

## 本書のねらい

# イントロダクション

# 信号波形を正確に観測するテクニックを身に付ける

本書の目的は、オシロスコープの性能や機能を100%発揮し使いこなして、電子回路の真の波形を捕らえることです。そのためには、測定器本体やプローブのしくみから理解する必要があります。

動作原理が理解できればスイッチやつまみを設定する意味が分かり、誤った計測をする危険性を大幅に減らせます。逆にしくみを理解していないと、次に示す例のように正しく観測できていないかもしれません。

## 0.1 正しく観測できていない例

### 0.1.1 AUTO機能のメカニズムを理解していますか？

オシロスコープに付いている[オート・セット]ボタンを押せば、電圧感度や時間軸設定などを波形に応じて設定してくれるので簡単に波形が現れます。

でも、ちょっと待ってください！

[オート・セット]ボタンはとりあえず波形を表示するだけで、ほとんどの場合は適切なレンジに設定しなおす必要があります。図0.1に、トリガ信号の選択チャンネルが最適ではないためにチャンネル間の信号の時間関係が分からなくなった例を示します。

### 0.1.2 プローブのしくみを理解していないことが原因

#### ●グラウンド線が長い

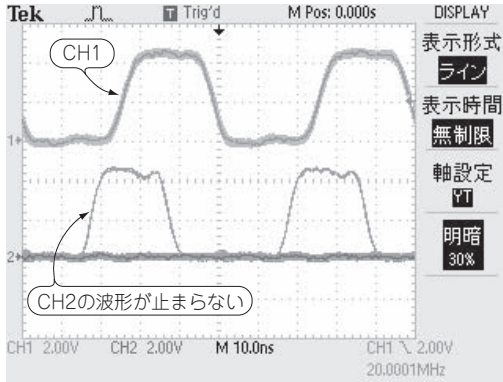
被測定回路とオシロスコープ本体はプローブで結ばれています。プローブには信号を入力する先端部分と、基準電圧(グラウンド)をとるためのリード線があります。

リード線は必ずインダクタンスを持ちます。そのためプローブの入力容量と共振回路を形成し、急峻な電圧変化をする信号が入力された場合、本来存在しない振動(リングング)を表示するおそれがあります。図0.2にプローブのグラウンド線のインダクタンス成分によりオーバーシュート波形を観測した例を、写真0.1に測定に使ったプローブを示します。

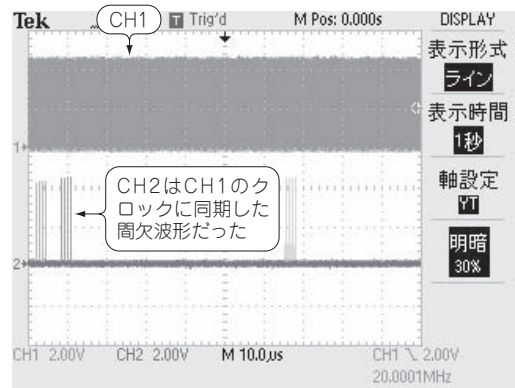
グラウンド線はインダクタンスを下げるため、最短にする必要があります。最短の線はメッキ線などで簡単に自作できます。またグラウンド線は外来ノイズを拾うアンテナにもなり得るので、周波数が低い場合でもできる限り最短にする必要があります。

#### ●周波数特性の校正が必要

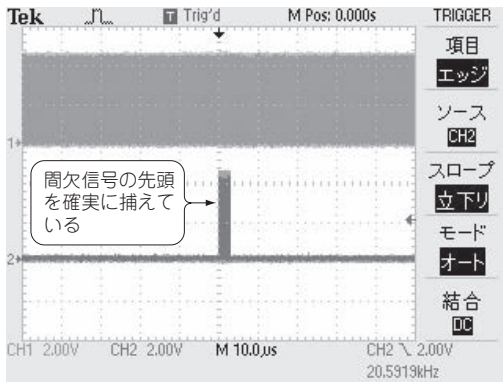
信号をオシロスコープに導く場合、付属のプローブではなく単なる同軸ケーブルを使うと、オシロス



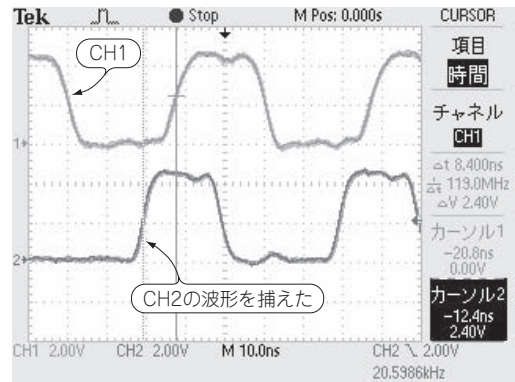
(a) [オート・セット] ボタンを押した状態 (10 ns/div)



(b) (a) から時間レンズを長くするとCH2の波形が止まらない理由が見えた (10 μs/div)



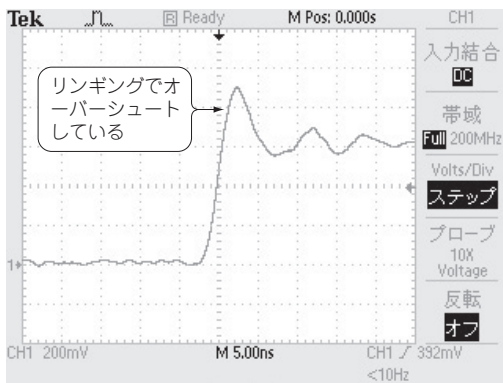
(c) トリガをCH2に選択 (10 μs/div)



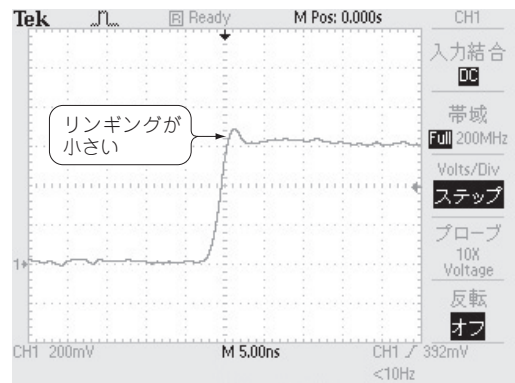
(d) CH1とCH2の時間関係が分かるようになる (10 ns/div)

