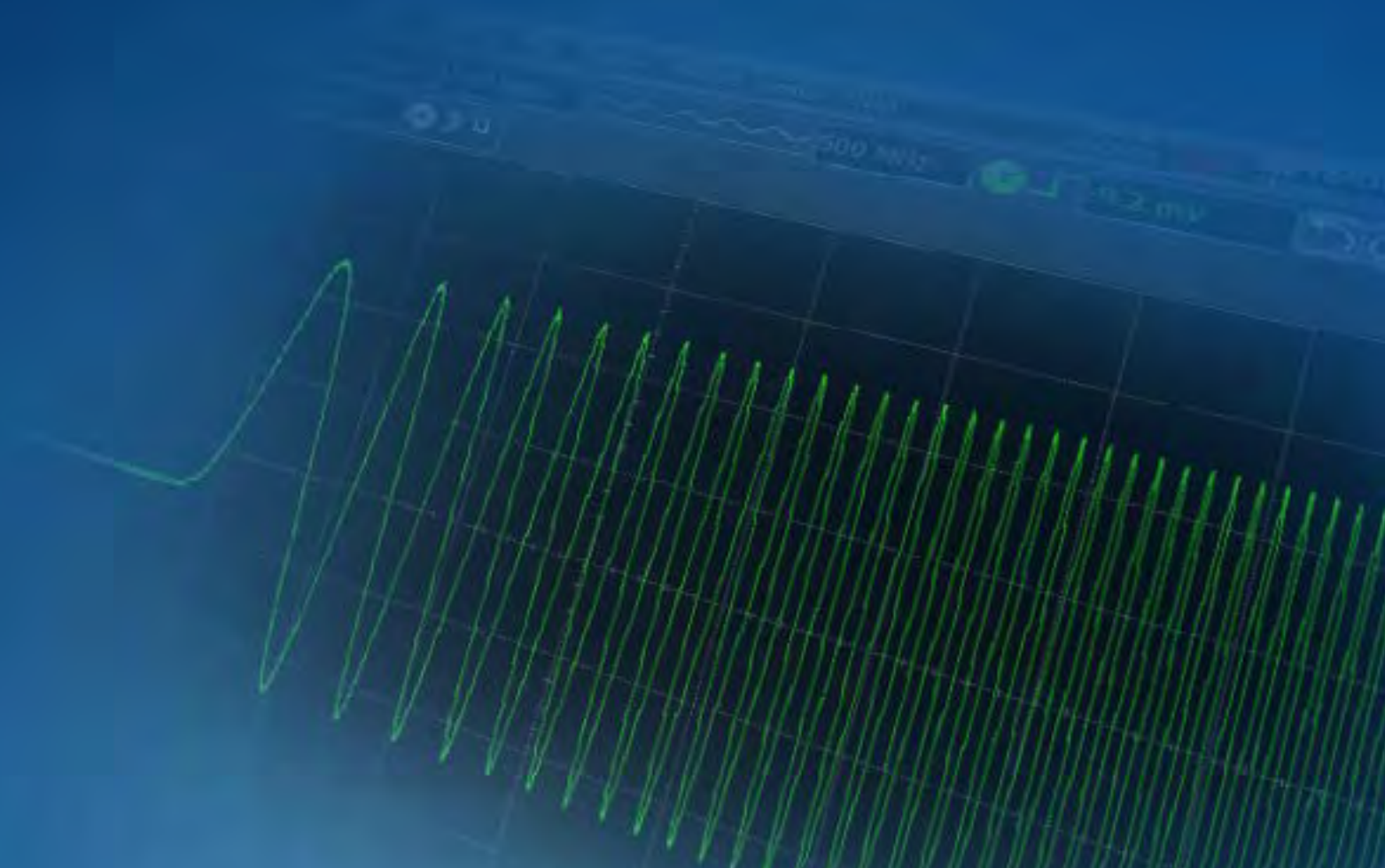
システムENOBは、テストの成功を左右する場合があります。システムENOBが十分でない場合、安定したデザインを実現するために必要な正確な情報は得られません。





ヒント3

帯域幅は広いほどよいわけではない





### ヒント3 帯域幅は広いほどよいわけ ではない

帯域幅が広すぎて問題になることもあります。測定器の帯域幅が広すぎると、測定結果が変化する可能性があるのです。広帯域幅のオシロスコープは、高周波ノイズを拾うからです。信号を正確に捕捉するために十分な範囲で、できる限り狭い帯域幅を使用することが最善です。必要に応じ、オシロスコープに内蔵されたハードウェアまたはソフトウェアのフィルターで帯域幅を制限します。

