

# デジタル・オシロスコープ のデッドタイムが測定に 与える影響

## Application Note

### Products:

- | R&S®RTO1012
- | R&S®RTO1014
- | R&S®RTO1022
- | R&S®RTO1024

全てのデジタル・オシロスコープにはデッドタイムがあります。このため、デッドタイム内に生じる製品からの不具合信号を捕捉できない場合があります。このように、測定におけるデッドタイムを把握することは、デバッグにおいては非常に重要です。

このアプリケーション・ノートでは、デッドタイムが発生する原因と、高速波形更新レートの重要性について解説します。併せて、R&S RTO オシロスコープの最新機能によるデバッグ作業の効率化についてもご紹介します。

# 内 容

|     |                                     |    |
|-----|-------------------------------------|----|
| 1   | デッドタイムとは？ .....                     | 3  |
| 1.1 | デジタル・オシロスコープのアーキテクチャ.....           | 3  |
| 1.2 | デッドタイム - デジタル・オシロスコープの特性.....       | 4  |
| 2   | デッドタイムの影響とは？.....                   | 6  |
| 2.1 | 見えない不具合波形.....                      | 6  |
| 2.2 | デッドタイムが測定に与える影響.....                | 7  |
| 2.3 | 稀な不具合信号に対するテスト時間.....               | 9  |
| 3   | デッドタイムを減らす既存ソリューションのトレード・オフとは？..... | 11 |
| 3.1 | 長いメモリでの"Single run" .....           | 11 |
| 3.2 | 特殊なトリガ・イベント.....                    | 11 |
| 3.3 | 特殊な波形捕捉モード.....                     | 12 |
| 3.4 | 特殊なモードを使用しない高速な波形更新.....            | 12 |
| 4   | R&S® RTO オシロスコープの挑戦 .....           | 13 |
| 4.1 | RTO アーキテクチャ: デッドタイムを最小限にした設計 .....  | 13 |
| 4.2 | 最高 1 秒間に 100 万回の波形更新レート.....        | 14 |
| 4.3 | 高速波形更新レートに伴う波形解析結果の高速化.....         | 16 |
| 5   | 結論.....                             | 18 |
| 6   | カタログ.....                           | 19 |
| 7   | その他.....                            | 19 |
| 8   | オーダ情報.....                          | 19 |

# 1 デッドタイムとは？

デジタル・オシロスコープは 80 年代の初期に市場に登場しました。その当時としては、非常に画期的な製品でしたが、ユーザから見た場合には大きなパラダイム・シフトでもありました。デジタル技術の採用により、測定波形のポスト・プロセスや波形の保存が可能になりましたが、波形更新レートの低下も生じました。しかしながら、ここ数年におけるデジタル・オシロスコープの驚くべき技術革新により、アナログ・オシロスコープと同等な波形更新レートを持つまでになりました。

ここで疑問が生じます。果たして、使用しているデジタル・オシロスコープの測定波形をどこまで信用してよいのでしょうか？ デジタル・オシロスコープのデッドタイムが、測定時間の非常に大きな割合を占めていることをご存知ですか？ そして、この影響が複雑なデジタル回路における不具合信号のデバッグにどのような影響を与えているのか認識されていますか？

## 1.1 デジタル・オシロスコープのアーキテクチャ

基本的なデジタル・オシロスコープのアーキテクチャを理解することは、デッドタイムの原因を理解するために必要です。一般的なデジタル・オシロスコープのブロックダイアグラムを図 1 に示します。

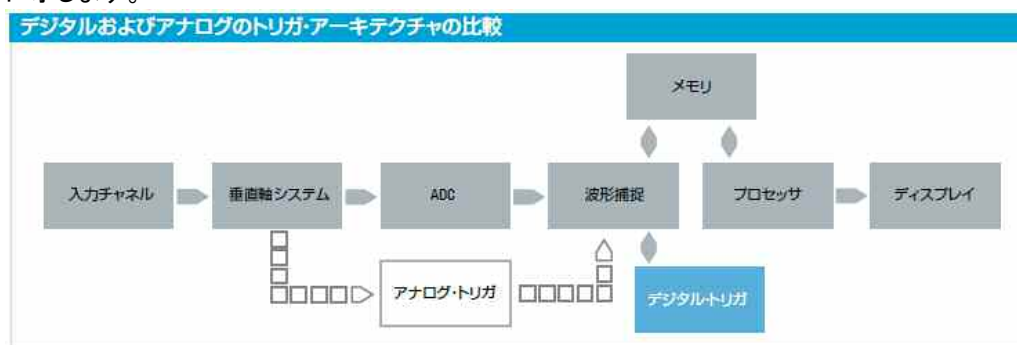


図 1: 一般的なデジタル・オシロスコープのブロックダイアグラム

入力チャンネルからオシロスコープに入った測定信号は、アッテネータあるいはアンプによって電圧レベルが調整されます。A/D (ADC) によって、等間隔にサンプリングされた信号はサンプル・ポイント毎にデジタルの振幅値としてプロットされます。信号の捕捉ブロックは、フィルタリングやサンプル・デシメーションを実行します。出力データは、アキュジション・メモリに“波形サンプル”として保存されます。波形レコードのサンプル数は、ユーザ設定可能な“レコード長”として定義できます。

ユーザの要求に応じて、ポスト・プロセスによる解析を波形のサンプル・データに対して行うことができます。ポスト・プロセスには、演算機能として平均値の計算や、FIR フィルタ処理、立上がり/立下り時間、ヒストグラム解析やマスク試験機能などが用意されています。その他にも、プロトコル・デコーディング機能、ジッタ解析機能、そしてベクトル・シグナル解析機能などがあります。

デジタル・オシロスコープは、原理的に波形のサンプル・データに対するポスト・プロセス処理に関する制限はありません。これらのポスト・プロセスは、オシロスコープのアーキテクチャによって処理方法が異なります。測定器のホスト・プロセッサによりソフトウェア的に処理されている場合もあれば、特化した ASIC や FPGA により、ハードウェアで処理されている場合があります。最終的な結果をユーザは、オシロスコープの画面上で確認することができます。こうした処理サイクルが終了し画面に結果が表示されると、オシロスコープは次の波形の取り込みを開始します。

## 1.2 デッドタイム - デジタル・オシロスコープの特性

アナログ・オシロスコープのユーザは、画面上でほぼ全ての波形を観測しています。ブラウン管の画面には、自然な残光が残り、不具合信号を素早く捕捉することができます。

アナログ・オシロスコープは、次の電子ビームの掃引開始に際して単純に水平軸のシステムをリセットするだけですが、デジタル・オシロスコープは、波形の捕捉サイクルのほとんどをポスト・プロセスの時間で使用されてしまいます[1]。このプロセス処理の間、デジタル・オシロスコープはデッドタイムが生じるため、波形を観測することができません。そのため、デジタル・オシロスコープでは、観測波形をスナップ・ショットで見ることになります。しかしながら、多くのデジタル・オシロスコープのユーザは、こうしたデッドタイムが波形観測時間のほとんどを占めているため、稀にしか生じない不具合波形の捕捉や詳細な表示に非常に大きな影響を与えていることを認識していません。