図0.1 [オート・セット]ボタンは便利だが必ずしも最適な設定になるわけではない

オート・セットでCH1のクロックにトリガをかけてしまうと、測定対象のCH2の波形を測定できない

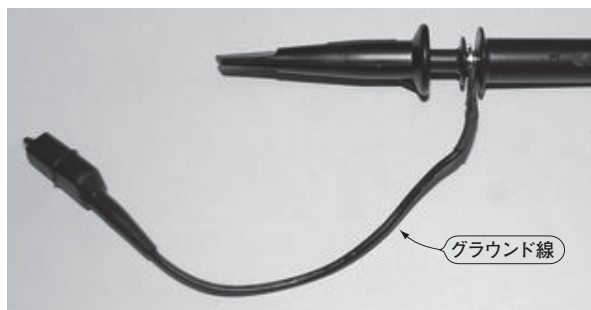


(a) 標準プローブのグラウンド線



(b) 最短のグラウンド線

図0.2 プローブのグラウンド線が長すぎるとインダクタンス成分によりオーバーシュートのある波形を観測してしまう  
プローブの入力容量とグラウンド線のインダクタンスで共振回路を構成し、急峻なパルス測定した場合にリングングが発生する



(a) 標準プローブ

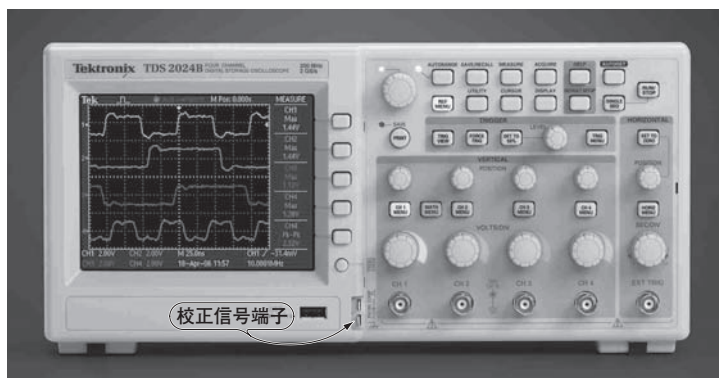


(b) 手作りの最短のグラウンド線

写真0.1 測定に使ったプローブの外観



(a) プローブの半固定コンデンサ



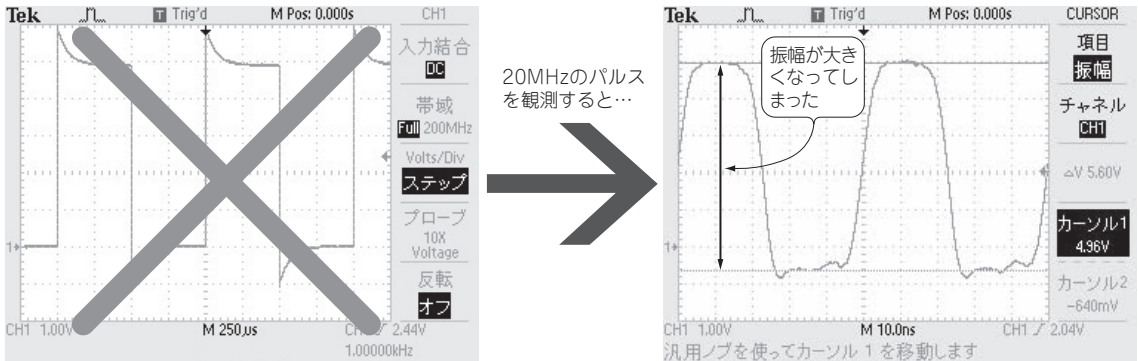
(b) オシロスコープの校正信号端子

写真0.2 プローブの周波数特性はオシロスコープの校正信号出力を使い半固定コンデンサで校正する

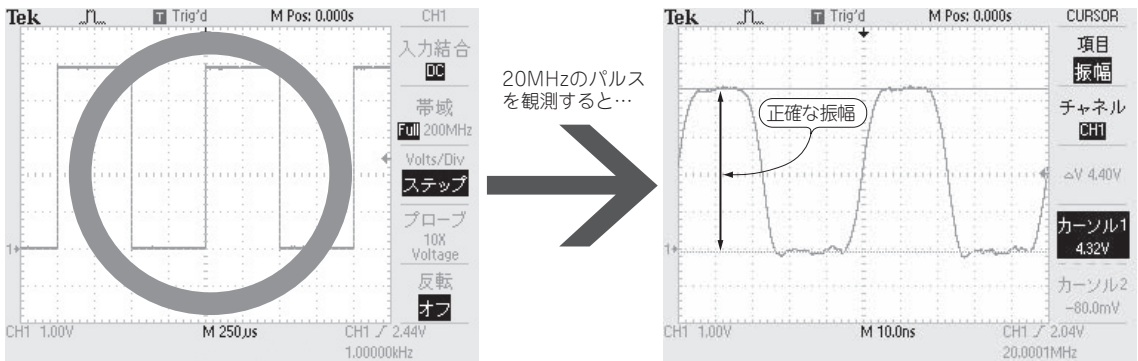
プローブの入力端子が持つ入力容量（通常10p～数十pF程度）に、同軸ケーブルの持つ容量（一般に100pF/m程度）が加わります。このため回路の動作に影響を与えるだけでなく周波数帯域を確保できなくなります。

標準的な10:1のプローブは電圧感度を1/10にしてまでもプローブの入力容量を低減することを優先しています。プローブの減衰比は直流だけでなくあらゆる周波数で一定でなければ波形がひずんでしまいます。

