

パワー測定のためのプロービング技術



テクトロニクス・イノベーション・フォーラム2011

宮崎 強

www.tektronix.com/ja

内容

- プローブ・デスキューの重要性
- フローティング測定
- 受動プローブのプローブ補正
- グランド・リードの影響
- ハイレゾ・モードの活用
- 電流プローブの性能と使いこなし

パワー解析に使用される測定器と評価ポイント

下記の全評価項目

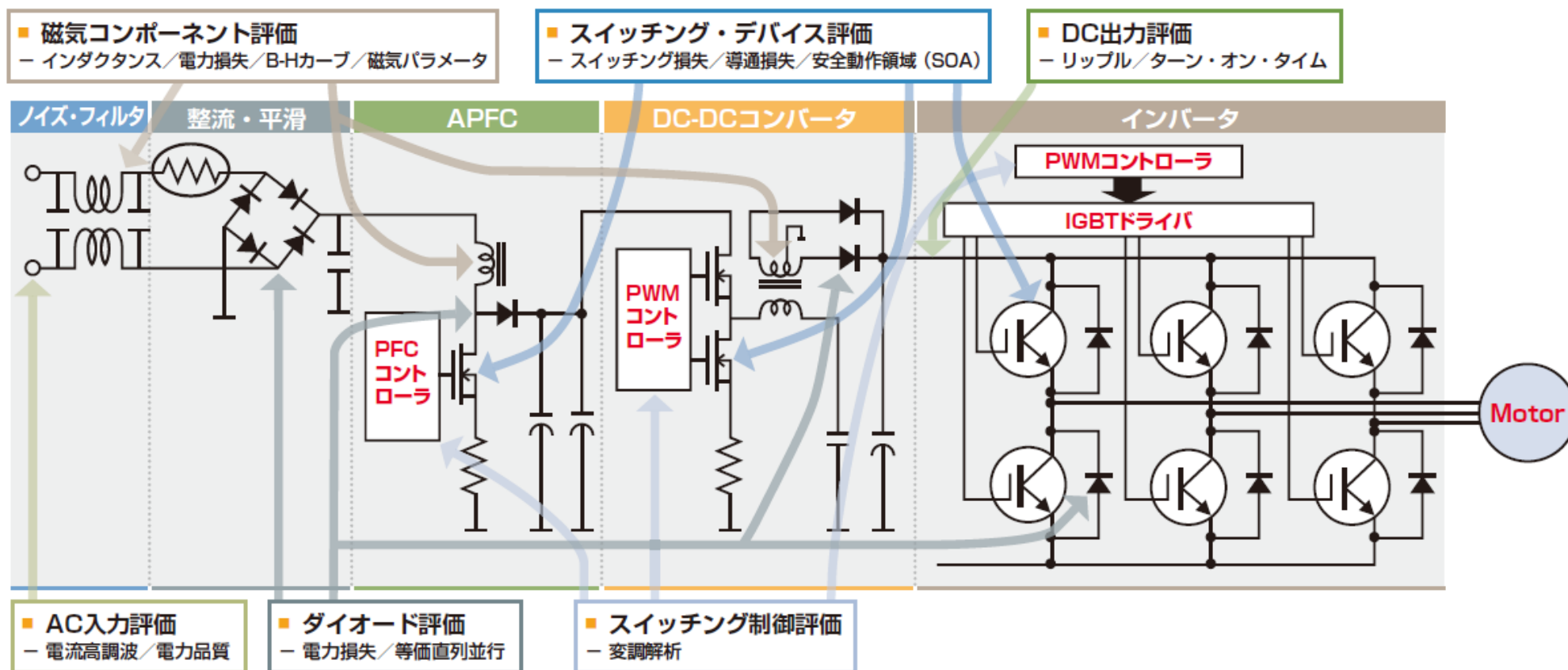


オシロスコープ+パワー解析ソフト

高精度入力／出力電力測定、
電流高調波、電力品質測定



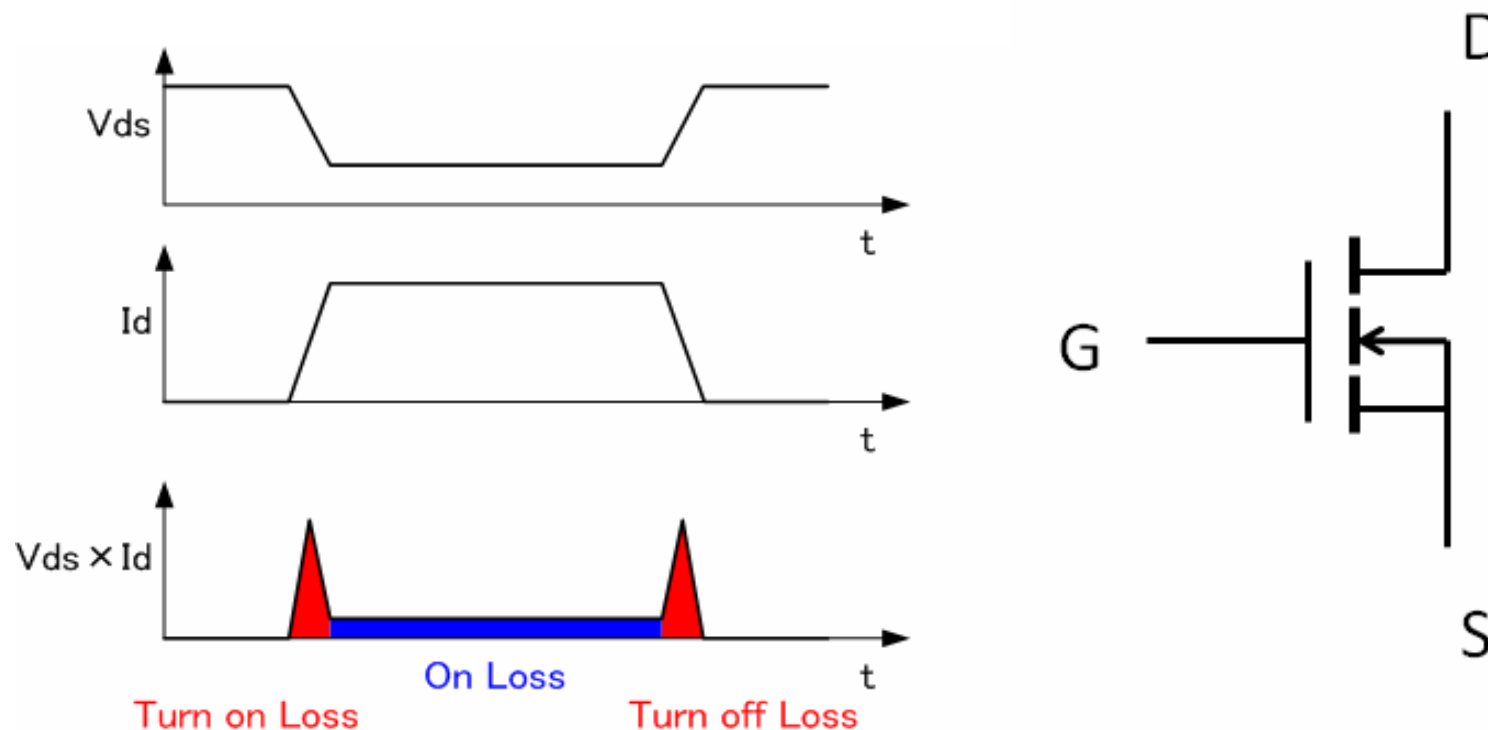
電力計(パワー・アナライザ)
高調波アナライザ



スイッチング・デバイスの評価

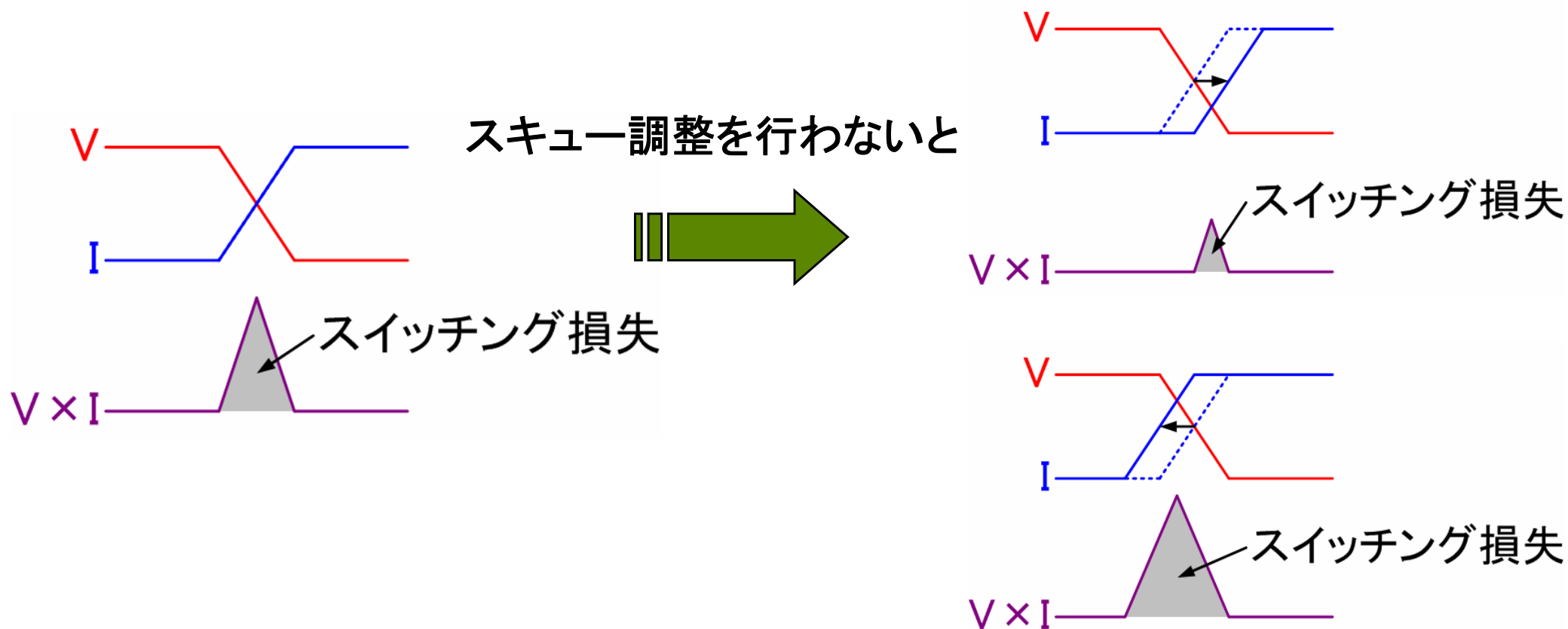
スイッチング損失