システムのENOBは、ノイズの量に大きく影響されます。ノイズが多いほど、ENOBは少なくなります。

例として、図2に、異なる2つの帯域幅で捕捉した20 MHz信号の測定結果を示します。適切な帯域幅である100 MHzを使用した場合（下）、結果はクリーンな信号です。帯域幅を8 GHzにした場合（上）、ノイズが増え、表示トレースの幅が広がるとともに、ピーク測定が不正確になっています。

ヒント3はシンプルですが、一般的にはあまり知られていません。帯域幅が広いほど、ENOBは少なくなるのです。

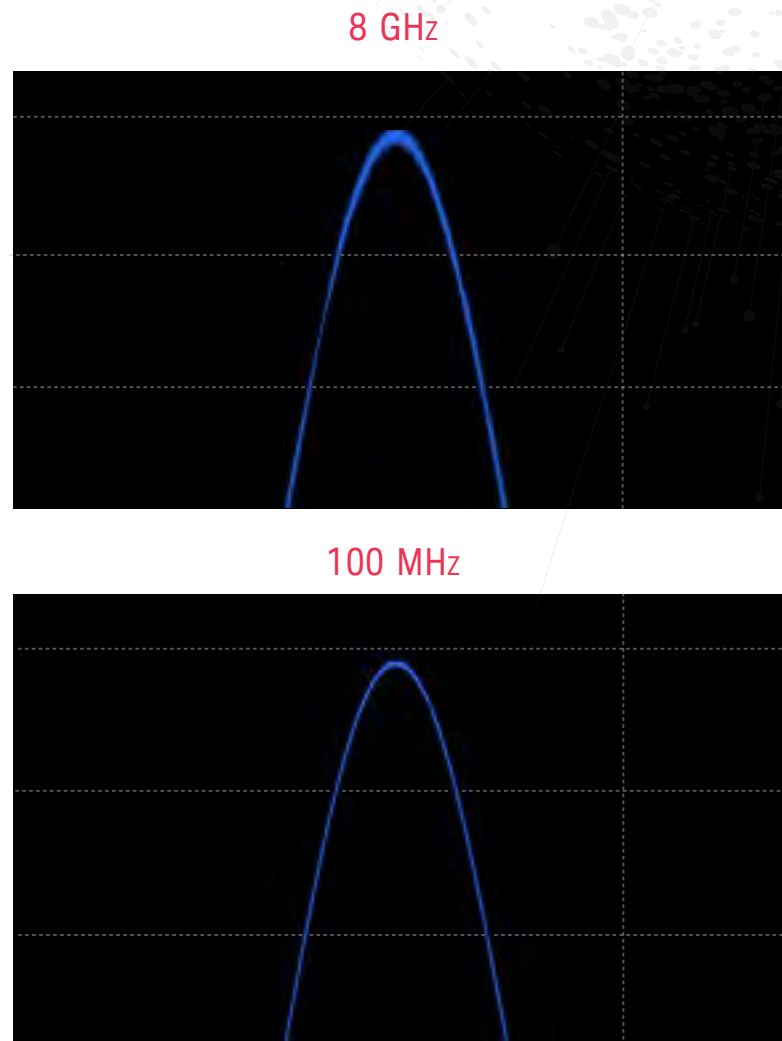


図2. 20 MHzの信号を8 GHz（上）と100 MHz（下）で測定した結果



ヒント4

帯域幅が同じでも周波数応答が異なる場合がある

## ヒント4

# 帯域幅が同じでも周波数 応答が異なる場合がある

オシロスコープの周波数応答を見れば、ある事実がわかります。すなわち、たとえ帯域幅が同じでも、オシロスコープによっては周波数特性は大きく異なる場合があるということです。

図3に、この考え方をわかりやすく示します。キーサイトのオシロスコープでは、帯域幅の上限でも、周波数応答はフラットなままです。これは、ハードウェア補正フィルターを用いているため、信号がほとんど減衰しないからです。デバイスから出力された信号は、そのまま画面に表示されます。これにより、オシロスコープの帯域幅周波数全体で正確な測定が可能となります。

一方、メーカーによっては、補正フィルターを使用しない場合もあります。この場合、測定器は高周波成分を多少ブーストしている可能性があります。このような帯域ブーストにより、高周波信号成分に影響が及ぶため、最終的に画面上の信号波形に影響が及び、ピーク測定の誤差を引き起こすかもしれません。