この補正をするために、プローブには写真0.2 (a) に示すように半固定コンデンサが、そしてオシロスコープには写真0.2 (b) に示すように校正信号の出力端子が用意されています。図0.3に周波数特性を校正していないため波形がひずんだ例を示します。



(a) 不適切



(b) 適切

図0.3 オシロスコープとプローブの周波数特性を校正しないと波形がひずむ (1V/div, 250 $\mu$ s/div)  
 入力はおシロスコープの校正用信号

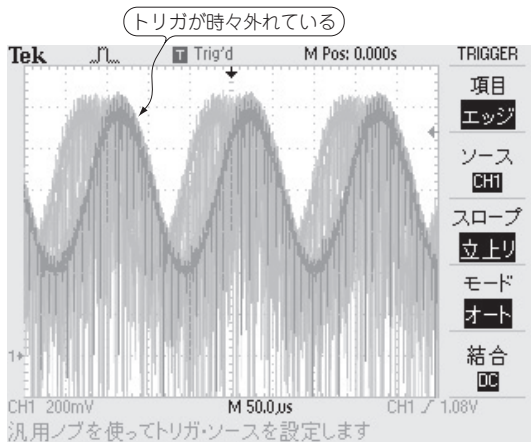
## 0.2 デジタル・オシロの多彩な機能を使い切れていない例

### 0.2.1 正しくトリガをかけられていないことが原因

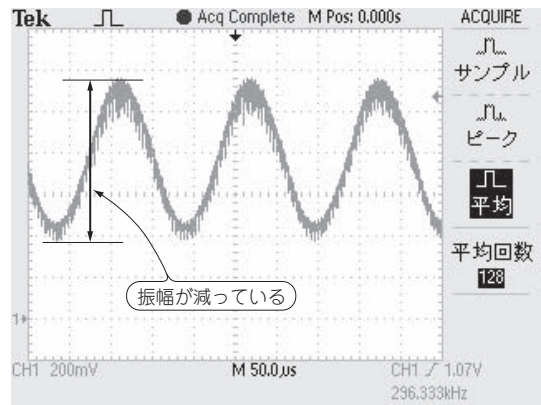
信号波形は、信号成分+ノイズと考えられます。同じ信号が繰り返される場合には、正しくトリガをかけ、複数回取り込んだ波形を平均化 (アベレージ) するとノイズ成分を減らせます。安定した測定結果が得られるため、波形の各種パラメータを測定する場合には大変有効な手法です。

しかし、ノイズが多い波形は本来安定したトリガがかかりにくい信号です。アベレージでは1回でもトリガ・ミスが発生するとデータの信頼性がなくなります。このためアベレージを行う際には安定したトリガがかけられるテクニックが必要になります。

図0.4に、ノイズにより繰り返し波形に対して同じタイミングでトリガがかかっていない状態でアベレージしたため、振幅が減ってしまった例を示します。図0.5に、オシロスコープのフィルタ機能を活用することでノイズだけ除去して正しく振幅を測定できた例を示します。

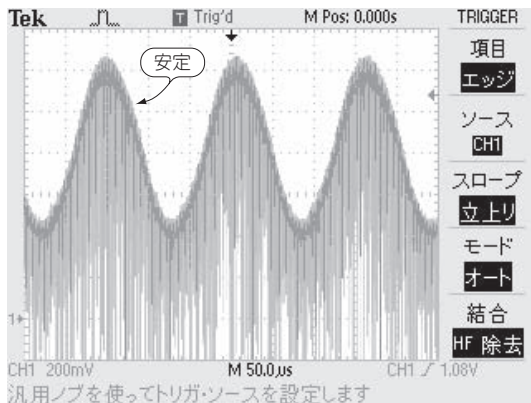


(a) 同じタイミングでトリガがかかっていない

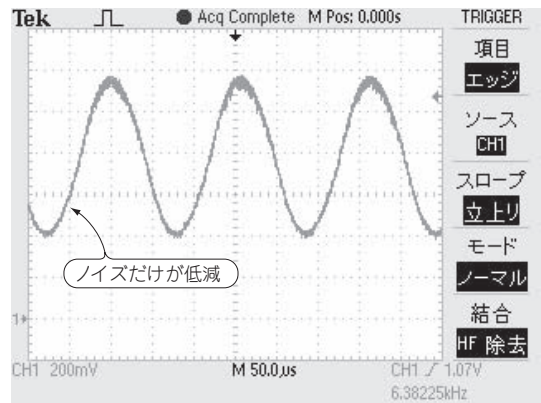


(b) アベレージングした波形

図0.4 ノイズにより繰り返し波形に同じタイミングでトリガがかかっていない状態でアベレージすると振幅が減ってしまった (200 mV/div, 50  $\mu$ s/div)



(a) トリガが安定



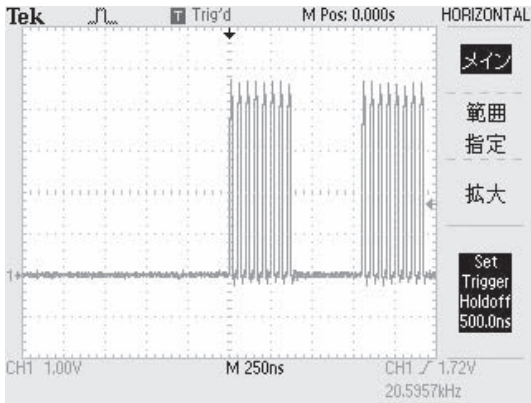
(b) アベレージングした波形

図0.5 オシロスコープのフィルタ機能を使ってノイズを除去した波形でトリガを確実にかけてアベレージするとノイズだけを除去できた (200 mV/div, 50  $\mu$ s/div)