- ターン・オン・ロスおよびターン・オフ・ロス
 - パワー・デバイスがON/OFFする時の損失
- 導通損失
 - パワー・デバイスが導通状態の間の損失



1. プローブ・デスキューの重要性

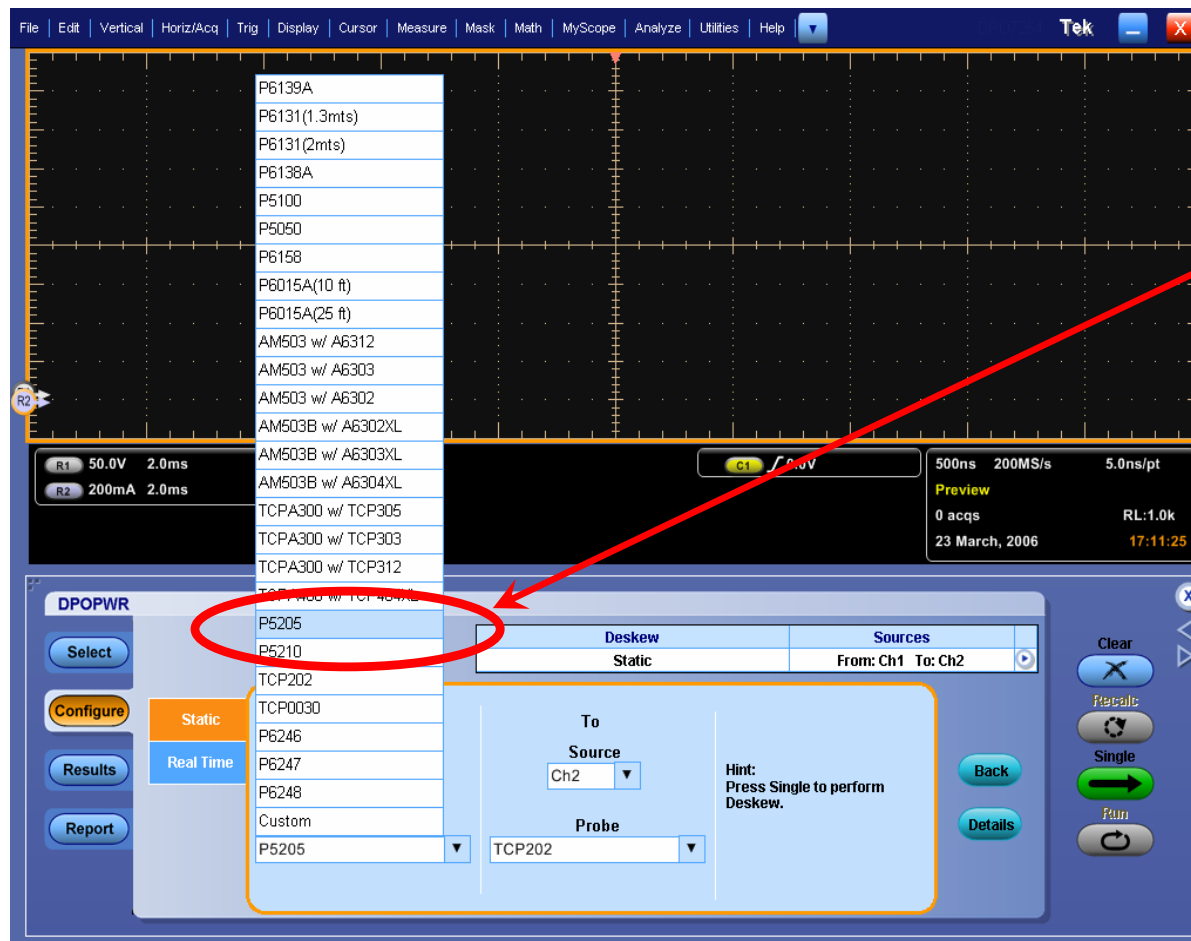
- プロブは時間的遅れをもっている
 - 各プローブに合わせたスキュー調整が必要（遅延差の補正）



プローブ・デスキュー機能 (DPOPOPWR)

- プローブを選択して自動デスキュー
- リアルタイム・デスキューにも対応

使用プローブを選択



Deskew Fixture
(067-1686-00)

デスキュー・パルス・ジェネレータ

- TEK-DPG型 デスキュー・パルス・ジェネレータ
 - DPO/MSO5000、DPO/MSO4000B、DPO/MSO3000シリーズで使用可能
- パワー・デスキュー・フィクスチャ 067-1686-00