### 波形捕捉サイクルの定義と、捕捉レートおよびデッドタイムの関係

図 2 に、波形捕捉サイクルの例を示します。波形捕捉サイクルとは、実際の捕捉時間とデッドタイムを組み合わせたものです。実際の捕捉時間では、オシロスコープは決められた波形のサンプルを捕捉し、波形捕捉メモリにデータを書き込みます。波形捕捉におけるデッドタイムは、固定部分と変化する部分の 2 つがあります。固定部分は、測定器固有のアーキテクチャに依存します。変化する部分は、プロセス処理に必要な時間と、波形のサンプル・ポイント数(アクティブ・チャネルのレコード長)、そしてポスト・プロセス処理(例: 波形補間、演算機能、測定および解析)に依存します。デッドタイム内での最終的な処理としては、波形表示のためのグラフィックス・エンジンに波形サンプルの受け渡しを行い、オシロスコープは次の新しい波形捕捉に向けて、トリガをリアームします。

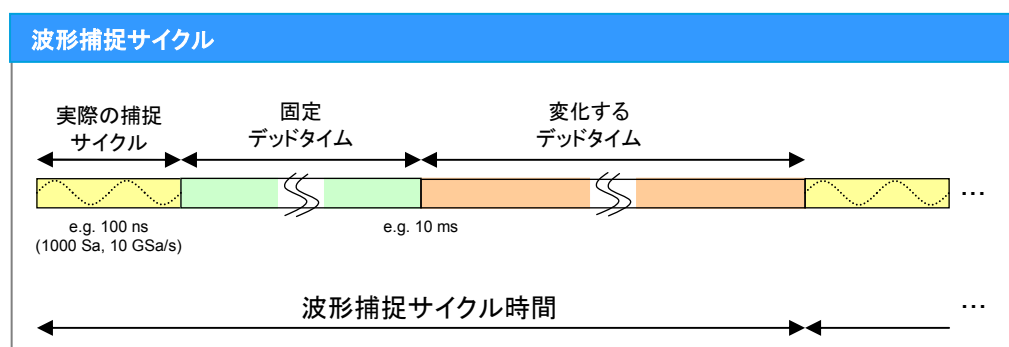


図 2: デジタル・オシロスコープの捕捉および解析サイクル

実際の捕捉時間とデッドタイムの割合は、デジタル・オシロスコープの重要な特性の 1 つです。具体的には、デッドタイム割合あるいは波形更新レートとして定義できます。

$$\text{式 1: } \text{デッドタイム割合} = \frac{\text{デッドタイム}}{\text{波形捕捉サイクル時間}}$$

$$\text{式 2: } \text{波形更新レート} = \frac{1}{\text{波形捕捉サイクル時間}}$$

例えば、実際の波形捕捉時間が 100 ns で、デッドタイムが 10 ms の場合、波形捕捉サイクルは 10.0001 ms です。この場合、デッドタイム割合は 99.999% であり、波形更新レートは、1 秒間に 100 波形以下です。

### 大容量データのプロセス処理におけるチャレンジ

ここまでの説明で言えるのは、“プロセス処理パワーを改善し、パイプライン・アーキテクチャを採用した高速デジタル・オシロスコープを開発すべき”、ということです。しかしながら、こうしたソリューションには大量なデータを処理できる能力が必要になります。例えば、10 G サンプル/秒で 8 ビットの ADC を搭載するデジタル・オシロスコープでは、80 G ビットものデータを連続的に処理する必要があるだけでなく、毎回波形を表示する必要があります。さらに、DSP フィルタリング、演算処理、解析機能などが波形サンプルに対して行われるため、さらなるプロセス処理パワーが必要になります。したがって、現時点でデッドタイムのない、リアルタイム・プロセス処理を搭載したデジタル・オシロスコープの実現は非常に困難です。それにも関わらず、デッドタイムが短いオシロスコープは依然として強い要求であり、エンジニアは大量な波形を確実に捕捉し不具合信号を見逃さない、信頼性の高い測定や解析ができるオシロスコープを望んでいます。

### 使用中のオシロスコープのデッドタイム測定方法

デジタル・オシロスコープのデッドタイムに関係する、波形更新レートを評価するためには、いくつかの方法があります。

波形捕捉カウンターや、更新レートのパフォーマンスを表示する機能を搭載しているオシロスコープがあります。その他にも、オシロスコープのトリガ・アウトをカウンターに接続し、トリガ信号をカウントすることで波形の更新レートを評価する方法などがあります。

ここでの注意点は、トリガ信号には、波形の捕捉レートよりも早い間隔でトリガイベントが発生する可能性があります。この場合、オシロスコープの真のパフォーマンスを評価することはできません。

## 2 デッドタイムの影響とは？

1章では、デッドタイムに関する技術的背景について説明しましたが、ここで“デッドタイムが測定におよぼす影響とは何か？”という疑問が生じます。オシロスコープのユーザは、表示されている波形を真の結果だと思い、それを信じています。そこには、正確なタイミングと、振幅表示だけでなく、波形の振る舞いについても完全にモニタされていると期待しています。

### 2.1 見えない不具合波形

一般的なテスト・シナリオとしては、ユーザは一連の測定においてシステム動作の不具合に関する原因究明を行うことです。その他のシナリオとしては、ユーザは数多くの信号パターンに対しても、システムが常に正常に動作することを証明することです。こうしたアプリケーションに対するアプローチとして、標準的な“エッジトリガ”と“残光モード”を使用して、長時間に渡り信号の変化を図4のようにモニタする方法があります。このモードは、稀にしか生じない信号を輝度や色の違いにより表示させます。ユーザは、不具合波形の形状を見つけた時点で、グリッド幅やラント振幅などの条件に併せてトリガ機能を選択して波形を捕捉します。この2ステップ・アプローチは、繰り返し発生する信号にしか用いることができません。予測不能な信号のデバッグには使うことができないのです。

図3に示すように、デッドタイム内で発生するイベントは捕捉できないため、画面に表示されることはありません。つまり、こうした信号はユーザには全く見えないことになります。唯一、見ることができるとすれば、こうした信号が長時間に渡り繰り返し発生する場合があります。長時間の観測により、こうした確率は高まり、オシロスコープの捕捉時間と同時に発生すれば、見ることができます。