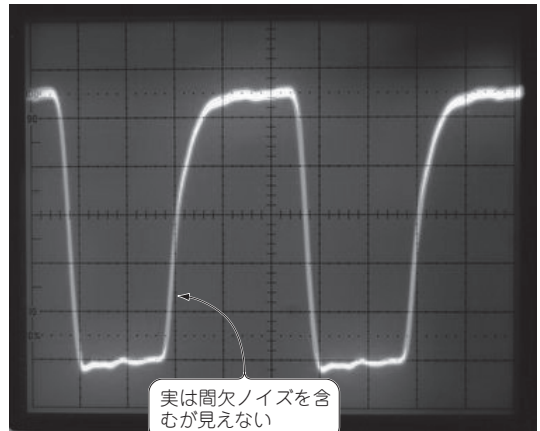
## 0.2.2 サンプル・レートを考慮していないことが原因

信号の最も変化の速い部分に数ポイントは取れるようにサンプル・レート (サンプル間隔の逆数) を設定しなければ正しく波形を観測できません。図0.6に、サンプル・レートを考慮しなかったため正しい波形を観測できなかった例を示します。

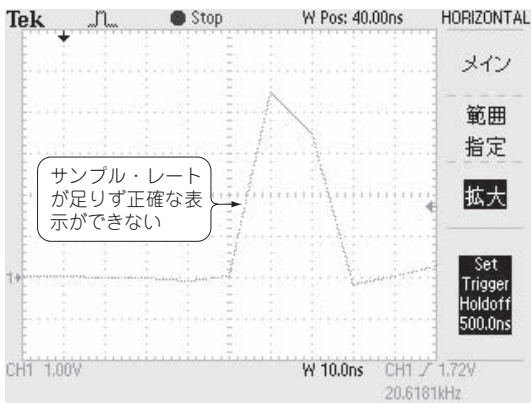
デジタル・オシロスコープのサンプル・レートは時間軸設定と記録長により自動的に設定されます。長い時間を記録する場合には記録長を長くするか、サンプル・レートを遅くしてサンプル間隔を長くするしかありません。記録長には制限があるので、長い時間記録しようと思って時間軸を遅くすると、サンプル間隔が広くなり、信号の変化に追いつかなくなります。この場合に水平方向のズー



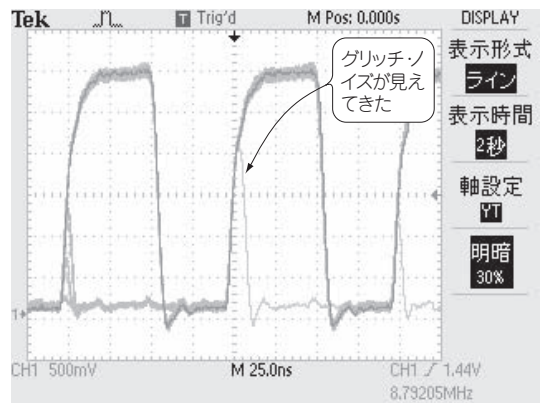
(a) 測定した波形 (250 ns/div)



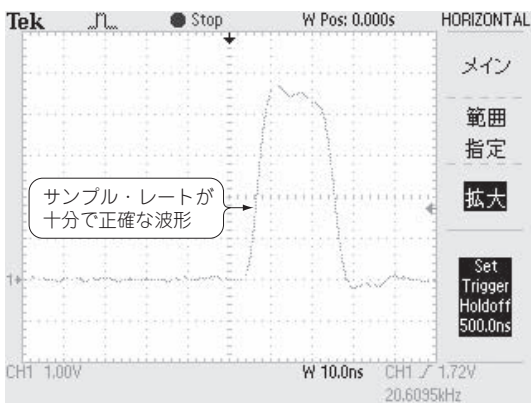
(a) アナログ・オシロスコープで測定した波形



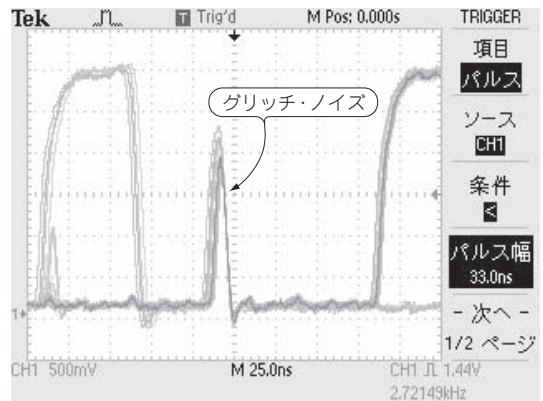
(b) ズームした波形 (10 ns/div)



(b) 残光時間を2sと長く設定する



(c) 時間軸を速めた波形 (10 ns/div)



(c) パルス幅トリガ機能を使う

図0.6 サンプル・レートが足りない状態で波形をズームしても正しい波形を観測できない

図0.7 デジタル・オシロスコープならではの機能を駆使すれば波形取り込みレートが高いアナログ・オシロスコープでも見えなかった波形が見えてくる

ム拡大をしても本当の波形は表示されません。画素の少ない写真を拡大しても細かい画像の変化が分からないのと同じことが起こります。

### 0.2.3 見えない波形も見えてくる!

アナログ・オシロスコープは波形更新速度が極めて高速なために、波形の変化を忠実に観測できると思われがちです。しかし、発生頻度の低い信号は、取り込まれても電子ビームのエネルギーがブラウン管を発光させるほど高まらないため実際には見ることはできません（輝度を高めた製品もあるが、非常に高価）。

デジタル・オシロスコープは取り込んだ波形データの処理にかかる時間が大きいので、発生頻度の低い波形を取り込める確率は低いのですが、1回でも取り込めれば必ず表示できます。使い方を工夫することで、**図0.7**のようにアナログ・オシロスコープでは見れなかった波形の観測も可能になります。

### 第2章

## 三つの重要な性能指標とその意味

本章では計測器として大事な性能についてお話ししましょう。

最近のオシロスコープは、とりあえずプローブを入力コネクタに接続して、プローブ先端を観測したい個所に接続（このことをプロービングと言う）すれば、あとは[オート・セット]ボタンを押すだけで波形を表示してくれます。

表示された波形を記録したければ、オシロスコープのUSBコネクタにフラッシュ・メモリを挿入し、画像ファイルとして、または波形データをCSVなどのテキスト・データとして保存できます。そのデータはパソコンに持ち込んで処理できます。