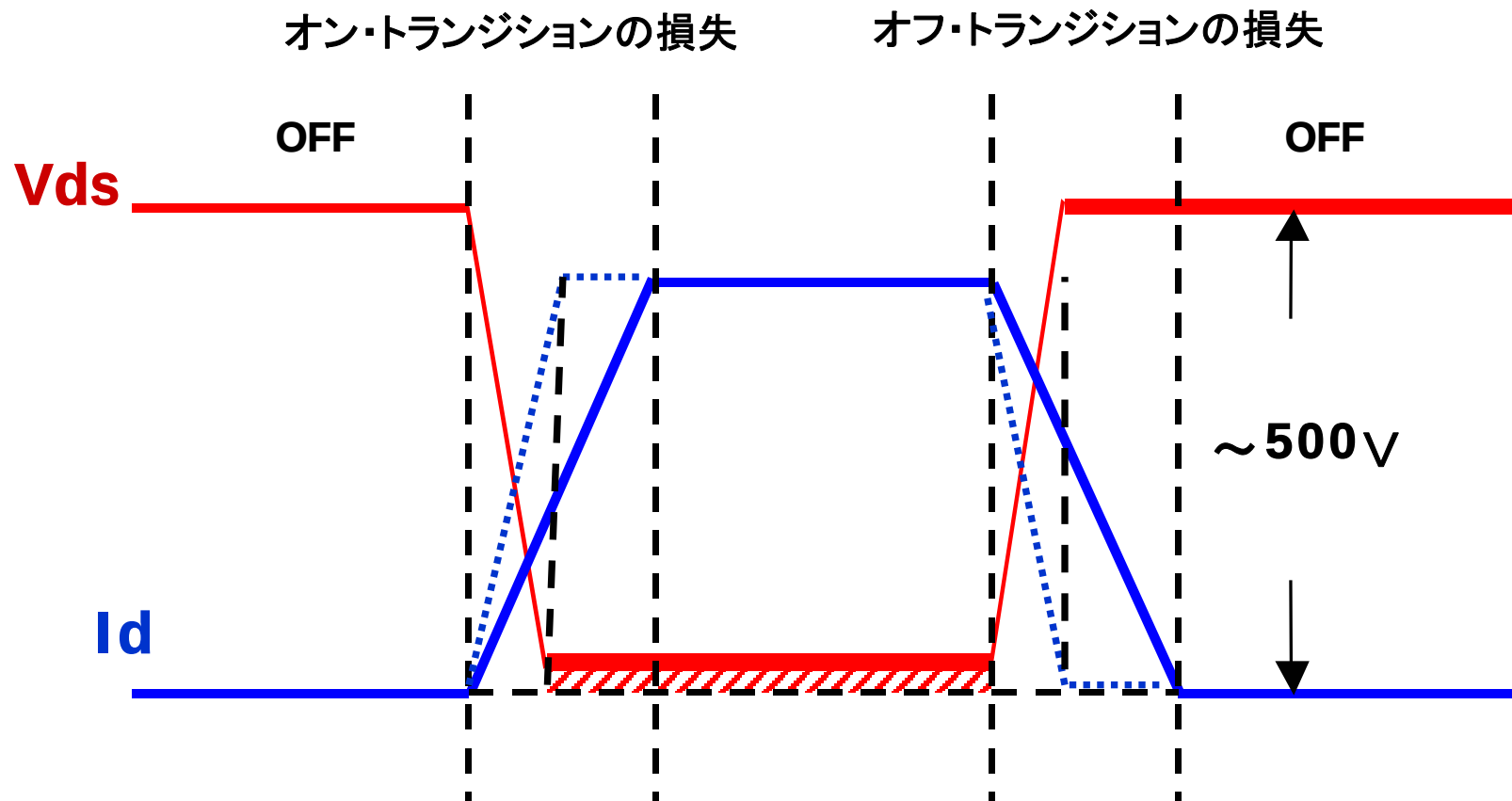
TEK-DPG型



067-1686-00

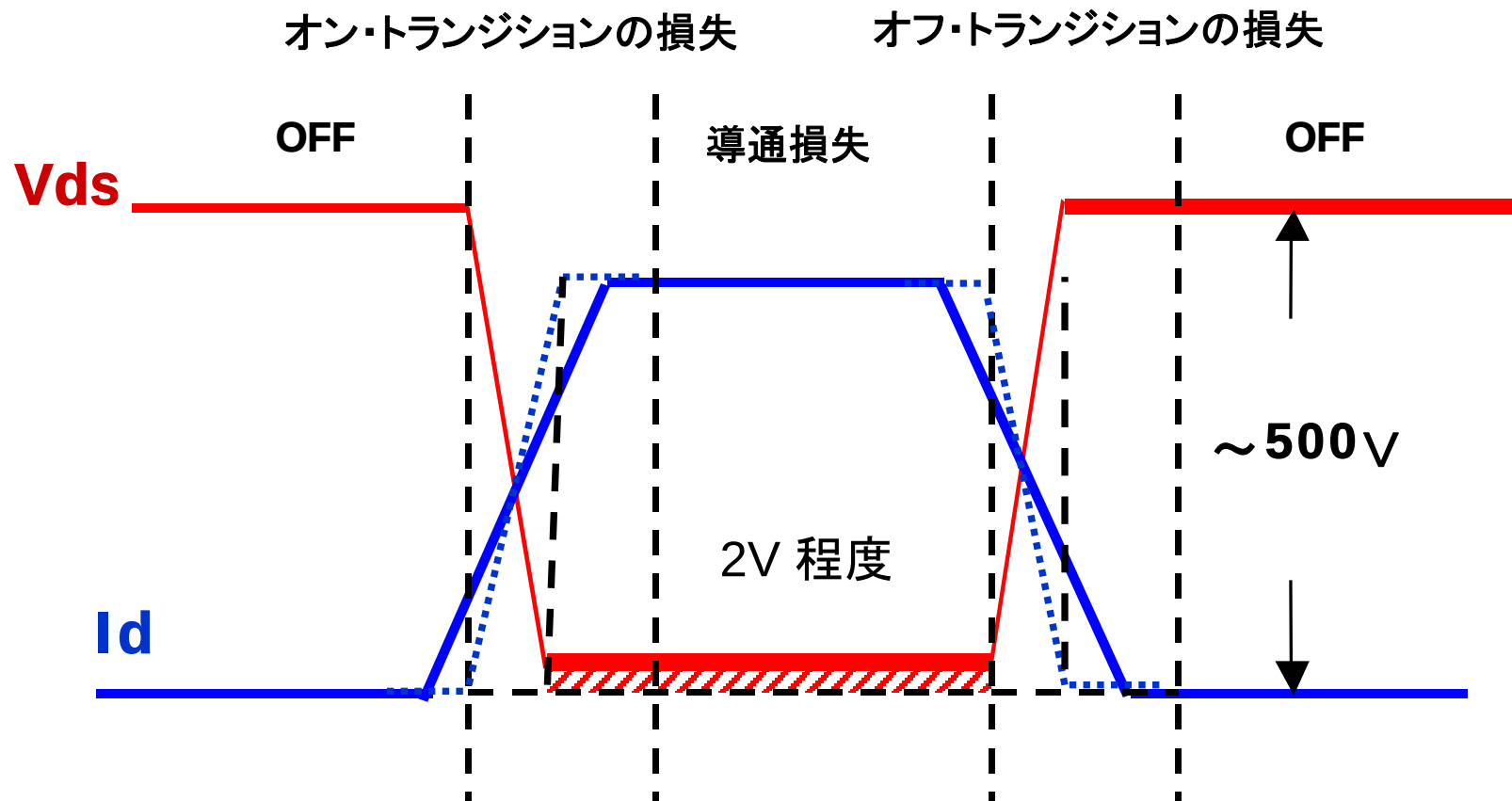
電流プローブの周波数帯域と電力損失測定

- 電流プローブの周波数帯域が不足している場合
 - ターン・オン・ロスが小さく見える
 - ターン・オフ・ロスは大きく見える



電流プローブの周波数帯域と電力損失測定

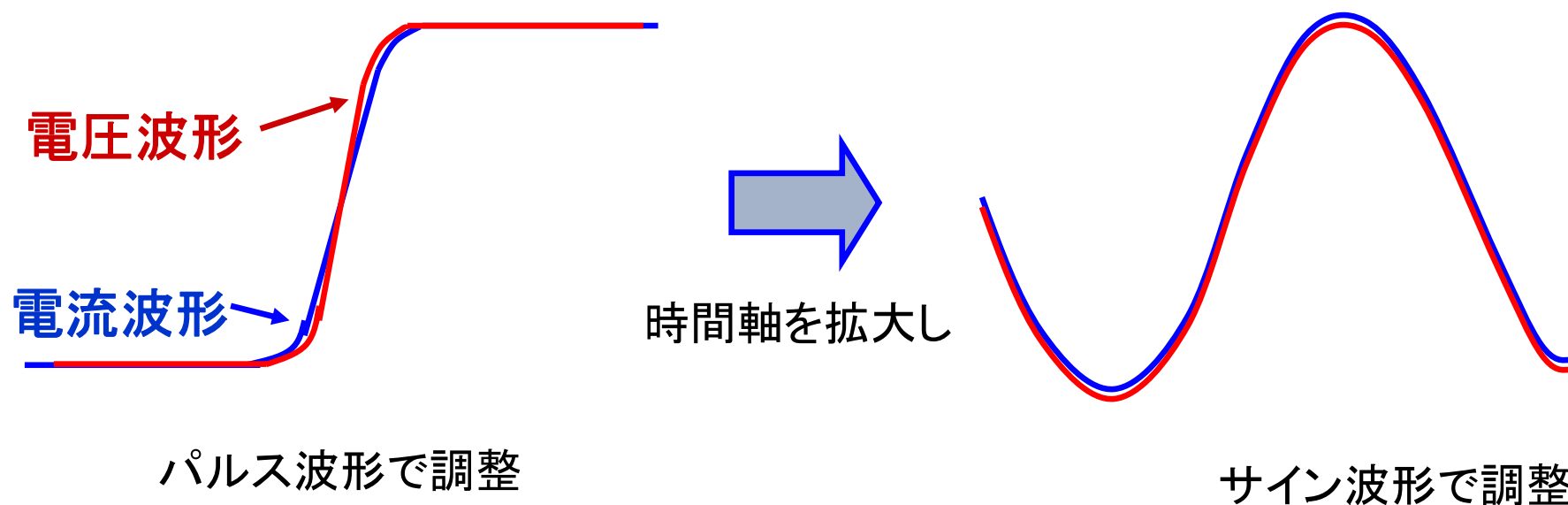
- 電流プローブの周波数帯域が不足している場合
 - 振幅の50%でスキュー調整しておくのとターン・オン、ターン・オフとも大きく見える



参考:プローブの正確なスキュー調整

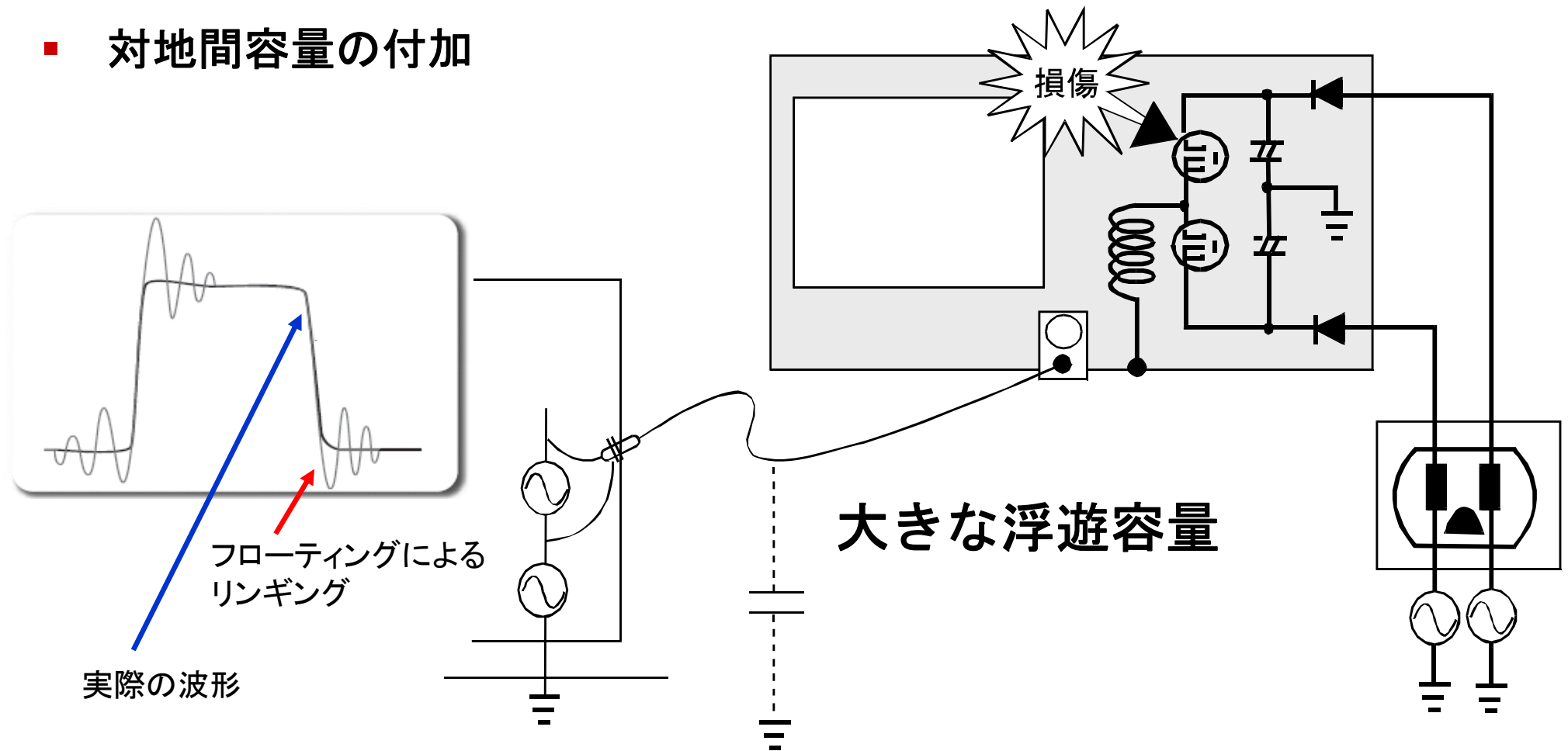
- 立上り始めのコーナーを正確に合わせるのは困難
- 電流プローブと電圧プローブの位相差をゼロにする為には
 - デスキュー・フィクスチャを使用し、まずパルス波形で調整
 - 次に高速サイン波形で微調整

(位相差ゼロにするか振幅の50%を揃えるかは目的に応じる)