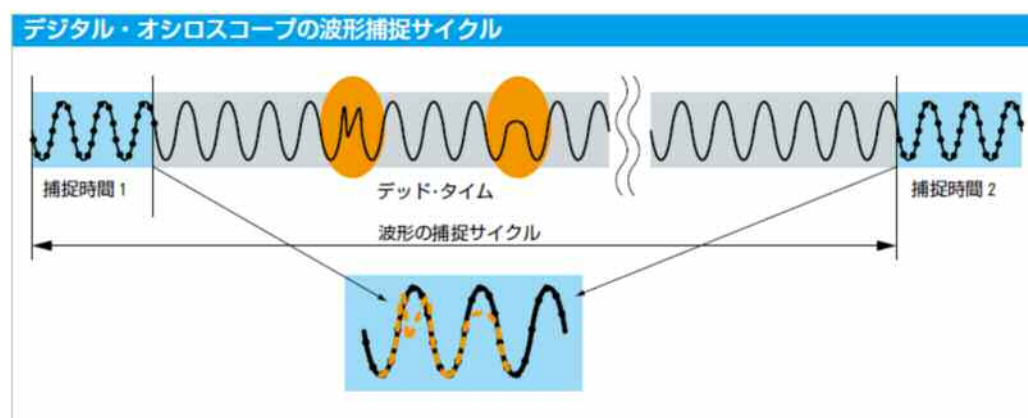


図3: オシロスコープのデッドタイムで発生する信号イベントを観測するのは不可能です。



図 4: 残光モードにより稀にしか発生しない不具合信号がハイライトされています。

## 2.2 デッドタイムが測定に与える影響

デジタル・オシロスコープのユーザは、信号のごく一部しか測定できないということを、きちんと認識する必要があります。次の章では、デッドタイムが測定結果に対して、どのような影響があるのかを説明します。

### 測定器の応答性

デッドタイムの明らかな問題点は、測定器の応答性です。オシロスコープのユーザは、捕捉しづらい現象を見つける可能性を高めるために、タイムベースを長く設定することがあります。この時点では、問題としては顕著になってはいませんが、タイムベースを長くすると、確かにデッドタイムの割合を下げる効果があります。しかしながら、レコード長を長くすると波形捕捉レートの低下を招き、波形更新レートがさらに遅くなります。このことは、測定器の設定変更が必要であるにも関わらず、連続モードで測定しなくてはならない場合において非常にストレスになります。新しい信号の捕捉に合わせて全ての設定を変更した後は、測定が一時中断されるため、ユーザは画面に測定結果が表示されるまで待たなければなりません。

### 稀な不具合信号の検出

デッドタイムは、稀にしか生じない信号の検出や、解析のようなデバッグ・プロセスにおいて大きな影響をおよぼします。前章で説明したように、不具合信号は、波形捕捉サイクルの中における、実際の捕捉時間内で発生した不具合信号のみしか表示できません(図 3)。

一般的なデジタル・オシロスコープでは、波形捕捉時間は 1%よりも遥かに低い値になります。そのため、ユーザは信号が繰り返し、長時間発生していることを期待しています。しかしながら、実際のオシロスコープの波形捕捉時間は、不規則な信号に合わせる必要があります。短いデッドタイムは、不規則な不具合信号の早期発見に大きく貢献します。不具合信号のテスト時間への影響に関する詳細な議論は、2.3 章以降で行います。

### 解析結果の信頼性

測定、マスク試験(図 5)、ヒストグラムおよび FFT などの解析機能は、プロセス処理時間の増加を招くため、各波形捕捉サイクルにおけるデッドタイムが増加します。より波形の長いレコード長は、さらに更新レートを低下させます。こうした多くの解析機能は、テスト波形の統計処理や、最悪値のリミット評価などに用いられます。統計処理の精度を高めるためには、多くの波形を収集する必要がありますが、長いデッドタイムはこの要求とは相反することになります。このように、長いデッドタイムは測定時間全体に大きな影響を与えます。

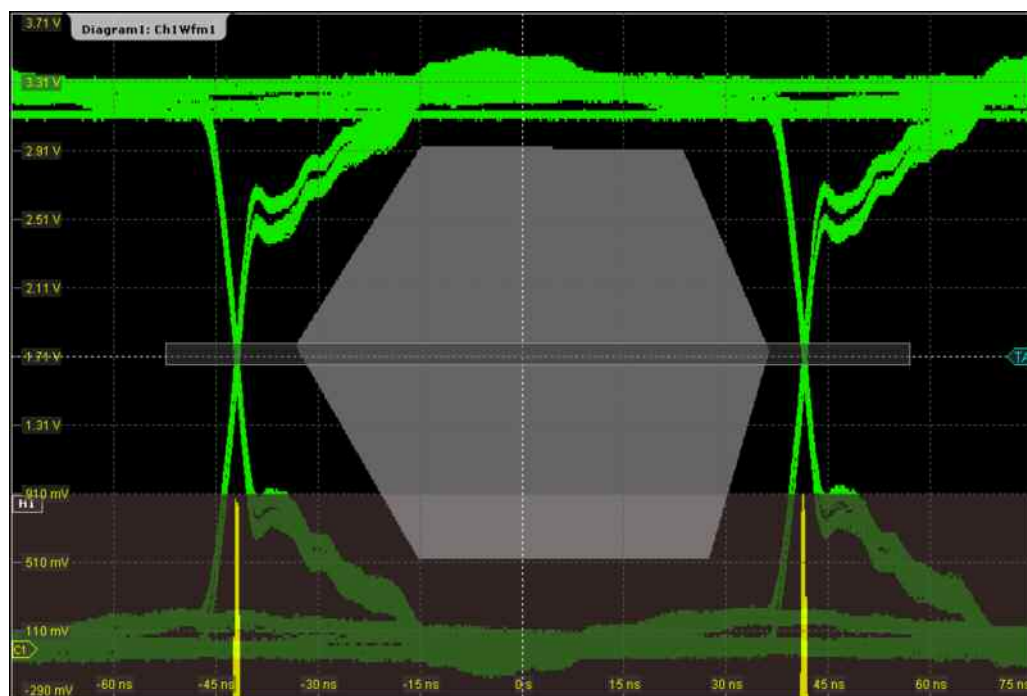


図 5: 物理層の仕様をマスクあるいはヒストグラム試験により、統計的に高精度な評価する場合、数多くの波形を取り込む必要があります。

### 演算、カーソル、そしてズーム機能による更新レートの低下

演算、カーソル機能、そしてズーム・ウィンドウなどの、ポスト・プロセス処理は、さらなる処理時間が必要となります。これらの機能が有効になると、デジタル・オシロスコープの波形捕捉時間は著しく遅くなります。



## 2.3 稀な不具合信号に対するテスト時間

2.1 章で述べたように、デジタル・オシロスコープはテスト波形のほんの一部しか捕捉することができないため、デッドタイム内(図 3)で発生する信号は見ることができません。この波形が、仮に長時間に渡って繰り返し発生すると仮定すれば、統計値を使用して、こうした波形を捕捉し、表示するまでの平均時間を計算で求めることができます。以下に、稀な信号イベントを捕捉するために必要となる時間に関する詳細について述べます。

### 稀な信号の捕捉に必要なテスト時間の計算式

信号イベントの捕捉確率と表示は、与えられた波形の捕捉時間 (サンプル数 \* 分解能、あるいは 10 \* 時間スケール)、与えられた更新レートと信号イベントの発生割合 (グリッチの繰り返し割合)、波形捕捉確率により、測定時間を以下の式を参考に増加することで改善できます:

$$\text{式 3: } P = 100 - 100 * (1 - \text{GlitchRate} * T)^{\text{AcqRate} * t_{\text{measure}}}$$