しかし問題は、オシロスコープに取り込んだ波形データがどれだけ正確か、ということです。つまり正しく測定できるだけの性能を持っているのかどうかの問題です。オシロスコープやプローブの選択の仕方によっては、数十%の誤差が出てもおかしくありません。

### 2.1 三大性能その1：周波数帯域

オシロスコープの性能を示すものにはいろいろとありますが、最初に考慮すべき性能は入力した信号をいかにひずませないか、ということから考えると、周波数帯域です。周波数帯域とひずみの関係については、後ほど詳しく解説します。

アナログ・オシロスコープの時代には、ほとんど周波数帯域だけで性能が決まっていたといっても過言ではありませんでした。

#### 2.1.1 周波数帯域の一般的な考え方

では周波数帯域とはどういう意味でしょうか。

アナログ技術が主流だった頃には、いろいろな製品に周波数帯域の表示があり、性能の基準の一つとなっていました。例えば、もはや過去のメディアになりましたがカセット・テープでは、スタンダードタイプと音楽用高音質タイプでは、周波数帯域に差がありました。

現在でも、スピーカーやヘッドホンのスペックを見ると、周波数帯域という項目があり、場合によってはグラフも記載されています。

その定義にはいろいろとありますが、信号レベルの周波数応答特性が平坦な部分を基準とし、信号レベルが規定値まで減少する周波数をもって周波数帯域とします。

図2.1に一般的な規定値を-3dBで定義した周波数帯域の例を示します。

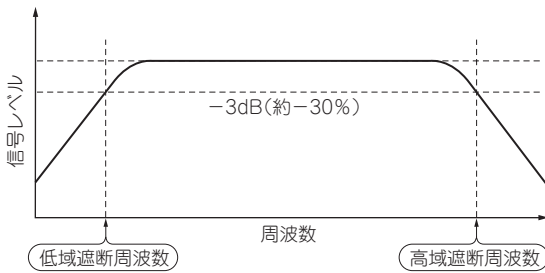


図2.1 一般的な周波数帯域の定義

電子回路では-3dB(約70%)まで使える範囲とすることが多い

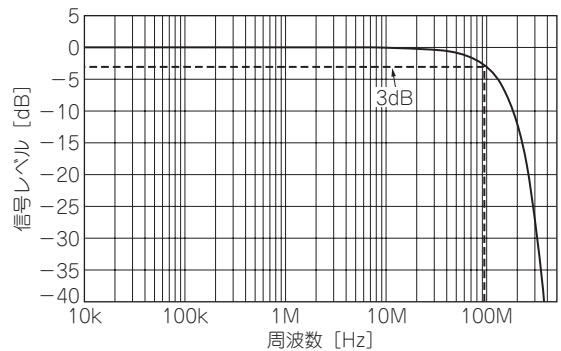


図2.2 ガウシアン特性のときの100MHzの周波数帯域

オシロスコープは低域は直流から観測できるのが普通なので高域の遮断だけで周波数帯域が定義される

例えば、オーディオ・アンプでは2~100kHzといった表示になります。さらに周波数特性の平坦さを表すために、 $\pm 0.2\text{dB}$ というようなただし書きが付くこともあります。

もっとも、表示されている周波数でどのくらい信号レベルが減少するかの決め方にはずいぶんとばらつきがあり、スピーカの場合は出力音圧レベルで-10dBの点を規定していることも少なくありません。電子回路の場合は-3dBがよく使われます。

## 2.1.2 オシロスコープの周波数帯域とは？

オシロスコープの周波数帯域は信号レベルが3dB減衰する周波数で規定しています。図2.2に周波数帯域100MHzの例を示します。オシロスコープの周波数特性はガウシアン特性に近い特性になります。理由は高速オシロスコープのところでも触れますが、波形観測に最も適していると考えられるからです。

例えば、周波数帯域100MHzのオシロスコープに正弦波を入力したとします。始めに低い周波数、例えば振幅 $1.2V_{P-P}$ の50kHzの正弦波を入力します。

電圧感度を $0.2\text{V/div}$ (1目盛り0.2V)にすると6目盛りの表示になるはずですが、50kHzから入力信号の周波数を上げていきます。すると最初はほとんど変わりませんが、振幅がだんだんと減少していきます。そして3dB減衰した(約70%の振幅になった)周波数がおシロスコープの周波数帯域になります。

実際のオシロスコープ(200MHz)の周波数帯域を実測してみましょう。始めに図2.3(a)のように、オシロスコープ校正用ジェネレータから振幅が6目盛りになるように50kHzの正弦波を基準信号として入力します。周波数を徐々に上げていき、図2.3(b)のように振幅が70%(4目盛り)になる周波数を読み取ります。

著者が実験したオシロスコープの場合、約245MHzでした。200MHzのスペックに20%余裕があるようです。オシロスコープの場合には直流から動作するので、周波数帯域の性能表示としてはDC~200MHzといった表示になります。

ここで注意しないといけないのは、次の2点です。

- 周波数特性は周波数帯域の周波数よりだいぶ手前から減少し始める
- 周波数帯域を境に大幅に変化する、といったことはない

図2.4は、理想的な周波数帯域100MHzの振幅の減衰のようすを拡大したものです。ゲインは徐々

### 第4章

# 電圧や時間を「正しく」測定するための基礎知識

オシロスコープで波形を観測する目的は、動作確認からトラブルシュート、さらにはコンプライアンス・テストと呼ばれる規格適合試験までと広い範囲に及びます。

周波数範囲は直流から高周波まで取り扱います。波形形状は、正弦波やパルス波、繰り返し周期性の少ないデジタル・データ列、ビデオ信号に代表される複雑な繰り返し波形、1回しか起こらない放電現象のような単発波形、繰り返し波形の中でまれに起こるような発生頻度の低い波形まで取り扱います。