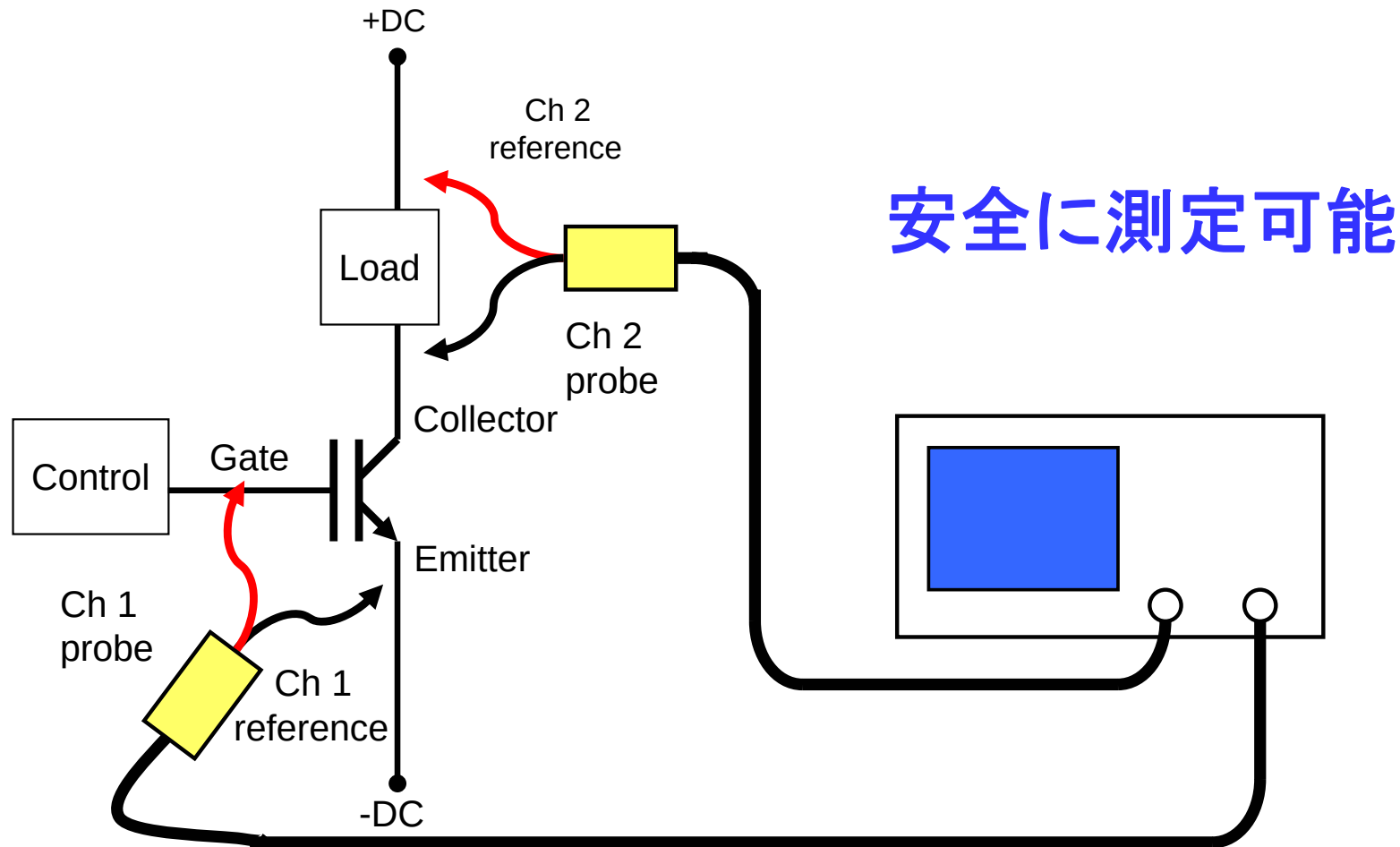
2. フローティング測定 お勧めできないフローティング測定

- 感電
- 電源回路損傷
- 対地間容量の付加



フローティング測定～差動プローブの重要性

- 差動プローブによるフローティング測定



Floating IGBT Gate and Collector Measurements

スイッチング電源評価用電圧プローブ



■ P5200Aシリーズ・高電圧差動プローブ

– P5205A型 *New!*

- 周波数帯域: DC~100MHz / 立上り時間: <3.5ns (代表値)
- 最大差動動作電圧: 1300V (DC+peakAC)、対地1000Vrms
- CMRR: >10000:1 (DC)、>1000:1 (100kHz)

高CMRR

– P5202A型 *New!*

- 最大差動動作電圧: 640V、対地450Vrms、他はP5205A型と同じ

– P5210A型 *New!*

- 周波数帯域: DC~50MHz / 立上り時間: <7ns (代表値)
- 最大差動動作電圧: 5600V (DC+peakAC)、対地2300Vrms
- CMRR: >10000:1 (DC)、>1000:1 (100kHz)

■ TDP1000シリーズ

– TDP1000型 / TDP0500型

- 周波数帯域: DC~1GHz / 500MHz
(立上り時間: ≤350ps、≤700ps)
- 最大動作電圧: 42V

広帯域
高耐圧

測定前に、0Vの調整を実行してください。

高電圧差動プローブのゼロ調整

- 高電圧差動プローブのゼロ調整手順
 - プローブのプラス入力とマイナス入力を接続(ショートさせる)
 - 調整用ドライバ(マイナス)を使用し、波形の平均値がほぼ0Vになるように調整



ゼロ調整用トリマ

P5205A型 高電圧差動プローブ

新製品情報

高電圧プローブ(シングルエンド)

高帯域

型名	周波数帯域 (-3dB)	減衰比	最大入力電圧	入力抵抗／入力容量
P5100A型	500MHz	100:1	2.5kV	40M Ω /2.8pF
TPP0850型※1	800MHz	50:1	2.5kV	40M Ω /1.5pF

※1: MSO/DPO5000シリーズ、MSO/DPO4000Bシリーズ専用

高電圧差動プローブ

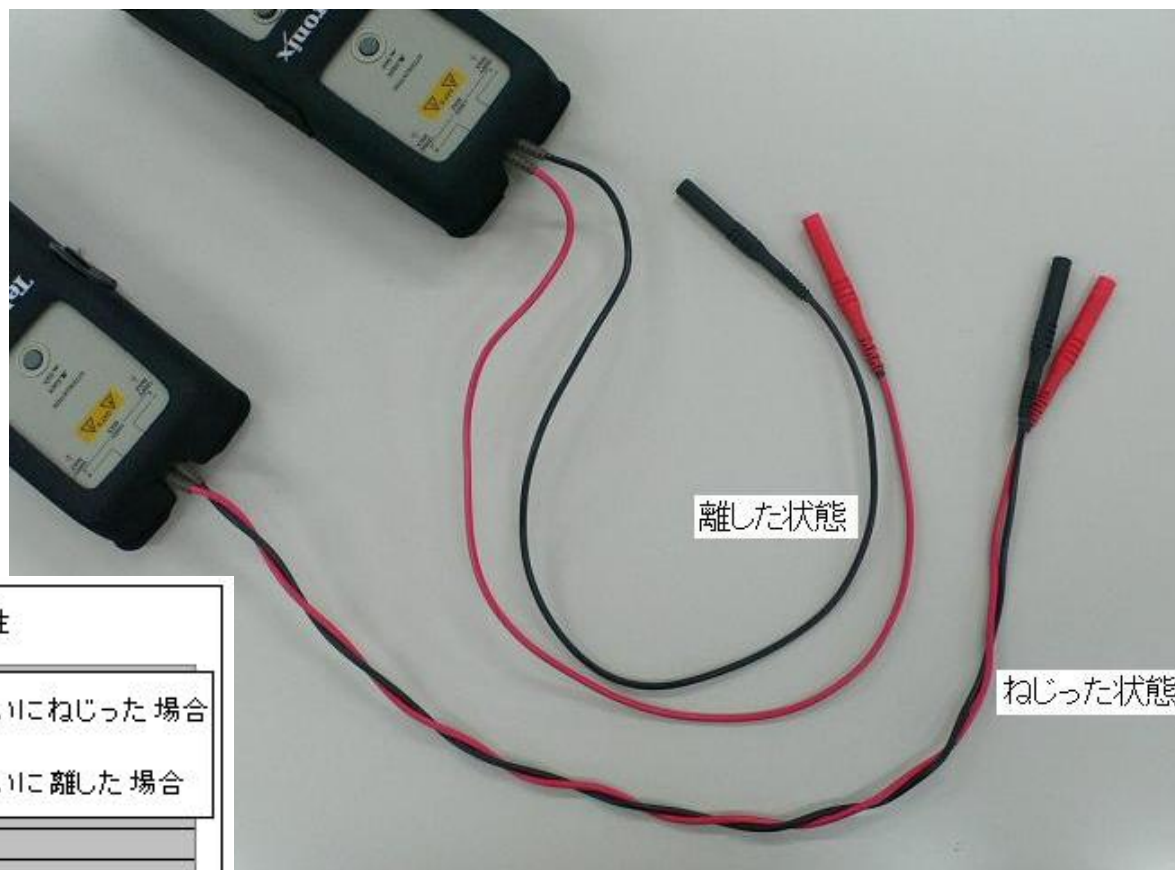
高CMRR

型名	周波数帯域 (-3dB)	減衰比	最大差動入力電圧	入力抵抗／入力容量
P5202A型※2	100MHz	200:1/20:1	640V	5M Ω /2pF未満.
P5205A型※2	100MHz	500:1/50:1	1.3kV	10M Ω /2pF未満
P5210A型※2	50MHz	1000:1/100:1	5.6kV	40M Ω /2.5pF未満
P5200A型	50MHz	500:1/50:1	1.3kV	10M Ω /2pF未満

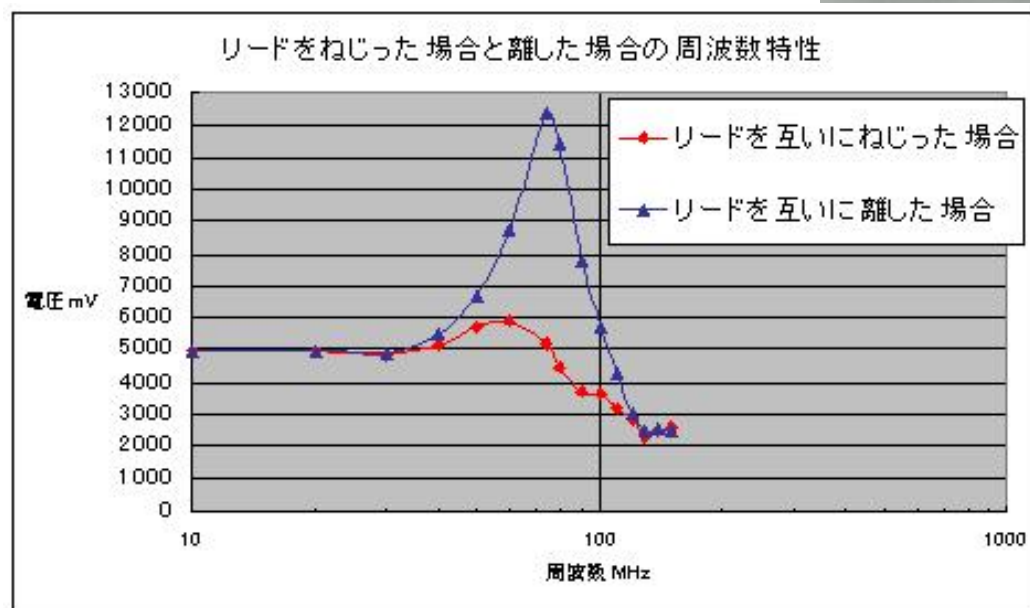
※2: DPO7000(C)シリーズ、MSO/DPO5000シリーズ、MSO/DPO4000(B)シリーズでは、TPA-BNC型
TekVPIーTekProbe BNCアダプタが必要