P: 稀な信号イベントの捕捉確率 [%]

GlitchRate: 信号イベントの発生割合 (グリッチ信号) [1/s]

T: 実際の捕捉時間あるいは波形表示時間 (レコード長 / サンプル・レートあるいはレコード長 \* 分解能、または 10 \* 時間スケール / div) [s]

AcqRate: 更新レート [wfms / s]

$t_{\text{measure}}$ : 測定時間 [s]

ある確率における必要なテスト時間を計算するために、以下の式が使用されます:

$$\text{式 4: } t_{\text{measure}} = \frac{\log\left(1 - \frac{P}{100}\right)}{\text{AcqRate} * \log(1 - \text{GlitchRate} * T)}$$

### 不具合信号を観測するために必要なテスト時間の例

ここでは仮に、1 秒間に 10 回の割合で不具合信号が繰り返し発生すると仮定します。データ信号をオシロスコープの画面上に 10 ns/div. スケールで表示させます。画面には、水平軸表示として 10 div. あるので、100 ns で計算を行います。観測したい信号の捕捉確立の信頼性を高めるために、99.9 % の確率をここでは使用します。

必要なテスト時間は、オシロスコープの更新レートに依存します。以下の表では、必要なテスト時間を、いくつかの異なる波形更新レートと組み合わせせてあります。

| 更新レート            | テスト時間                   |
|------------------|-------------------------|
| 100 wfms/s       | 19 hours: 11 min : 08 s |
| 10,000 wfms/s    | 11 min : 31 s           |
| 100,000 wfms/s   | 1 min : 09 s            |
| 1,000,000 wfms/s | 7 s                     |

表 1: 繰り返し発生する不具合信号を、99.9%の確立で捕捉するための平均テスト時間 (T=100 ns, GlitchRate=10/s)

### 不具合信号の捕捉確率

以下のグラフ(図 6)に、1秒間に10回の割合で不具合が発生する信号を捕捉するために必要なテスト時間を示します。高速な波形更新レートでは、稀な不具合信号の捕捉確率が短時間で増加していることが分かります。

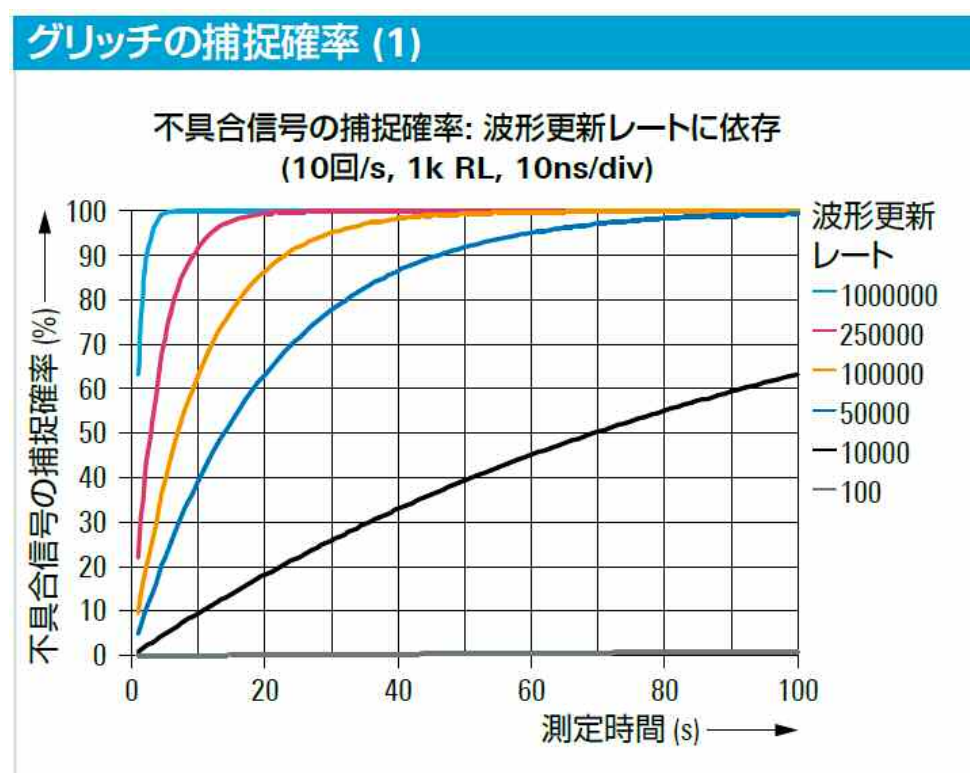


図 6: 1秒間に10回の割合で不具合が発生する信号を捕捉する確率 (オシロスコープの波形更新レートに依存)

## 3 デッドタイムを減らす既存ソリューションのトレード・オフとは？

オシロスコープの長いデッドタイムは、テスト信号の見え方を大きく制限します。こうしたアーキテクチャの問題に対応するために、数多くの先端技術が採用されています。

### 3.1 長いメモリでの"Single run"

単発波形の取り込みを行えば、連続信号のシーケンスを捕捉することができます。"single run"を実行した後に、ポスト・プロセスが発生するため、信号のシーケンスを乱すことはありません。最大の波形取り込み時間は、オシロスコープのサンプリング周波数と波形捕捉メモリ・サイズに依存します。10 M サンプルで、サンプリング・レートが 10 G サンプル/秒の場合、連続する最大のレコード長は 1 ms になります。仮に 100 M サンプルのような長いメモリを持つ場合でも、このサンプル・レートでは連続的に取り込めるのは 10 ms となります。表 2 には、最大の波形取り込み時間を、メモリ・サイズとサンプリング・レートの関係で示しました。

| 波形の取り込み時間    |           |           |            |
|--------------|-----------|-----------|------------|
|              | 10 M サンプル | 50 M サンプル | 100 M サンプル |
| 10 G サンプル/秒  | 1 ms      | 5 ms      | 10 ms      |
| 5 G サンプル/秒   | 2 ms      | 10 ms     | 20 ms      |
| 1 G サンプル/秒   | 10 ms     | 50 ms     | 100 ms     |
| 500 M サンプル/秒 | 20 ms     | 100 ms    | 200 ms     |
| 100 M サンプル/秒 | 100 ms    | 500 ms    | 1,000 ms   |
| 10 M サンプル/秒  | 1,000 ms  | 5,000 ms  | 10,000 ms  |

表 2: 波形の最大取り込み時間と、サンプリング・レートおよび捕捉メモリ・サイズの関係



#### トレード・オフ

長い観測時間を用いて信号の予期せぬ不具合波形を観測するのは、このアプローチでは困難な場合が多いようです。仮に不具合信号の捕捉に成功できたとしても、これだけの膨大なデータが画面に表示されると、その中から不具合波形だけを発見するのは、非常に困難な作業となるためです。