このため測定が不正確になり、設計の不具合をあれこれ検証していたら、結局オシロスコープのシグナルインテグリティの問題だったということになりかねません。

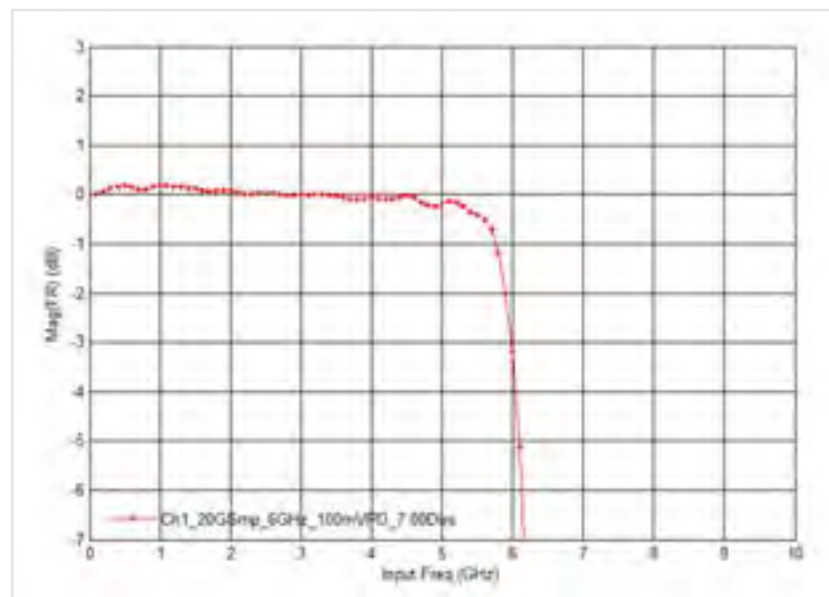


図3. キーサイトのSシリーズ オシロスコープのフラットな周波数応答により、オシロスコープの帯域幅全体で高い確度を実現

検討しているオシロスコープの帯域幅が決まれば、対応するモデルの周波数応答グラフをメーカーに請求してみましょう。データシートには多くの場合に記載されていませんが、情報は存在するので、請求すれば入手できるはずです。



ヒント5

# オフセットとノイズフロアの関係



## ヒント5

# ノイズフロアとオフセットの関係

多くのエンジニアにとって、これは驚きかもしれません。信号が画面上のどこにあるかによって、オシロスコープのノイズフロアが変わることをご存じですか？

信号が画面の中央にある場合に、おそらくノイズフロアは最も低くなるはずです。ところが、測定器のADCの品質によっては、画面上の垂直軸オフセットの値によってノイズレベルが異なる可能性があります。これは、そのオフセットでの表示に必要な量子化レベルに関係します。

これはすべてのオシロスコープで起こることで、違いはそれが信号と測定にどの程度影響するかだけです。図4と5からわかるように、Sシリーズではノイズの変化はごくわずかです。ただし、他のメーカーの測定器の中には、ノイズの増加が無視できないものがあります。

オシロスコープのノイズフロアを画面上のさまざまな垂直位置で確認し、信号に影響しないことを確かめることが重要です。



図4. 画面中央でのノイズ

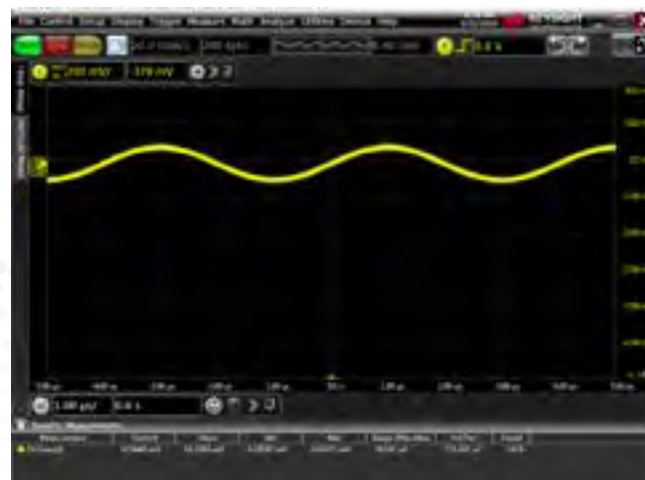


図5. 画面上半分でのノイズの増加



ヒント6

# サンプリングレートと インターリーブ歪みを理解する

## ヒント6

# サンプリングレートと インターリーブ歪みを理解する

一般的に、サンプリングレートが高いほど、信号を詳細に観察できます。ただし、これはオシロスコープがどのようにしてその高いサンプリングレートを実現しているかによって異なります。

一部のオシロスコープは、驚異的に高いサンプリングレートを達成しています。このためには、複数のADCをインターリーブする必要があります。例えばADCを2個使う場合、クロックの位相遅延によって、交互に動作するパターンで同期させるのです。これによって、最高サンプリングレートは等価的に2倍になります。