高電圧差動プローブの入力リード線はねじるもの？

- ねじった状態で、スペックを規定



P5205型



高電圧差動プローブの入カリード線はネジるもの？ その2

■ 広げた場合の波形振幅誤差とリンギング

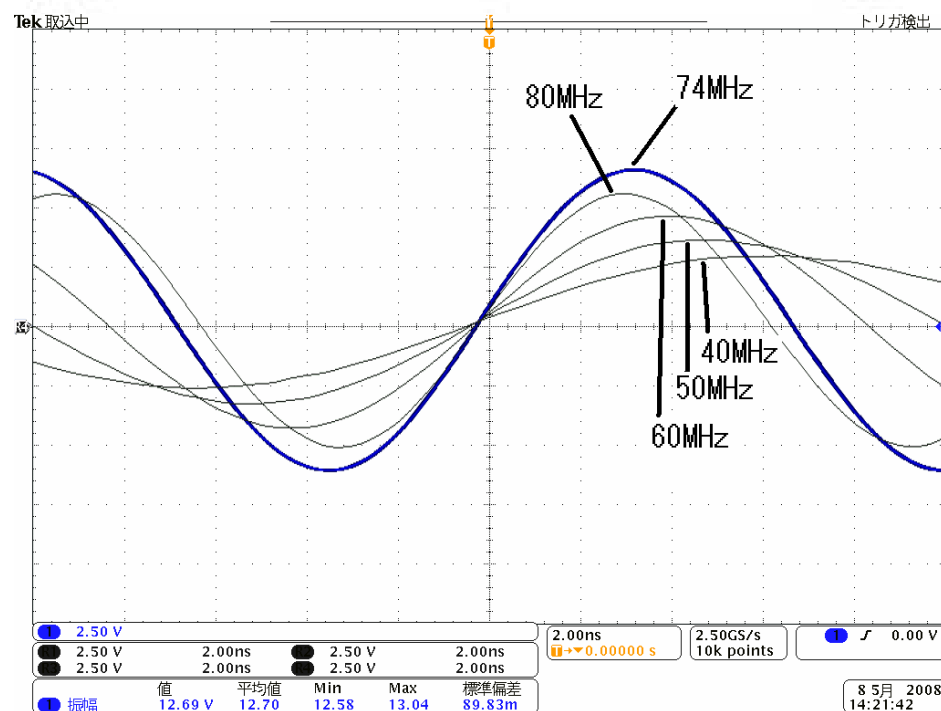


図4 40MHz、50MHz、60MHz、74MHz、80MHz のサイン波を観測したようす

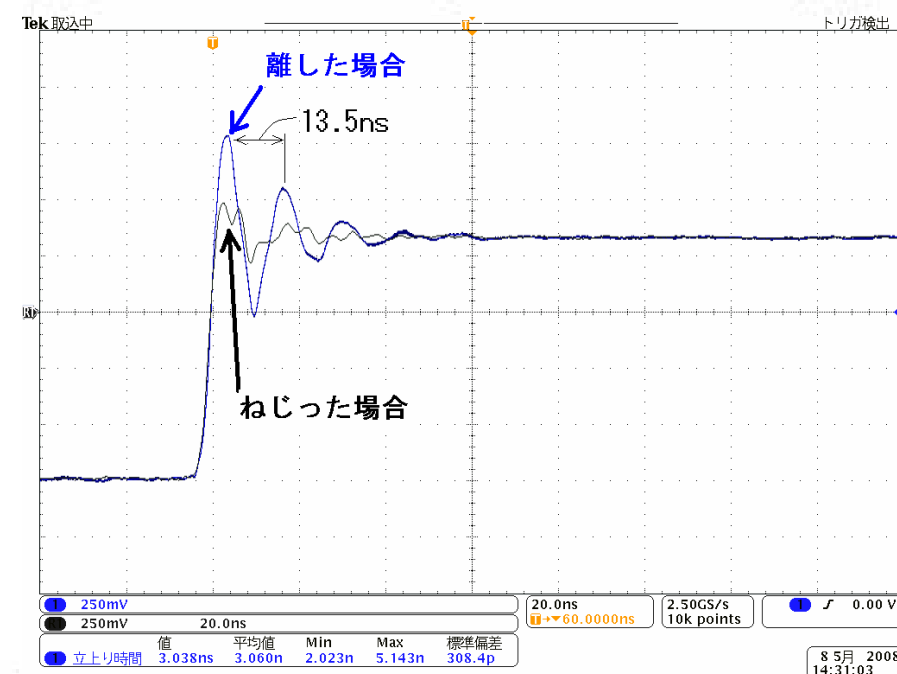
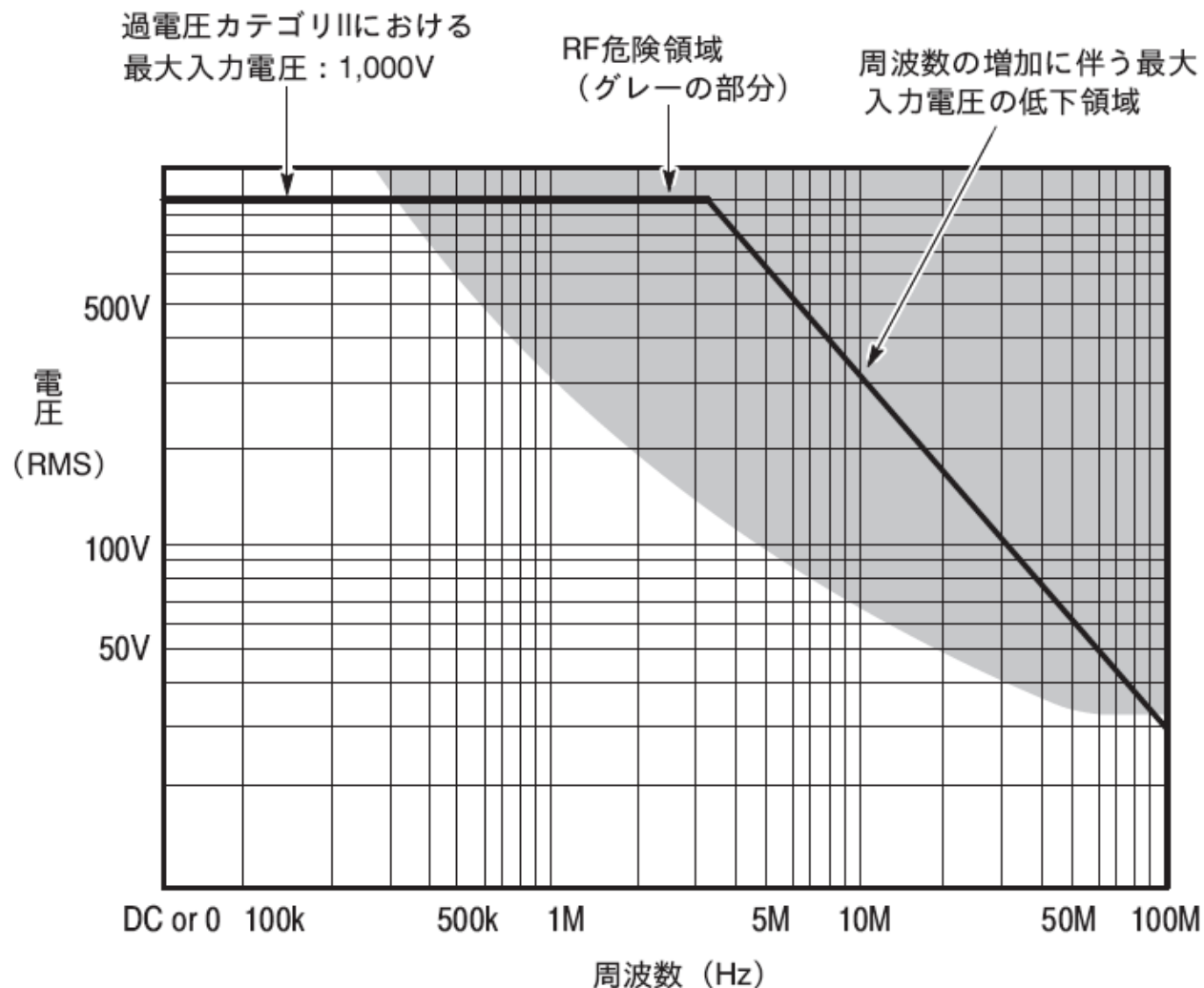


図5 プローブ通過後の応答特性
リンギングのピーク間の周期（13.5ns）から共振周波数（1/13.5ns: 約 74MHz）が計算できる

ディレーティング・カーブ

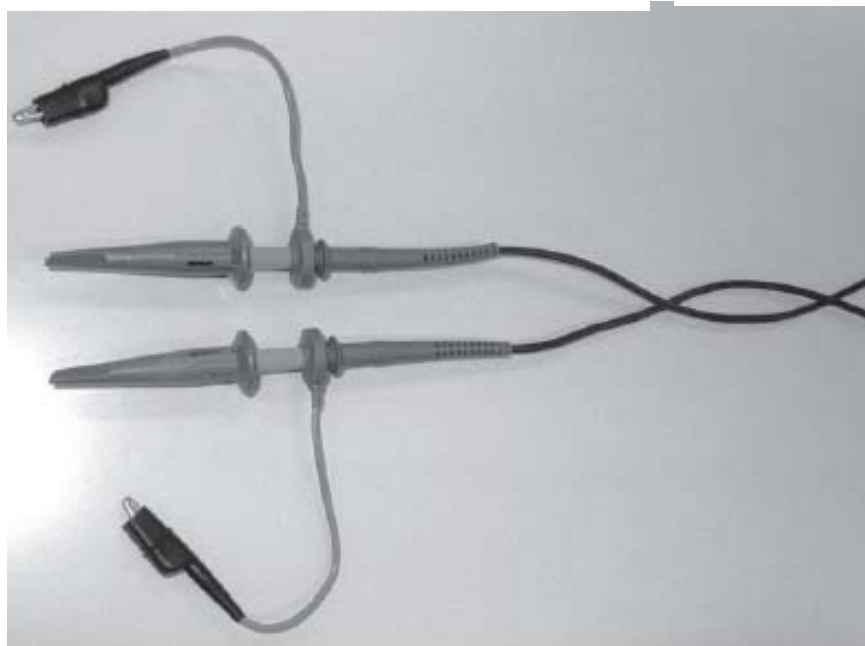
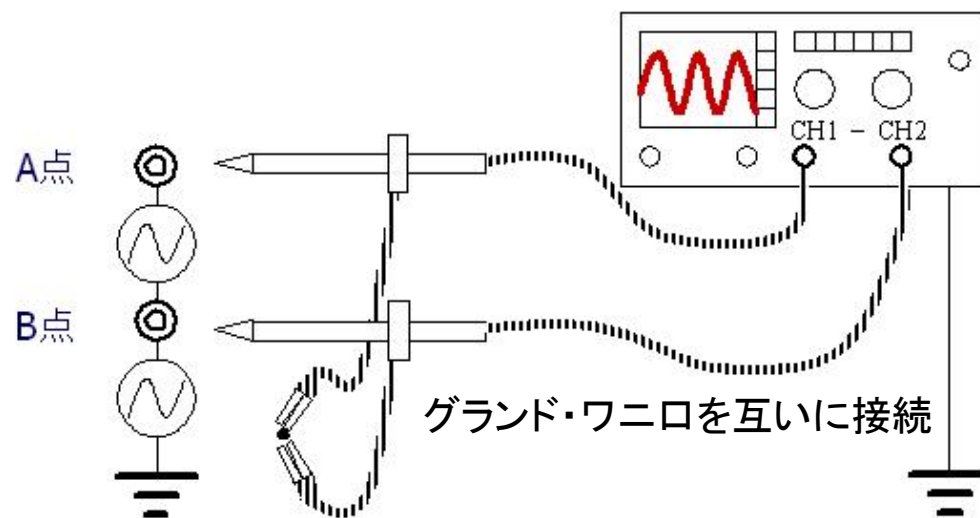
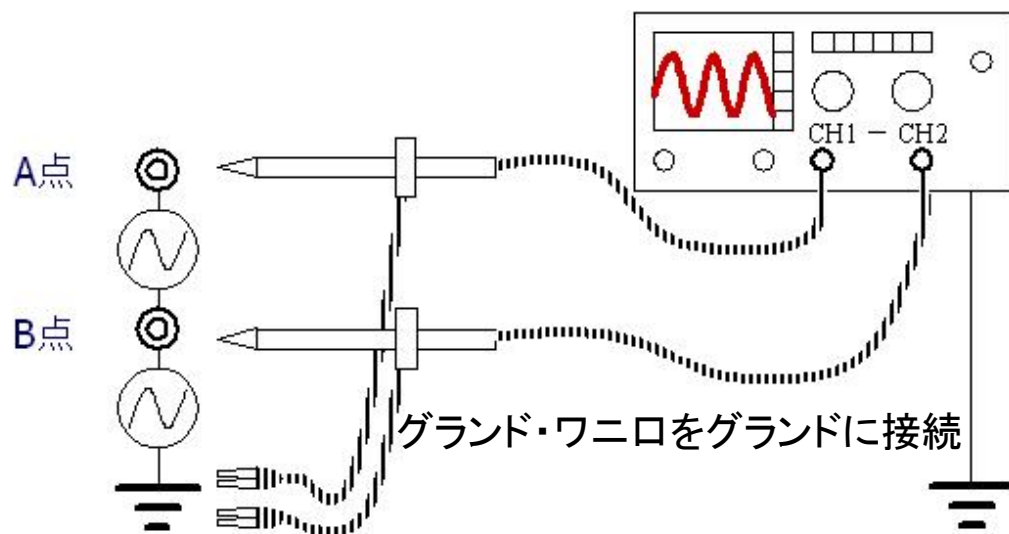
- 周波数が高くなると測定可能電圧は小さくなる