このため、オシロスコープという計測器で精度良く計測するためには、オペレータのスキルに依存する部分がかかなり多くなります。

本章は、オシロスコープのいろいろな機能を使って、より正確で確実な波形取り込みを行うための手法をお話します。

## 4.1 測定に必要なレコード長を選ぶ

### 4.1.1 “狙い打ち”で短いレコード長でも高精度に測定

第2章でお話しした通り、オシロスコープには以下の3大性能があります。

- 1) 周波数帯域
- 2) サンプル・レート
- 3) レコード長

どれも大事な性能ですが、信号を正しく計測するためには譲れない約束があります。

まず、周波数帯域は絶対に外せません。被計測信号の持つ周波数成分を通過できないと波形の形が変わってしまいます。サンプル・レートは信号が持つ最高周波数成分の2倍以上のサンプル・レートがなければなりません。この二つは信号の計測品質を保つ上では必ずクリアしなければなりません。

最後のレコード長ですが、短くても何とかなる場合が少なくありません。確かにサンプル・レートを適正に保ったまま、長時間のデータを全部取り込もうとすると長いレコード長（ロング・レコード）が必要です。しかし、トリガやディレイ機能を工夫し、必要なエリアだけに絞って取り込みをすれば、レコード長は短くて済むことがあります。

例えば、図4.1に示すような超音波を加えてからエコーが戻って来るまでの時間計測があります。簡単に考えるとロング・レコードが必要です。しかし、オシロスコープは適度なディレイをかけてから波形データを取り込めます。加えたパルスでトリガをかけた後、取り込みウィンドウの中での反射波の位置を正確に求めてディレイ時間を正確に設定すれば、短いレコード長でも波形を取り込めます（図4.2）。

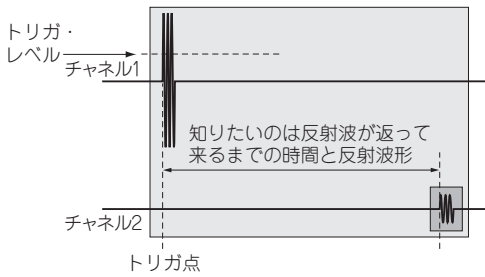


図4.1 全体を取り込んで反射波形を確認する場合はロング・レコードが必要

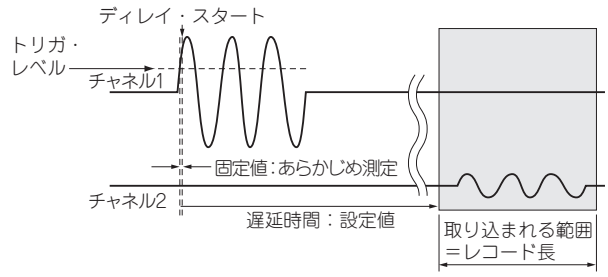


図4.2 あらかじめ時間遅延を設定すれば短いレコード長でも反射波形を確認できる

ロング・レコードを使った場合には、実際は何も来ない無信号部分を無駄に取り込んでいるわけですから、ここは工夫をすれば効率的な計測ができるところです。

## 4.1.2 どんな信号を測るかで最適なレコード長が異なる

適切なレコード長はどのような信号を観測するのか、波形のどの部分を観測したいのかで異なります。いくつかのケースに分けてみましょう。

### (1) クロック信号の全体、または一部を観測したい

測定したいクロック信号の周波数が20MHz、立ち上がり時間/立ち下がり時間が5nsと仮定します(図4.3)。最も急しゅんに変化する部分のサンプルは数ポイント必要です。立ち上がりエッジに合わせてサンプル間隔は1ns、つまりサンプル・レートで1GS/s(サンプル/秒)が必要です。

クロックの1周期は20MHzの逆数、50nsですから、全体を取り込むには $50\text{ns} \div 1\text{ns} = 50$ ポイントあれば足りることになります。意外とレコード長は短くて済む場合もあります。

実際のオシロスコープでは1画面のレコード長は500~1000ポイント程度が多いようです。レコード長が500ポイントとすると、1GS/sでA-D変換器が動作している場合の取り込み時間は500nsです。水平軸は10目盛りありますから、時間軸設定にすると50ns/divになる計算です。

すなわち図4.4に示すようにパルス波形のパラメータ測定などの場合、レコード長は短くて構わない

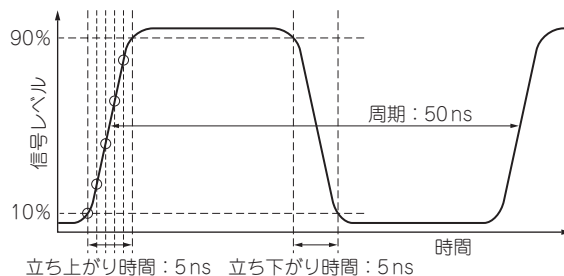


図4.3 クロック信号を観測したいときは立ち上がりエッジでサンプル・レートが決まり、必要なレコード長が求まる

### 第5章

# 正確な波形取得に欠かせない トリガのテクニック

デジタル・オシロスコープは波形をデジタル・データとして内部に取り込みます。以前は GPIB などのバスを使って、外部のパソコンに波形データを転送し、波形を解析しなければならなかったことでも、プロセッサの進歩によりオシロスコープ単体でいろいろな処理ができるようになりました。波形パラメータを自動的に測定する機能はその好例です。しかし、取り込まれた波形データが正しくなければ、いくら計算をしても無駄になります。

本章は波形パラメータ演算の活用と、適切なデータを取り込むためのトリガの使い方をお話します。

## 5.1 自動測定の落とし穴

### 5.1.1 自動測定における波形パラメータの求め方

デジタル・オシロスコープの便利な点は、周波数、振幅、立ち上がり時間などの波形パラメータ(図5.1)を自動的に算出してくれることです。より正しい値を求めるために自動測定のアプローチを理解しましょう。

パラメータ演算は図5.2に示されるアルゴリズムで行われます。各種パラメータの求め方は次の通りです。

- ① 波形データを各電圧レベルから見て、密度が高い「ロー・レベル：0%」と「ハイ・レベル：100%」を見つける。
- ② 上記の結果から10%、50%、90%のレベルを算出する。
- ③ これらのレベルに相当するポイントを探す。通常、ぴったりと合う点はないので近似アルゴリズム