### 3.2 特殊なトリガ・イベント

1940 年代、波形を安定して表示するためにトリガ機能が開発されました。アナログ・オシロスコープにおける最初のトリガ・イベントは、"エッジ" イベントでした。最新のデジタル・オシロスコープは、特殊な信号を捕捉するために、数多くのトリガ・イベントを提供しています。例としては、グリッチ幅、ラント振幅、あるいは立上がり時間などです。



### トレード・オフ

特殊なトリガ・イベントは、不具合信号の捕捉に役立ちますが、トリガ・イベントを理解することが必要になります。デバッグ・プロセスの初期段階においては、不具合信号の振る舞いは全く分かりません。いくつかのオシロスコープでは、使用すべきトリガを指示し、使用方法が掲載されている製品もありますが、指示されているトリガが正しいかどうかは、いずれにしてもマニュアルで確認する必要があります。

## 3.3 特殊な波形捕捉モード

デッドタイムを短くするために、いくつかのオシロスコープでは、特殊な波形捕捉モードを用意しています。これらのモデルでは、デッドタイムを短くするために、ポスト・プロセス機能などを制限し、波形更新レートを高めています。他のアプローチとしては、通常のプロセス・ブロックを介さずに特殊なプロセス・パスを設け、波形ピクセルによる更新速度だけに特化した処理を行うものです。

こうした特殊な捕捉モードのゴールは、信号をモニタし、特殊なカラーグレード(残光モード)で不具合信号の振る舞いを目立つように表示することです。こうした特殊な波形捕捉モードによる高速な波形更新レートの実現は、解析ツールやオシロスコープのコントロール、あるいは波形の保存が部分的にしか行えないなどの機能的な制限が生じます。



### トレード・オフ

これらの特殊な捕捉モードを使用するには、2ステップでのアプローチが必要です。最初に、ユーザは不具合信号の振る舞いを観測できる状態にする必要があります。次のステップとしては、不具合信号用の特殊なトリガ機能を使用して、再度不具合信号を捕捉します。この結果、2番目のステップで捕捉した信号と、最初の波形モニタで観測した波形とは異なる解析結果になる場合があります。

さらに、こうしたモニタ機能を搭載しているモデルでは、解析機能がない、あるいは制限されている場合があります。したがって、標準的な測定モードで解析機能が使えるような製品を使用した方が、効率的な評価が行えます。

## 3.4 特殊なモードを使用しない高速な波形更新

高速な波形更新レートとプロセスを実現するソリューションとして、特殊なモードを使用すると、上記のようにオシロスコープの標準的な操作環境が著しく制限されます。理想的なオシロスコープは、短いデッドタイムというアドバンテージと合わせて、各種機能や、解析機能を全て使用することができる製品です。しかしながら、ほとんどの標準的なオシロスコープの波形更新速度は、100 波形/秒程度です。



### トレード・オフ

いくつかのミッド・レンジのオシロスコープ、例えば、 $\leq 1$  GHz 帯域クラスで、 $\leq 50,000$  波形/秒を 5 G サンプル/秒 あるいは  $\leq 95,000$  波形/秒を 2 G サンプル/秒で実現している製品があります。しかしながら、 $\geq 1$  GHz のクラスでは、こうした製品はありませんでした。

## 4 R&S®RTO オシロスコープの挑戦

R&S®RTO デジタル・オシロスコープの設計時におけるターゲットは、デッドタイムの飛躍的な短縮を、標準的な波形捕捉モードで実現することでした。以下の章では、RTO のアーキテクチャと、それに伴うメリットについて詳しく説明します。

### 4.1 RTO アーキテクチャ: デッドタイムを最小限にした設計

1章および2章で示したように、デッドタイムに影響を与えているのは、データ・プロセスと画面表示の2つです。そのため、RTO のアーキテクチャでは、プロセス・パスとグラフィックス・コントローラの最適化にフォーカスしています。

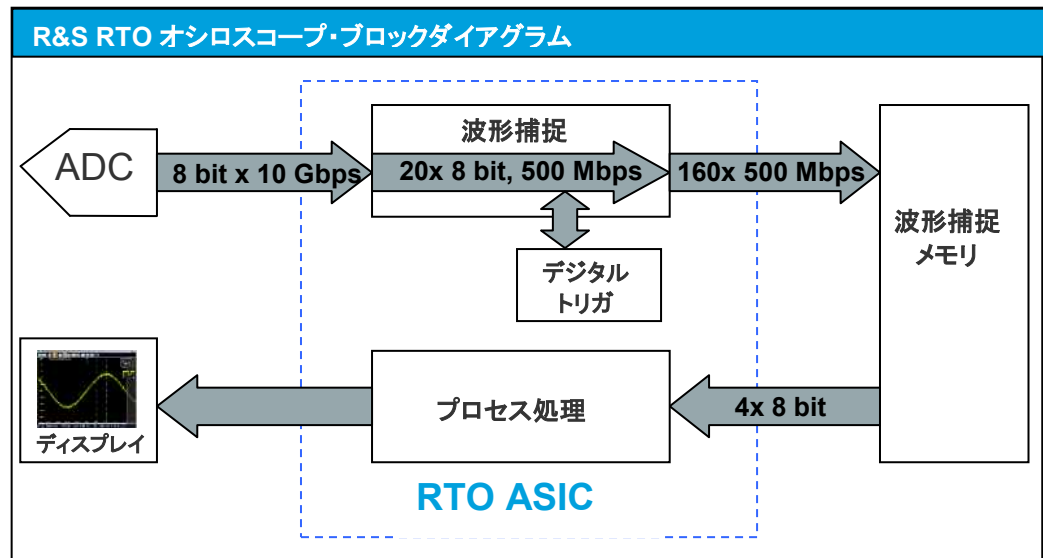


図7: RTO オシロスコープ・アーキテクチャによるデッドタイムの短縮

図7は、R&S RTO オシロスコープに搭載されている特殊なASICのプロセス処理を示しています。デジタル・オシロスコープ内部の処理で重要なのは、ADCからのサンプルを波形捕捉メモリにリアルタイムで書き込むことです。各オシロスコープ・モデルの違いは、このリアルタイム・パスのプロセス処理にあります。

例えば、RTOの捕捉ブロックには、デスキュー機能、DSPフィルタ、そしてチャンネルの組合せ機能（add、sub、inv）がリアルタイム・パスに含まれています。さらに、3種類の波形出力（サンプル、高分解能、RMS）が並列処理できるデシメーション・ブロックも含まれています。

高速データ・スループットを維持するためのキー・テクノロジーは、大容量の平行処理にあります。RTOの8ビット、10Gサンプル/秒ADCの出力は80Gビットのデータとなり、このデータを毎秒処理する必要があります。波形捕捉ブロックでは、これらのデータが20個の並列パスで処理されています。

データ捕捉メモリと表示間のプロセスも、複数のパス(最高 4 本)で構成されています。このため、追加の波形処理オプション(補間や演算など)が行われても、非常に短いデッドタイムしか生じません。RTO は、大部分の波形や測定機能の処理を、RTO ASICで行っています。ソフトウェアベースのソリューションとは異なり、CPU へのアクセスがないため、関連するデータの転送は必要ありません。