ただし、この方法には注意が必要です。ADC同士を極めて正確に同期する必要があります。実際は、十分正確な同期がとれていないことが多いのです。位相遅延クロックを正しく同期させないと、サンプリング間隔が不均一になります。これにより、図6に示す波形のように、再構築されて画面上に表示される波形に歪みが生じます。

キーサイトのSシリーズなら、ADCが正しく同期されているので、このようなことは起こりませんが、オシロスコープを検討する際は、同期が適切に行われていることを確認することが重要です。キーサイトの新しいUXRシリーズなどの一部のハイエンドのオシロスコープは、ADCのインターリーブなしで最高128 GSa/sを実現できるので、超高精度の測定が可能です。

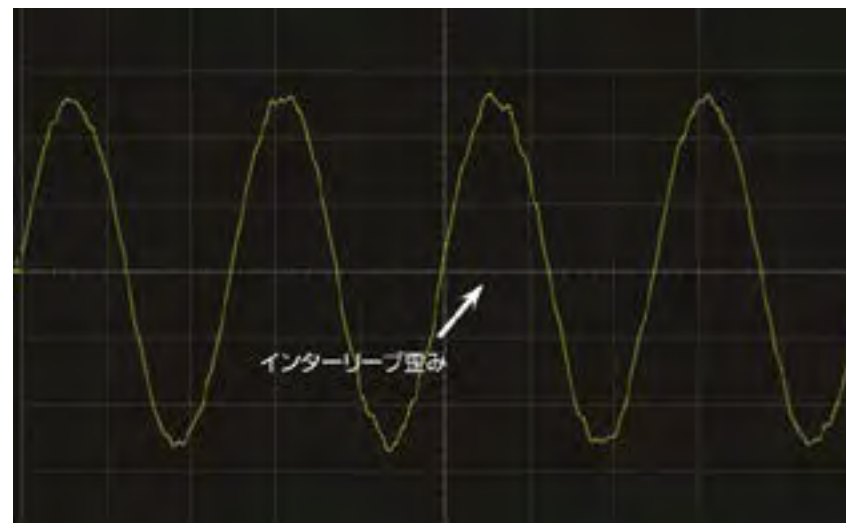


図6. ADCのインターリーブが不適切だと、信号の歪みが起こります。

# まとめ

結局、学び続けることが最も大切です。シグナルインテグリティに関して何が本当に重要なのかを理解すれば、シグナルインテグリティに関するよくある誤解から生じる問題を避けることができます。測定システム全体の動作について知ることがきわめて重要です。着目すべき点がわかれば、どんなオシロスコープでもそれが使いものになるかどうか容易にわかるようになります。

ここで学んだ重要なことを、測定を実行する際に、あるいは最適なオシロスコープを検討する際に思い出してください。

1. 必ずシステムENOBを問い合わせて、全体的な測定品質を判断する
2. ADCだけのENOBではなく、システムのENOBを調べる
3. 必要な範囲で、できるだけ狭い帯域幅を使用することで、ノイズを低減する
4. 周波数応答グラフを求め、オシロスコープの応答が帯域幅レンジ全体でフラットであることを確認する
5. オシロスコープ画面上のさまざまなオフセットでのノイズフロアを調べて、測定に重大な影響がないことを確認する
6. 非常に高いサンプリングレートやADCの不適切なインターリーブに注意する



## 信号の本当の振る舞いを観察

最新の設計をデバッグする場合、規格への適合を検証する場合、あるいはシリアルバスをデコードする場合、オシロスコープが信号の振る舞いを正確に表示することが重要です。そのためには、世界最高クラスのシグナルインテグリティが必要で、Infiniium Sシリーズオシロスコープは、そのことを念頭に置いて設計されています。優れたタイムベース、フロントエンド、ADCテクノロジーを用い、ノイズとジッタがきわめて少なく、有効ビット数が多いプラットフォームを実現し、デバイスの真の性能を視覚化します。

Sシリーズのシグナルインテグリティと測定性能の詳細をご覧ください。

さらに広い帯域幅と高い性能が必要な場合には、以下の広帯域幅のオシロスコープをご検討ください。

- Vシリーズ (8 GHz~33 GHz)
- Zシリーズ (20 GHz~63 GHz)
- UXRシリーズ (13 GHz~110 GHz)





本書の情報は、予告なしに変更されることがあります。 | 5992-3660JAJP © Keysight Technologies, 2019 | Published in Japan, February 27, 2019  
詳細情報 [www.keysight.co.jp](http://www.keysight.co.jp) | お問い合わせ先 [www.keysight.co.jp/find/contactus](http://www.keysight.co.jp/find/contactus)  
Bluetooth®およびBluetooth®ロゴは、Bluetooth SIGが所有する登録商標であり、キーサイト・テクノロジー・インクにライセンスされています。