P5205型のプローブ対地間電圧のディレーティング・カーブ

参考: シングル・エンド・プローブ2本で引き算

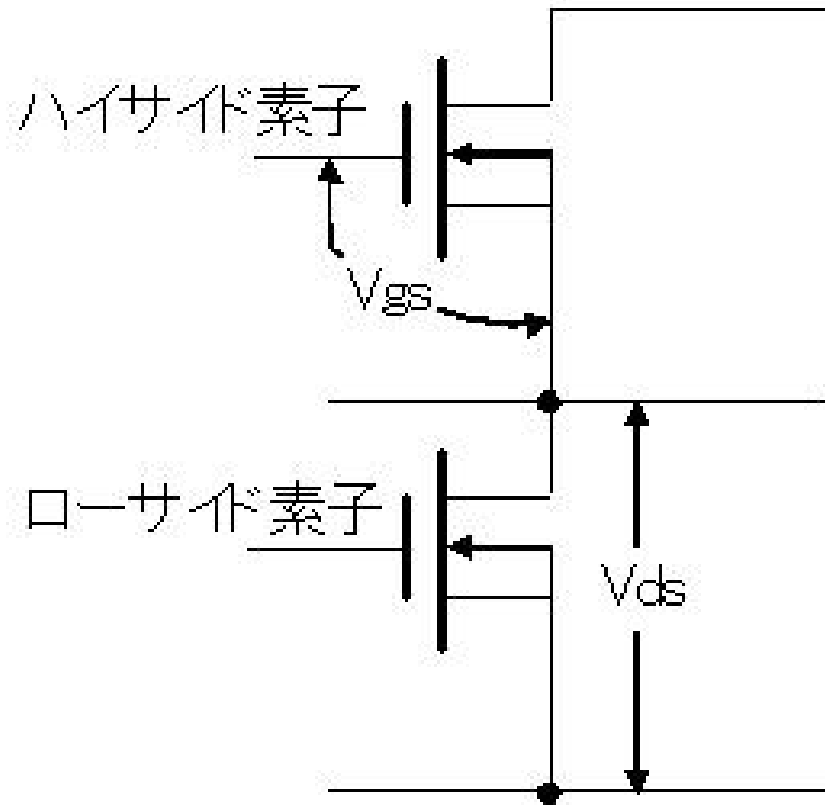
- プローブが2本あれば



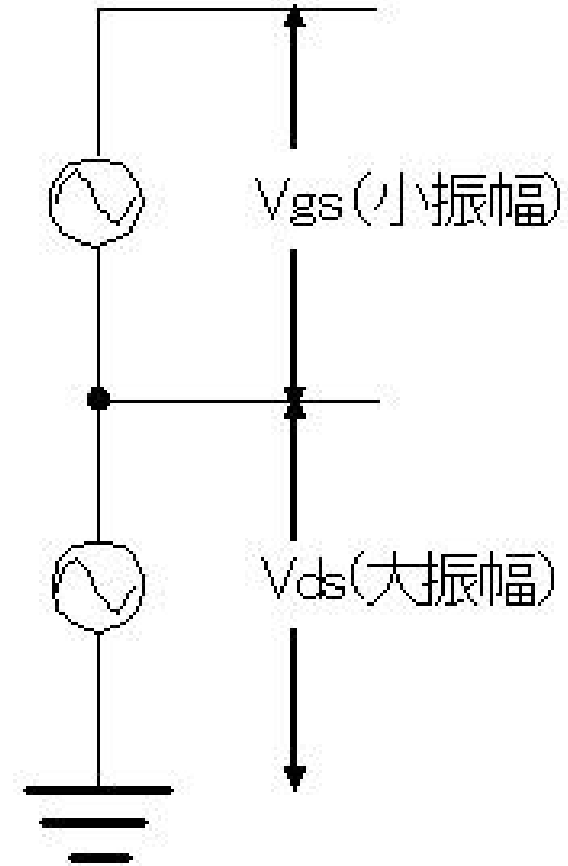
P5100A型 高電圧プローブ
2.5kV 500MHz

高電圧差動プローブのCMRRが影響する実例は？その1

- スイッチング電源のハイサイド測定において



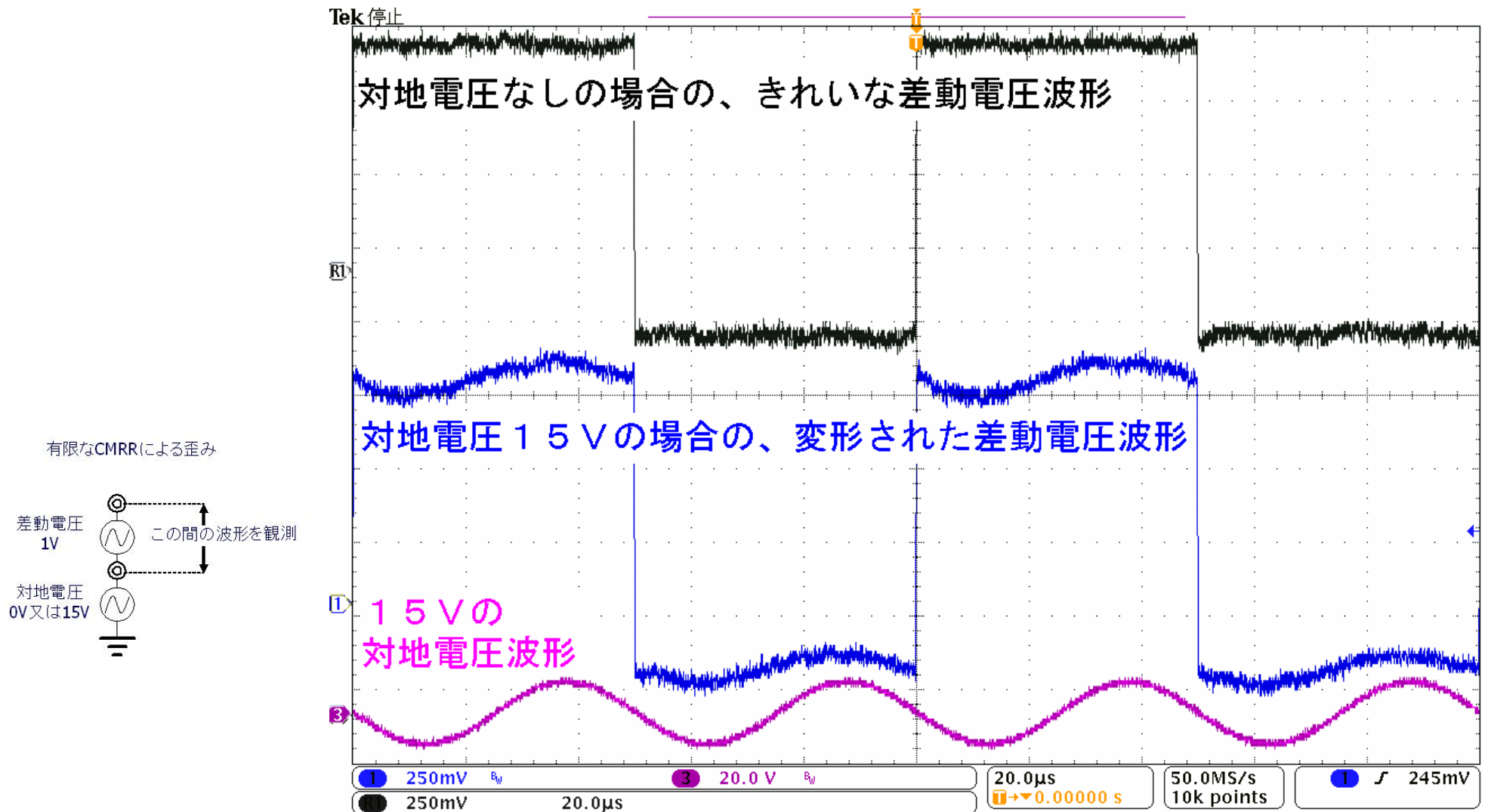
スイッチング電源



等価回路

高電圧差動プローブのCMRRが影響する実例は？

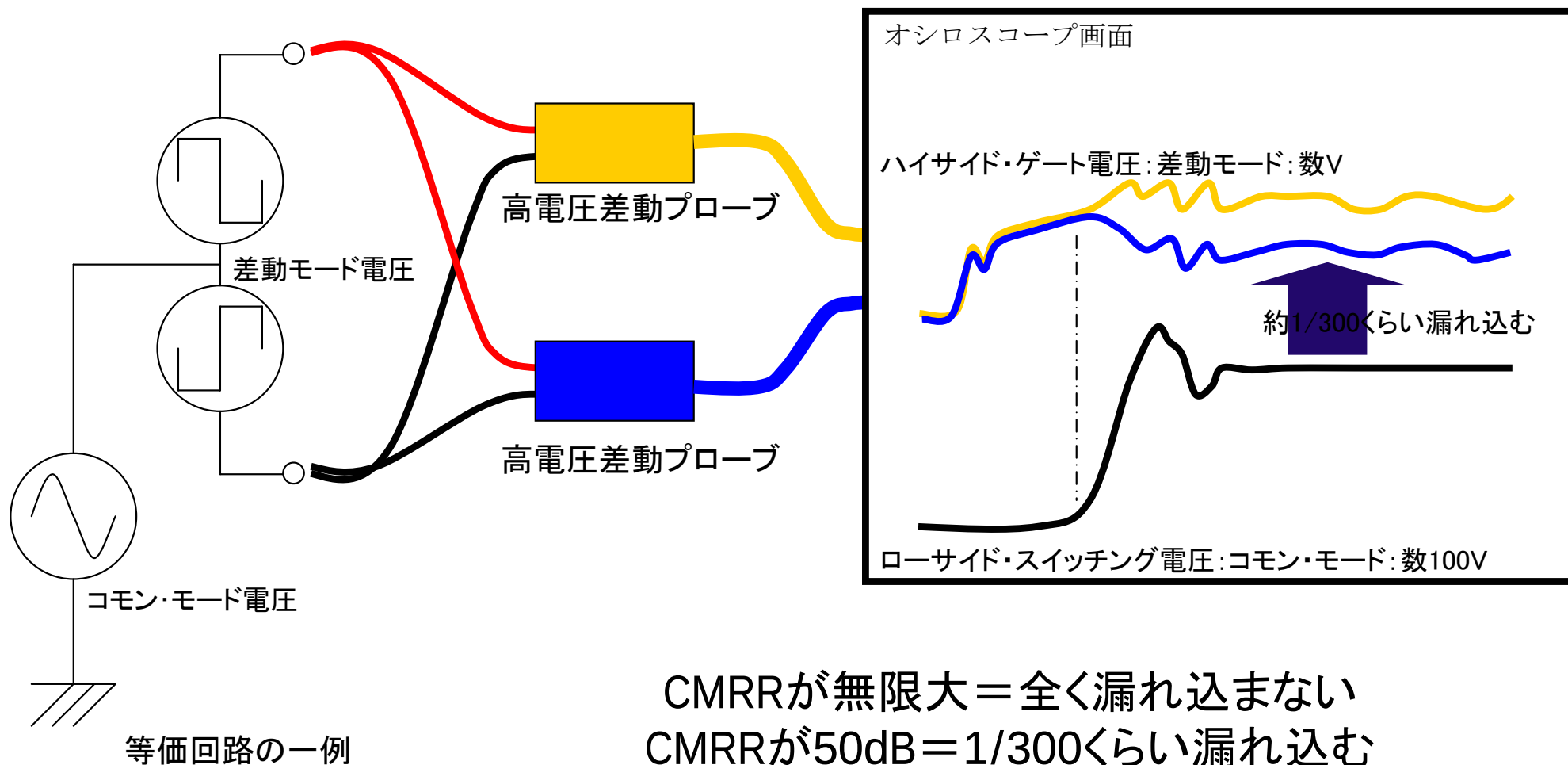
- ローサイドの振幅が漏れ込む



8 5月 2008
19:46:51