このアーキテクチャにより、波形捕捉メモリの後にあるプロセス処理パスのデータ・スループット・レートを、波形捕捉メモリの前にあるリアルタイム・パスの 1/5 にすることができます。これにより、理論的に有効な捕捉時間の 20%を処理します。データをハンドリングするオーバーヘッドは、実際に測定器が 10 G サンプル/秒で動作している場合においてデッドタイムを 90%まで削減します。これは、デジタル・オシロスコープにおいては、非常に高い数値となります。現時点での最速なソリューションでは、特殊な高速表示モードにより、10 G サンプル/秒において有効な捕捉時間は 0.5%程度しかありません。他のデジタル・オシロスコープでは、0.01%以下という、さらにゆっくりとした捕捉時間となります。これに対して RTO は、こうした妥協をしていません。

さらに、RTO オシロスコープでは、リアルタイム・デジタル・トリガ・システムを搭載しています。これまでの方式では、アナログ回路で作られた、トリガ・パスが、信号の捕捉パスとは別に使用されています。この場合、2 つの信号経路(捕捉とトリガ)は、トリガ・ジッタを最小限にするため精密に調整されます。さらに、トリガ・ジッタを無視できるレベルまで低減させるために、ポスト・プロセス技術が使用される場合があります。これに対して、RTO は捕捉とトリガ・パスが同一であるため、調整する必要がありません。このため、リアルタイム・トリガと、トリガ・ジッタの低減、そして高速な波形更新レートを同時に実現することができます。

デジタル・オシロスコープの高速波形更新レートにおける最後のボトルネックは、波形のグラフィカル・ディスプレイへの表示です。そのため、RTO ASIC には特殊なグラフィックス・エンジンを搭載しており、画面にピクセル・データを重ね書きするための処理を行います。ASIC からの高速データ・スループットに対応するために、RTO は複数のグラフィカル・エンジンをインターリーブさせて使用しています。

## 4.2 最高 1 秒間に 100 万回の波形更新レート

1 つの ASIC に(図 8)インテグレートされた複数の高速プロセス処理のパス、グラフィックス・エンジン、そして洗練されたメモリ・コントローラを搭載し、デッドタイムの短縮と業界最速の波形更新レートを実現しています。R&S RTO オシロスコープは、1 秒間に 100 万回の波形更新レートを、1000 サンプル・レコード、10 G サンプル/秒の最高サンプリング・レートで実現しています。

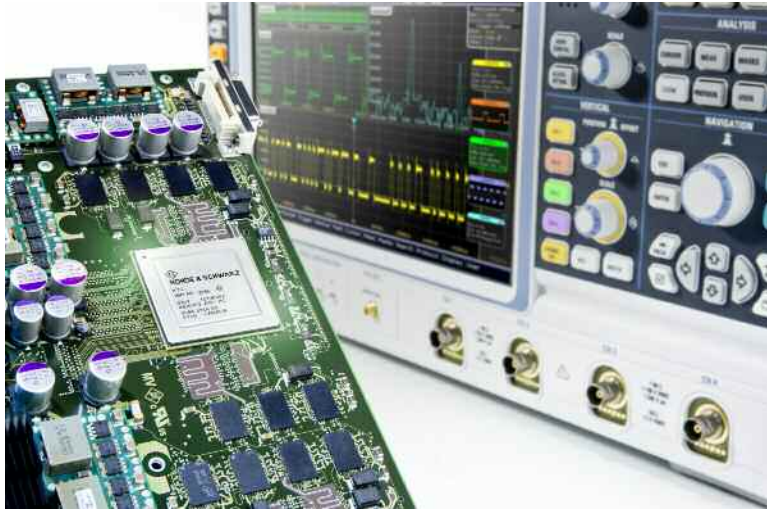


図 8: RTO ASIC はデッドタイムの短縮を高度なプロセスのインテグレーションで実現しています

1.2 章で示したように、波形更新レートはパラメータの設定と、使用しているプロセスに依存します。図 9/10 に、RTO の波形更新レートと、時間スケール(Horizontal Scale)およびレコード長の関係について示しました。1.2 章での議論で示唆したように、波形の更新レートは波形のレコード長が長くなると低下します。これは、長い波形の捕捉時間は、結果的に長い捕捉サイクルの原因となるからです。RTO の場合、デッドタイムの割合は、時間スケールを変化させてもほぼ一定で、分解能も維持しています。

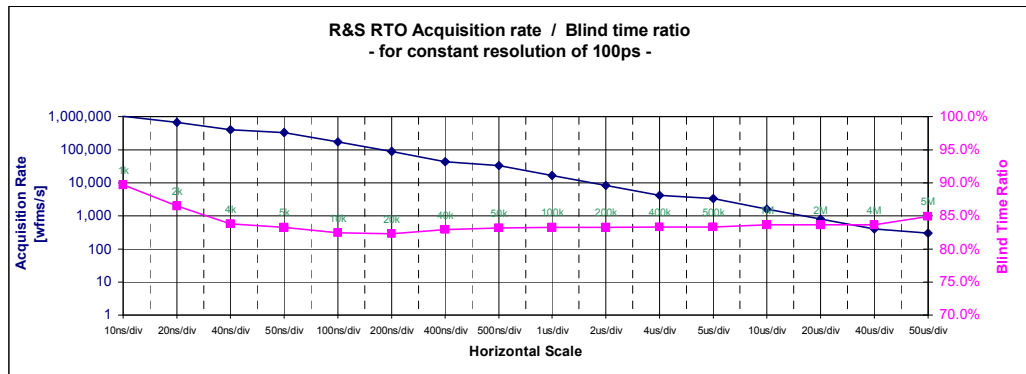


図 9: R&S RTO: 分解能(100 ps)が一定の場合における捕捉割合(Acquisition rate) & デッドタイム比 (Blind time ratio)の比較

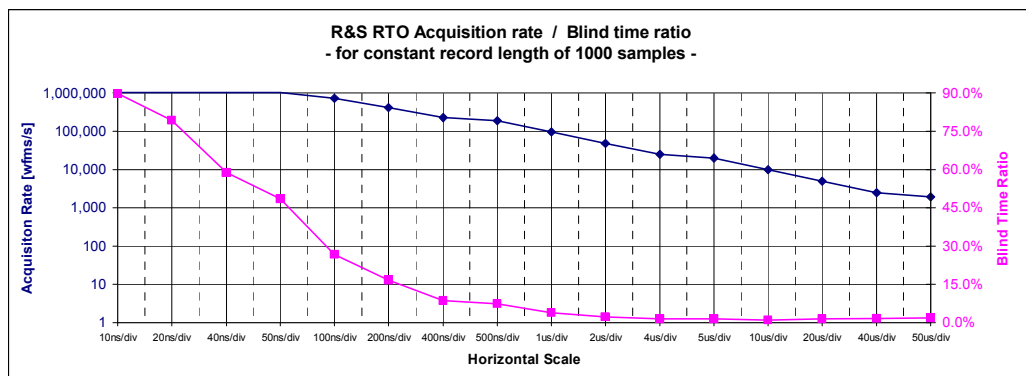


図 10: R&S RTO: レコード長(1000 サンプル)が一定の場合における捕捉割合(Acquisition rate) & デッドタイム比 (Blind time ratio)の比較