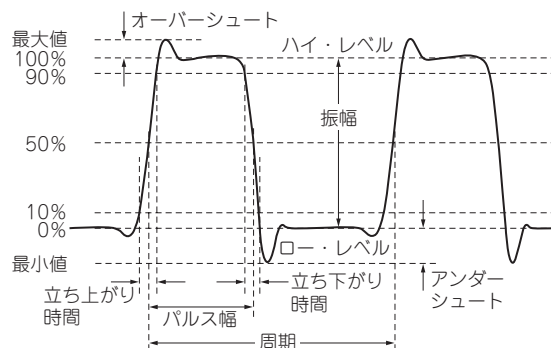


図5.1 デジタル・オシロスコープは周波数や振幅、立ち上がり時間などの波形パラメータを自動的に算出できる

### 第6章

# 測定に不要なノイズを減らすノウハウ

実際に波形を取り込もうとしても、非常にノイズが多かったり、また信号が複雑で希望するポイントでトリガがうまくかからなかったりというケースによく出くわします。ノイズが多いならアベレージをかける、これは正しい手法なのですが、アベレージは正しく行わないとエラーを生み出します。

本章は、アベレージなどを使ってノイズを減らして信号成分を取り込む手法、安定してトリガをかける方法を紹介します。

## 6.1 必要な周波数帯域で信号を測定する

### 6.1.1 信号を計測する場合はノイズを減らしたい

図6.1に示されるように、観測する信号は必ず、信号+ノイズの形で存在しています。

ノイズにも種類があり、図6.2に示すように信号に依存しないランダム・ノイズ、外来ノイズなどと、信号と相関のある特定のノイズなどに分けられます。ここではランダム・ノイズを減らして信号成分を取り込む手法を考えたいと思います。

### 6.1.2 周波数帯域が広ければよいわけではない

オシロスコープは信号とノイズを区別しないですべてを同時に表示します。さらにオシロスコープ内部で発生する熱雑音も加わります。このような信号を周波数スペクトラムで考えると図6.3のようにな

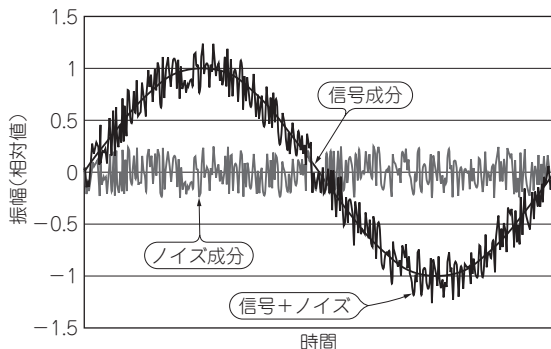


図6.1 見える信号は真の信号とノイズの和

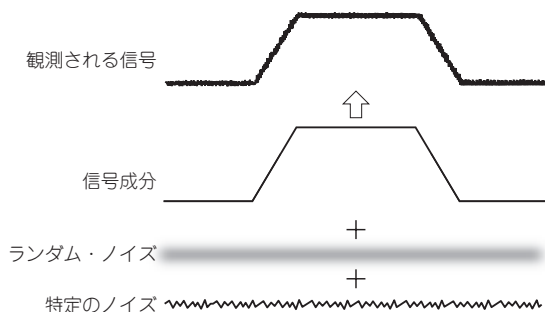


図6.2 観測される信号に含まれる成分

### 第8章

# 信号をプローブで正しく取り出す

オシロスコープの役目は「見えない電気信号を見ること」、そしてオシロスコープを使いこなすということは「波形を正しく取り込む」スキルを持つことです。

さて、オシロスコープと切っても切れない関係にあるのがプローブです。何となく付属品のイメージがありますが、プローブは被計測回路とオシロスコープを結ぶ大切なインターフェースです。何を測りたいのか、何を優先したいのかによって、プローブを変えることが大事です。本章はプローブについてお話ししましょう。

## 8.1 測るということ自体が誤差を招く

正しく計測したいのに誤差を招くとはどういう意味でしょうか。コップのお湯の温度を測る場合を想定してみましょう。

図8.1のように二つの温度計があります。一つは細くて、熱容量が小さいタイプ、もう一つは太くて熱容量が大きいタイプです。お湯の温度は50℃くらい、温度計は室温で保存されていたとします。この二つの温度計を使って別々に温度を計測しましょう。

結果はどうなるでしょうか。細い温度計の方が高めの計測結果になるはずですが、温度計は室温で保存されていたので自身の温度は20℃くらいですから、多少なりともお湯の温度を下げちゃいます。家庭風呂は浴槽のお湯の量が多くないので、少し熱いと思っても、いざ体を沈めるとぬるくなるのと同じです。

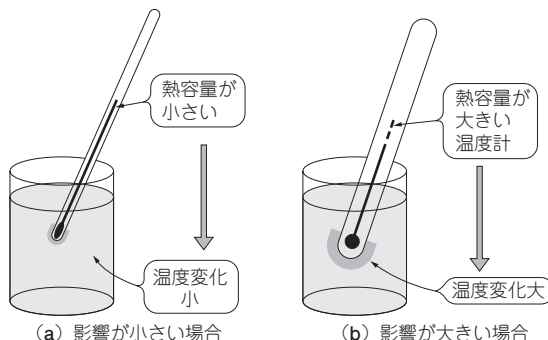


図8.1 温度計により測りたい温度が変わってしまう

第9章

電源回路の基本測定テクニック

9.1 配線インピーダンスによる悪影響と対策方法

9.1.1 電源回路の出力は低電圧化と大電流化が進む

ACアダプタそのものの消費電力も重要で、ちりも積もれば全体では大変な電力消費量になります。米国ではACアダプタだけで発電所何基分かの電力を消費すると言われていました。そのため待機電力、動作時の電力を含めたトータルでの消費電力を抑えた設計が求められます。