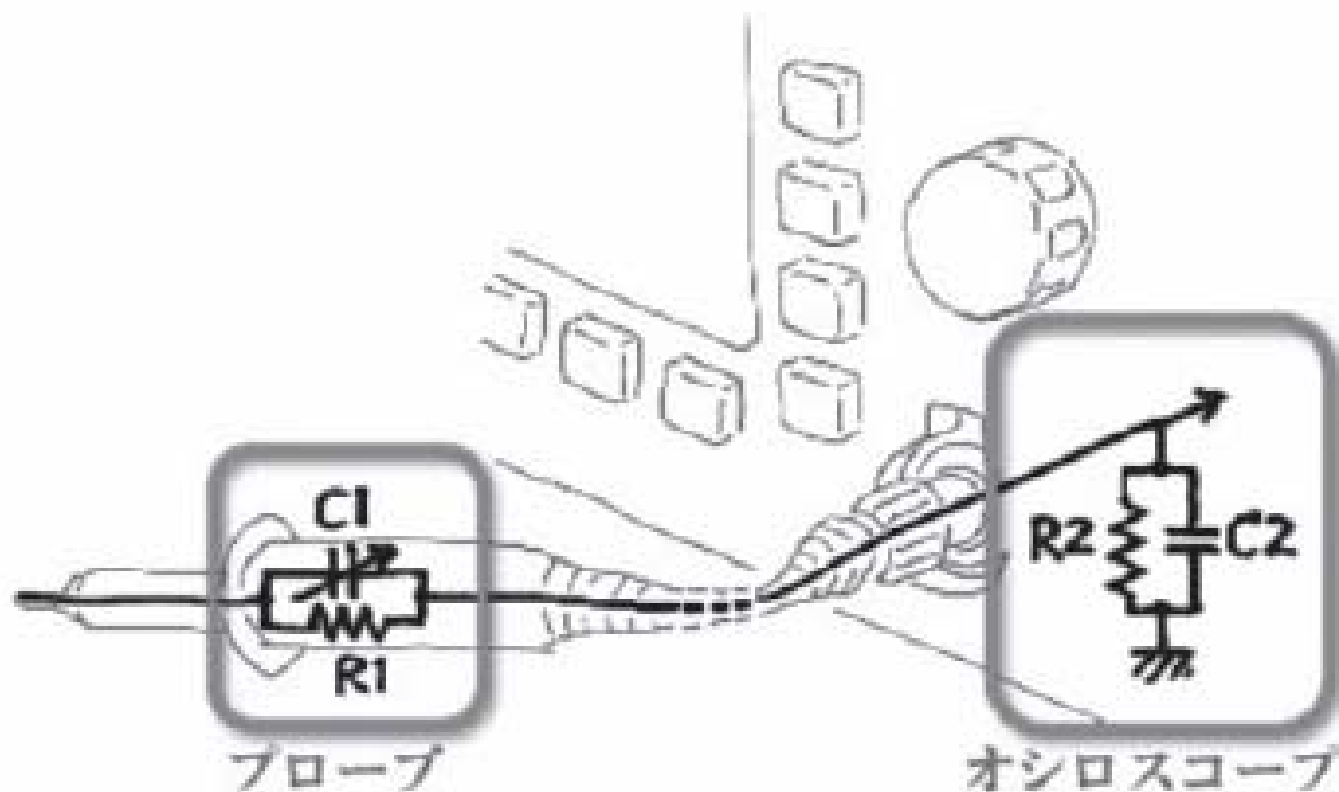
高電圧差動プローブのCMRRが影響する実例は？その2

- 原因は有限なCMRR と漏れ込みのバラつき



3.受動プローブのプローブ補正

- 標準添付の受動プローブとは



▲写真2 プローブ補正の例

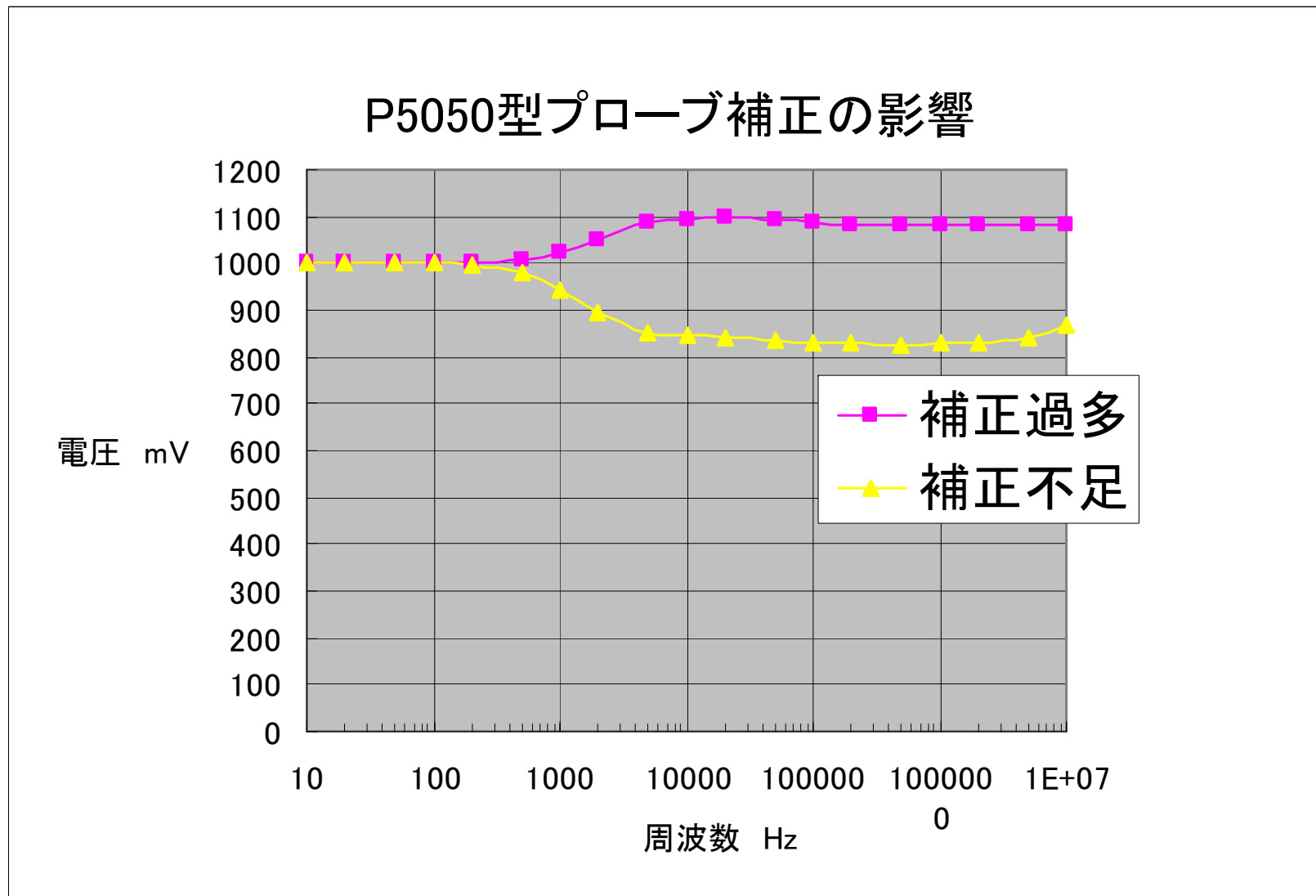
図5 受動プローブとオシロスコープの等価回路

$$R1 \cdot C1 = R2 \cdot C2$$

▲式1 平坦な周波数特性を得る条件

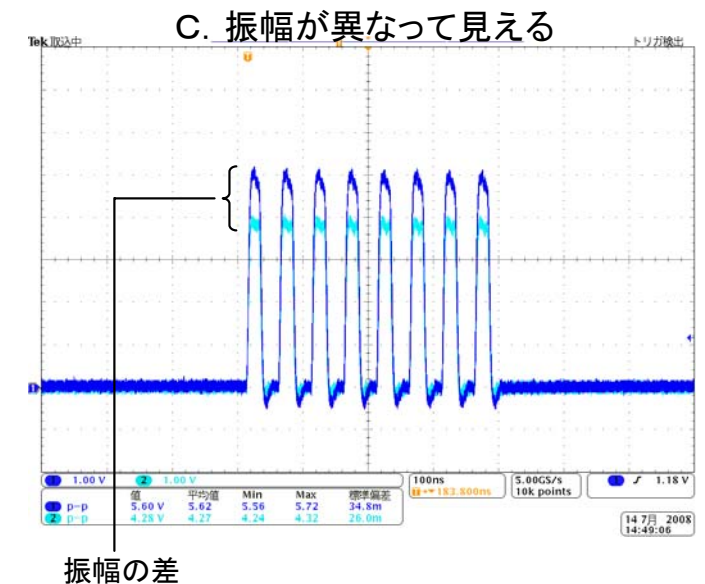
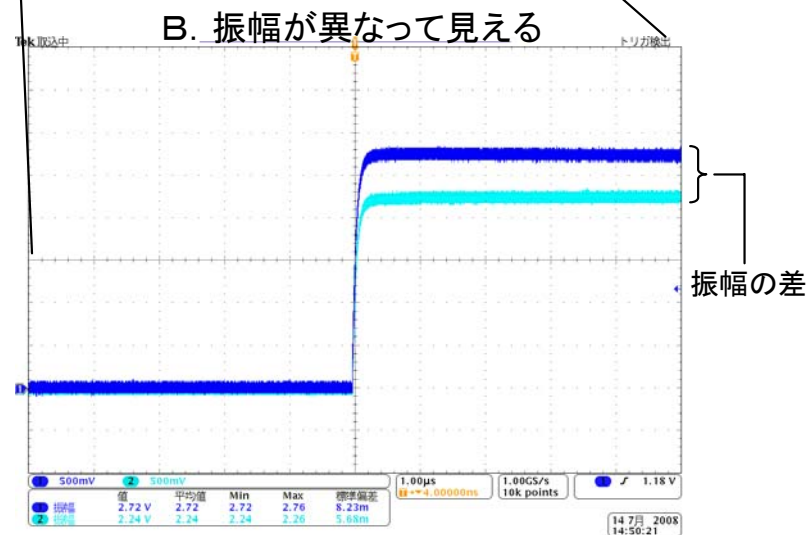
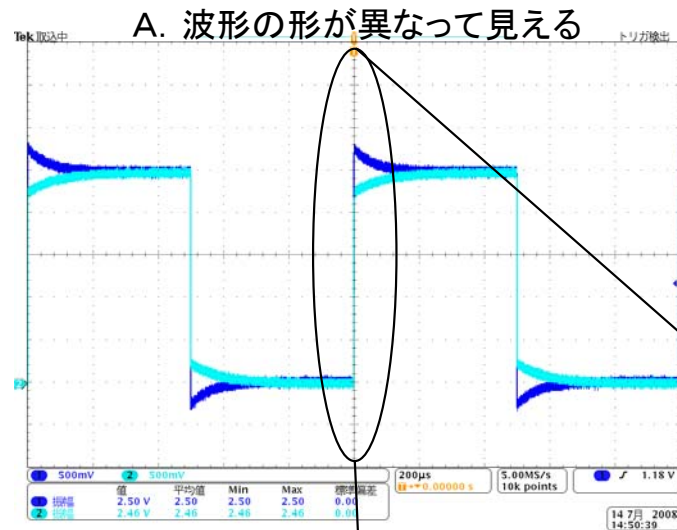
受動プローブはプローブ補正をしないと何MHzまでOK? その1