不具合信号を素早く見つけるための重要なポイントを図 10 と表 3 に示しました。一定のレコード長における RTO オシロスコープのデッドタイムは、ゆっくりとしたサンプル・レートの場合には低下するため、波形更新レートの高い状態で波形観測を行うことができますようになります。



#### アプリケーション・ヒント

稀な不具合信号を素早く見つけるためには、可能な限りサンプリング・レートを低下させることが重要です。低いサンプリング・レートでは、デッドタイムの割合が低下するため、信号の観測範囲が広がるためです。

同じサンプル数であれば、時間スケールを大きくすれば、実際の波形取り込み時間は長くなりますが、波形の処理速度は変わらないため、デッドタイムの割合は低下します。

| サンプリング・レート    | 時間スケール         | 波形更新レート          | デッドタイム |
|---------------|----------------|------------------|--------|
| 10 Gsample/s  | 10 ns/div      | 1.020.000 wfms/s | 90%    |
| 5 Gsample/s   | 20 ns/div      | 1.020.000 wfms/s | 79%    |
| 2 Gsample/s   | 50 ns/div      | 950.000 wfms/s   | 52%    |
| 1 Gsample/s   | 100 ns/div     | 707.000 wfms/s   | 29%    |
| 100 Msample/s | 1 $\mu$ s/div  | 92.000 wfms/s    | 8%     |
| 10 Msample/s  | 10 $\mu$ s/div | 9.500 wfms/s     | 5%     |

表 3: レコード長が一定の場合、サンプリング・レートが低くなるため、デッドタイムの割合は低下します。測定例として、RTO オシロスコープ (1 チャンネル, 1000 サンプル, ドット・モード)

## 4.3 高速波形更新レートに伴う波形解析結果の高速化

高速波形更新レートがもたらす、さらなるメリットとしては、解析機能との組合せでもデッドタイムが短いということが挙げられます。より多くの波形が解析されることにより、統計的データとして信頼性の高い結果を得ることができます。高速な波形捕捉により、数多くの波形データを素早く取り込むため、不具合信号を発見する可能性や解析を精度高めることができます。

RTO では、最も重要な解析機能は ASIC で処理されるように設計されています。複数のプロセス処理のパスにより、これらの解析機能を使用している状態でも、高い波形更新レートを維持します。表 4 は、RTO で解析機能を使用した場合における、最高波形更新レートを示しています。これまでのオシロスコープでは、こうした機能を使用すると、波形の更新レートは、1 秒間に 100 ~ 1000 波形程度まで落ち込みます。

| 解析機能   | 最高波形更新レート          |
|--------|--------------------|
| なし     | > 1,000,000 wfms/s |
| ヒストグラム | > 1,000,000 wfms/s |
| マスク試験  | > 600,000 wfms/s   |



| 解析機能   | 最高波形更新レート          |
|--------|--------------------|
| カーソル測定 | > 1,000,000 wfms/s |
| ズーム機能  | > 500,000 wfms/s   |

表 4: RTO で解析機能を使用した場合における最大波形更新レート

図 11 に、捕捉波形にヒストグラム解析を使用した場合の例を示します。RTO が提供する高速波形更新レートにより、短時間で大量なデータを用いたヒストグラムを描き出します。このように、信頼性の高い統計的なデータが素早く得られます。この例では、波形更新レートとしては、1,000,000 波形/秒を実現しています。

図 12 は、RTO で高速波形更新レートと、解析機能を組み合わせて使用した場合の例を示します。RTO では、1 秒以内に信頼性の高いマスク試験結果が得られていることが分かります。この例では、6 百万回の波形が 10 秒以内に捕捉されています。つまり、マスク試験においても、1 秒間に 60 万回の波形更新レートを実現していることとなります。