一方、パソコンやデジタル・テレビなどの性能向上には、高速の演算処理が必須になりました。そのためプロセッサが大量の電力を消費するようになりました。

データ・レートの高速化とEMI特性を両立するため、ロジック回路の電圧スイングと電源電圧は図9.1に示すようにどんどん低下しています。以前は5Vだった電源電圧が、今では1.2Vも当たり前です。

しかし、プロセッサの消費電力は劇的に低下することはありません。「電力=電圧×電流」ですから、電圧が下がって電力が変わらなければ電流が増えることになります。そのため配線インピーダンスが電源電圧に与える悪影響が大きな問題になり、図9.2で示されるように、ケーブルやプリント・パターンを持つ抵抗成分やインダクタンス成分が無視できなくなってきました。

例えば、ICの電源端子にデカップリング用のコンデンサを取り付けますが、このコンデンサはできるだけ端子の近傍に取り付けないと誤動作の原因になります。これは配線のインダクタンス成分が悪さをする典型的な例です。

9.1.2 分散電源で負荷変動による電源電圧の変動を抑える

電源の負荷変動の問題は電源と配線の両方に対策を施さなければなりません。従来の設計では図9.3

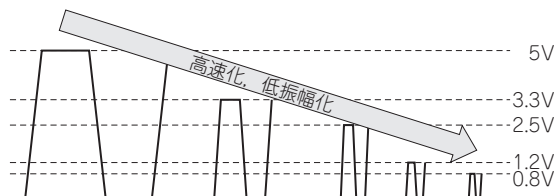


図9.1 ロジック信号の高速化に伴い動作電圧は低下する一方

### 第10章

# シリアル・バスの観測と アクティブ・プローブの安全な使い方

本章は、制御信号の観測や変動する信号の観測、さらにより正確な計測に使われるアクティブ電圧プローブを安全に使用方法についてお話しします。

## 10.1 組み込み機器に使われるシリアル・バスI<sup>2</sup>CとSPI

パソコンには、さまざまなアプリケーション・ソフトウェアが用意されており、目的に合った動作が行えるようになっています。

しかし、世の中の大多数を占めるパソコン以外の機器は、ある決まったソフトウェアで動作しています。例えば、テレビ、洗濯機、冷蔵庫などの電器製品、また大きなものでは自動車も内部にはマイコンを内蔵しており、独自のファームウェアで動作しています。このような機器を、組み込み機器と呼ぶことがあります。

そして、機器内部のデバイスの制御には、比較的低速なシリアル・バスがよく使われています。

I<sup>2</sup>CやSPIという名前を耳にされた方も多いでしょう。これらは代表的なシリアル・バスです。またカー・エレクトロニクスではCAN (Controller Area Network) やLIN (Local Interconnect Network) が世界標準として使われています。

機器の動作を確認するためには、これらシリアル・バスのデータを解析する必要があります。

一方、HDMI (High-Definition Multimedia Interface) のように音声や動画信号を扱うには、時間当たりの情報量がけた違いに多いため、シリアル・バスで伝送するためにはギガ・ビット・クラスの高速度バスが必要になります。波形観測にはNRZ (Non Return to Zero) の場合、最低でもデータ・レートの2.5倍以上(クロック周波数の5倍)の周波数帯域が必要になります。

ここでは制御が目的のシリアル・バスを扱います。I<sup>2</sup>CやSPIなら今までのオシロスコープで十分に対応できるスピードです。

チップ間のデータやコマンドの伝送に使われるI<sup>2</sup>CとSPIの特徴について簡単にお話ししましょう。

### 10.1.1 I<sup>2</sup>Cの概要

I<sup>2</sup>CとはInter Integrated Circuitの略です。テレビのコントローラと周辺機器を接続するための低価格な方法として、フィリップス(現NXPセミコンダクターズ)により開発されました。現在では、組み込みシステムのデバイス間の通信における標準規格として広く使われています。

バスの構造は単純な2線式で、双方向のシリアル・クロック(SCL)とデータ(SDA)から構成されま

# 第11章

## 高速信号の扱いと測定方法

最近では高速シリアル・バスの登場により、数GHz、場合によっては10GHz以上の周波数帯域がオシロスコープに求められるようになりました。

基本計測クラスのおシロスコープの使いこなしを解説してきましたが、本章では、高速信号の測定にあたり注意しなければならないポイント、機器の接続方法、そしてオシロスコープの性能表の見方などをお話しします。

### 11.1 パラレル・バスの限界とシリアルへの変換

#### 11.1.1 伝送量の増加にともないバスの基板占有面積が増加

デジタル・データの処理はパラレルで行われてきました。そのため8ビットのデータであれば8本のバス、16ビットのデータであれば16本のバスでデータを送るパラレル・バスという手法が長い間使われていました。

単位時間に送れるデータ総量（伝送帯域幅ともいう）は、「ビット速度×バスの数」です。処理するデータの容量は増え、技術の進化により速度も速くなり、バス幅はどんどん広くなりました。

いわば高速道路のようにスピードを上げ、車線の本数をどんどん増やして、交通量の増加に対応したようなものです。バスの幅が広がるにつれ、次第にボードを占めるバスの面積が無視できなくなりました。ボード間を接続するケーブルの幅も広がります。ケーブルは邪魔者になり、冷却のための空気の流れを阻害することにもなりかねません。

また速度の点でも各ビットのエッジ・タイミングをきちんと合わせるためには、各ビットの配線長を等長にしなければなりません。限られたボード面積では限界があります。

#### 11.1.2 特性面や機器間の接続にも問題発生

高速化にともない、インピーダンスの不整合による波形の乱れも問題になってきました。

機器の接続でも問題があります。デジタル家電の世界で考えてみましょう。以前は同軸ケーブル1本でコンジット・ビデオ信号を送りましたが、デジタルになるとRGB3色、それぞれが8ビット、合計で24本のケーブルが必要になります。このような太いケーブルでDVDプレーヤとテレビやプロジェクタを接続することは現実的ではありません。