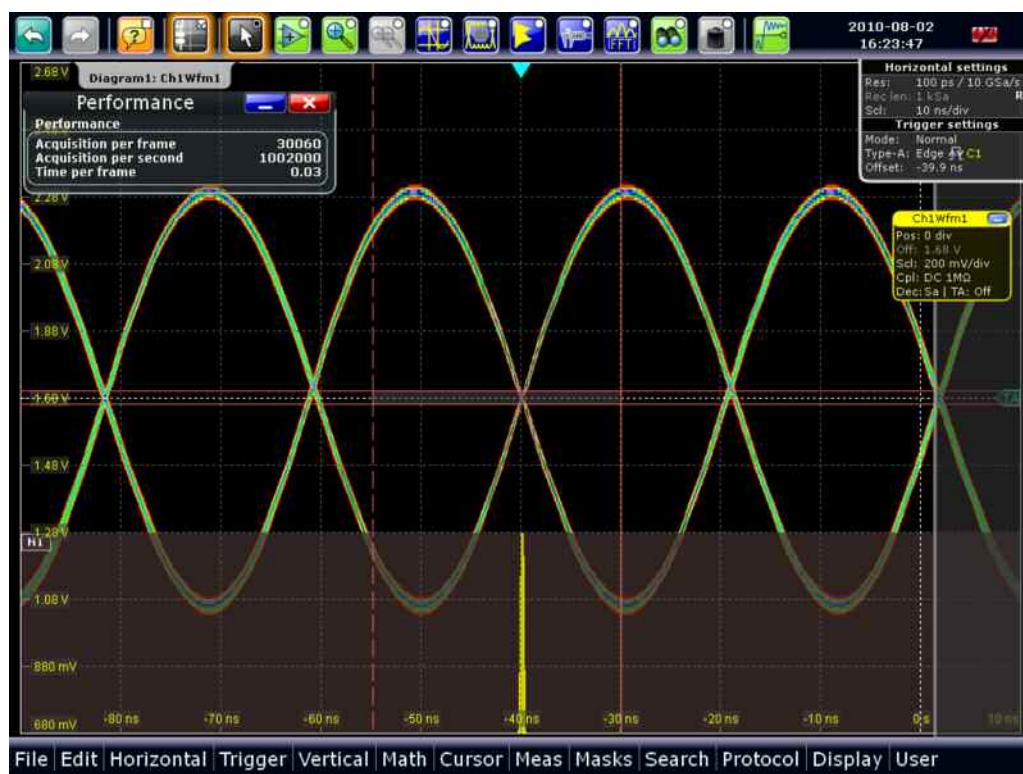


図 11: ヒストグラム機能を使用しても、高速波形更新レートは維持されているため、大量なデータの統計処理を短時間でおこなうことが可能です

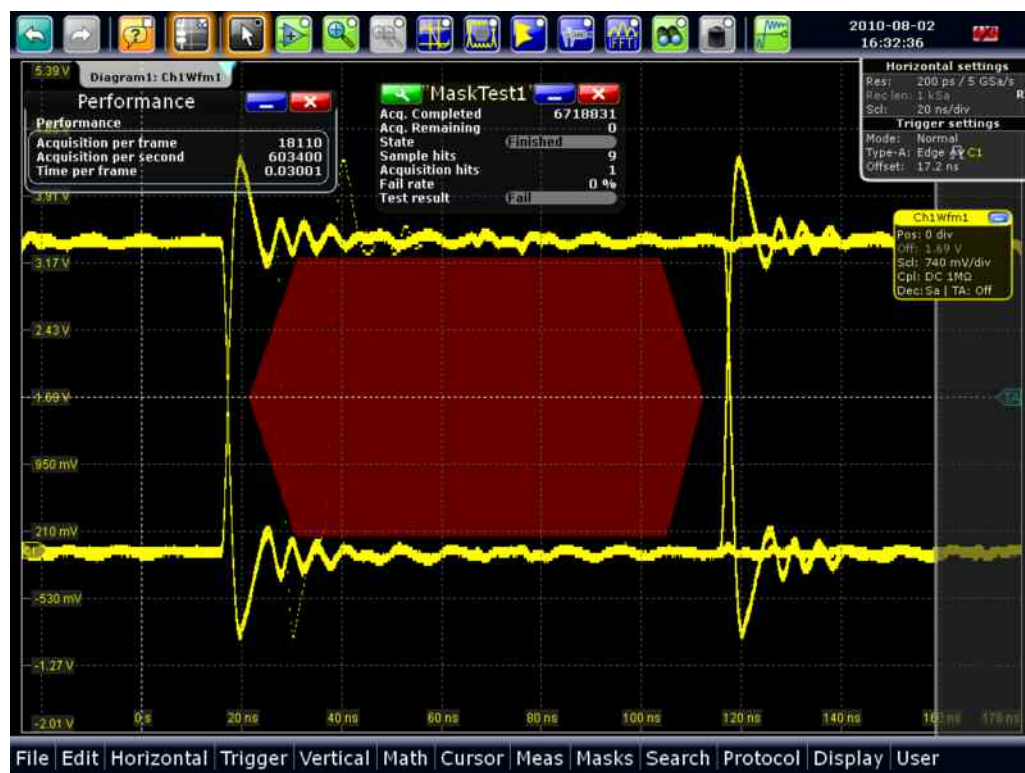


図 12: 大量な波形データを使用したマスク試験結果は、統計的な信頼性が非常に高くなります: R&S RTO は 1 秒間に 60 万回以上の波形を使用したマスク試験を行うことができます

## 5 結論

全てのデジタル・オシロスコープは、一時的なデッドタイムを持ち、表示されている信号の詳細な情報や測定および解析結果の信頼性に影響を与えます。

R&S RTO オシロスコープは、斬新なアーキテクチャと、ハードウェアによる波形捕捉およびプロセス処理により、デッドタイムの大幅な短縮を実現した製品です。

さらに、RTO は最新のデバッグおよび解析機能を搭載しており、測定や解析を行った場合においても、高速な波形更新レートを実現しています。

高速波形更新レートがもたらすデッドタイムの短縮によるメリットは以下の通りです:

- 稀にしか発生しない不具合信号の早期発見ができます
- 長いメモリ長や、解析機能を使用した場合においても、測定器の波形更新レートは大きく変わりません
- 測定結果は、統計的にも高い信頼性を持ちます
- デバッグや測定に要する時間を大幅に短縮することができます

これらのメリットと合わせて、デジタル・トリガや、高ダイナミックレンジ(有効ビット数 > 7)、そして直感的なユーザ・インターフェースなど、RTO オシロスコープは現在、そして将来にわたって、製品開発やデバッグをサポートする最適な評価ツールとなります。

## 6 カタログ

- [1] Hickmann, I.: デジタル・オシロスコープ、Newnes, 2001
- [2] R&S®RTO デジタル・オシロスコープ、製品カタログ
- [3] R&S®RTO デジタル・オシロスコープ、操作マニュアル

## 7 その他

この Application Note は、予告無く改定される場合がございます。引き続き、[弊社のウェブサイト](#)には、最新情報を掲載する予定ですので是非ご覧下さい。

URL: <http://www.scope-of-the-art.jp/ja/products/productoverview/>

## 8 オーダ情報

| 製品名   | 型番          | オーダ番号        |
|---|-------------|--------------|
| <b>本体、付属品</b> チャンネル数と同数の500 MHz パッシブ・プローブ(10:1)、アクセサリ・バッグ、クイックスタート・ガイド(CD-ROM含む)、電源ケーブル |             |              |
| <b>Digital Oscilloscopes</b>  |             |              |
| 1GHz 帯域、メモリ長:20 M/40 M、2 チャンネル  | R&S®RTO1012 | 1304.6002.12 |
| 1GHz 帯域、メモリ長:20 M/80 M、4 チャンネル  | R&S®RTO1014 | 1304.6002.14 |
| 2 GHz 帯域、メモリ長:20 M/40 M、2 チャンネル   | R&S®RTO1022 | 1304.6002.22 |
| 2 GHz 帯域、メモリ長:20 M/80 M、4 チャンネル   | R&S®RTO1024 | 1304.6002.24 |

詳細情報については、弊社営業宛にお問い合わせ下さい。

## ローデ・シュワルツについて

Rohde & Schwarz グループ(本社:ドイツ・ミュンヘン)は、エレクトロニクス分野に特化し、電子計測、放送、無線通信の監視・探知および高品質な通信システムなどで世界をリードしています。創業 75 年、世界 70 カ国以上で販売と保守・修理を展開している会社です。

### 本社/東京オフィス

〒160-0023 東京都新宿区西新宿 7-20-1  
住友不動産西新宿ビル 27 階  
TEL : 03-5925-1288/1287 FAX : 03-5925-1290/1285

### 神奈川オフィス

〒222-0033 神奈川県横浜市港北区  
新横浜 2-13-13 KM 第一ビルディング 8 階  
TEL : 045-477-3570 (代) FAX : 045-471-7678

### 大阪オフィス

〒564-0063 大阪府吹田市  
江坂町 1-23-20 TEK 第 2ビル 8 階  
TEL : 06-6310-9651 (代) FAX : 06-6330-9651

### サービスセンター

〒330-0075 埼玉県さいたま市浦和区  
針ヶ谷 4-2-20 浦和テクノシティビル 3 階  
TEL : 048-829-8061 (代) FAX : 048-822-3156

E-mail : [info.rsjp@rohde-schwarz.com](mailto:info.rsjp@rohde-schwarz.com)

URL : <http://www.rohde-schwarz.co.jp>

Certified Quality System  
**ISO 9001**  
DQS REG. NO 1954 QM

Certified Environmental System  
**ISO 14001**  
DQS REG. NO 1954 UM

R&S®は Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG の商標登録になります。

**Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG**

Mühlhofstraße 15 | D - 81671 München

Phone + 49 89 4129 - 0 | Fax + 49 89 4129 - 13777

[www.rohde-schwarz.com](http://www.rohde-schwarz.com)