- 受動プローブの補正がずれた場合の周波数特性



受動プローブはプローブ補正をしないと何MHzまでOK? その2

■ 補正しないプローブによる波形測定の誤差



受動プローブはプローブ補正をしないと何MHzまでOK? その3

■ プローブ補正の手動調整



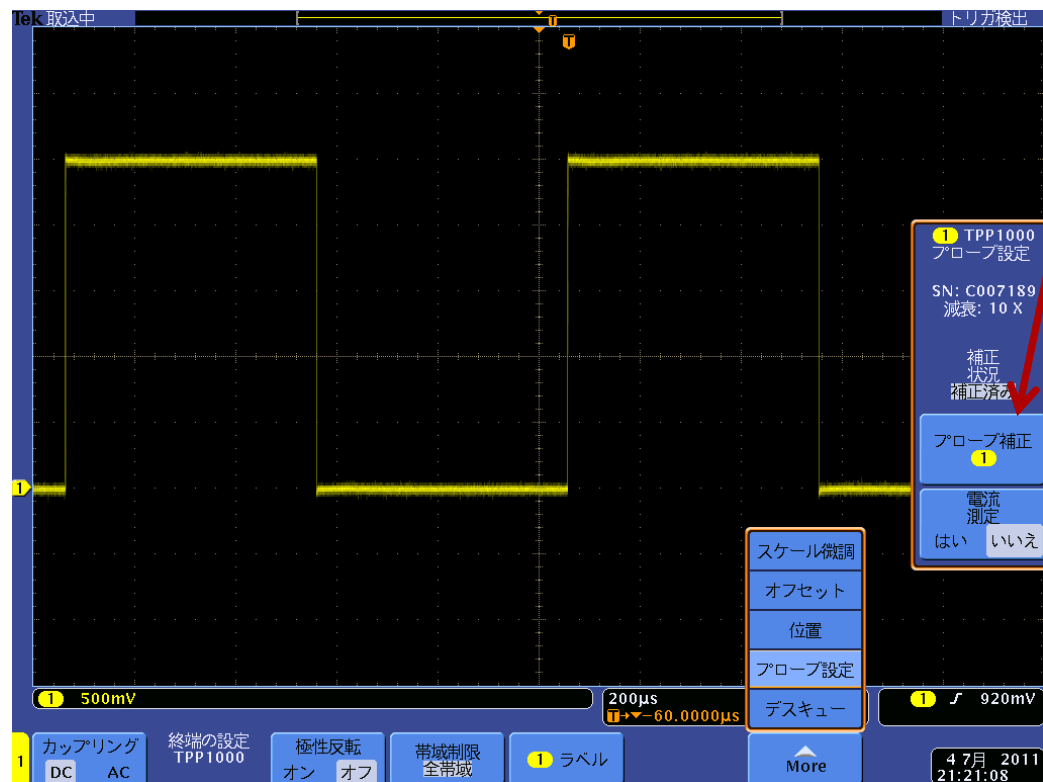
P6139B型など

■ プローブ補正の自動調整



TPP1000型／TPP0500型
(DPO/MSO4000Bシリーズ
DPO/MSO5000シリーズ用)

プローブ補正の
自動調整



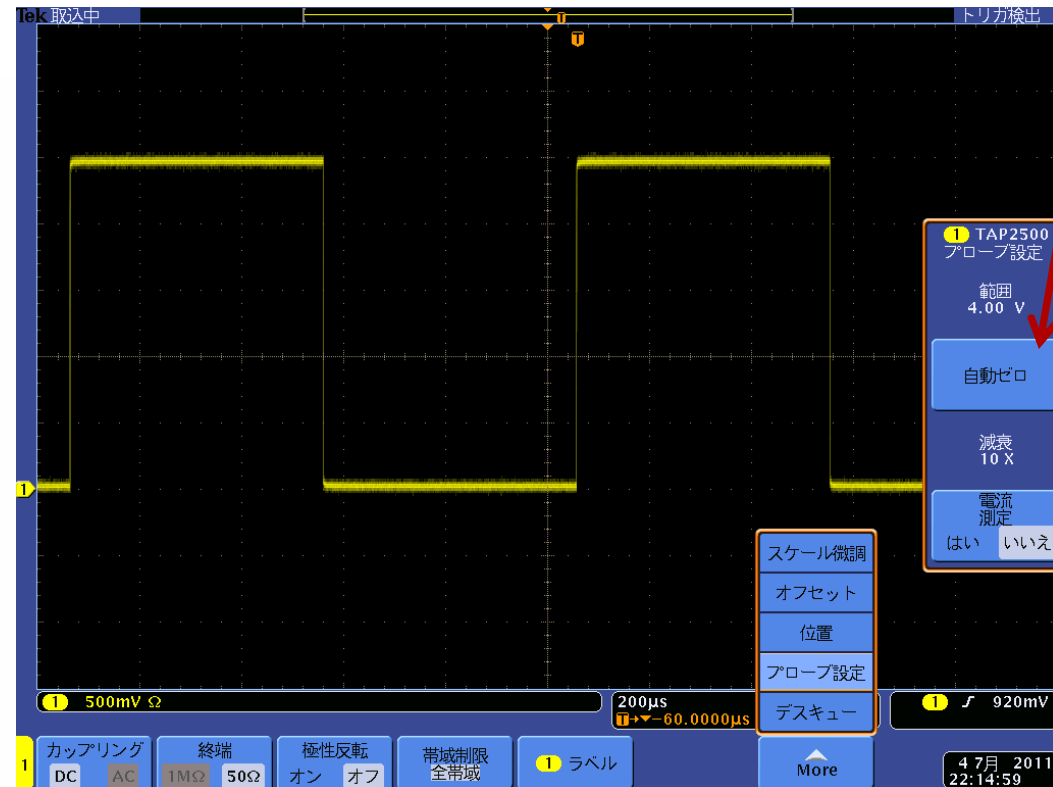
参考: アクティブ・プローブの校正

- アクティブ・プローブの自動ゼロ調整
 - Probe Comp信号にプロービング
 - Moreでプローブ設定を選択
 - 自動ゼロ調整を実行

自動ゼロ調整

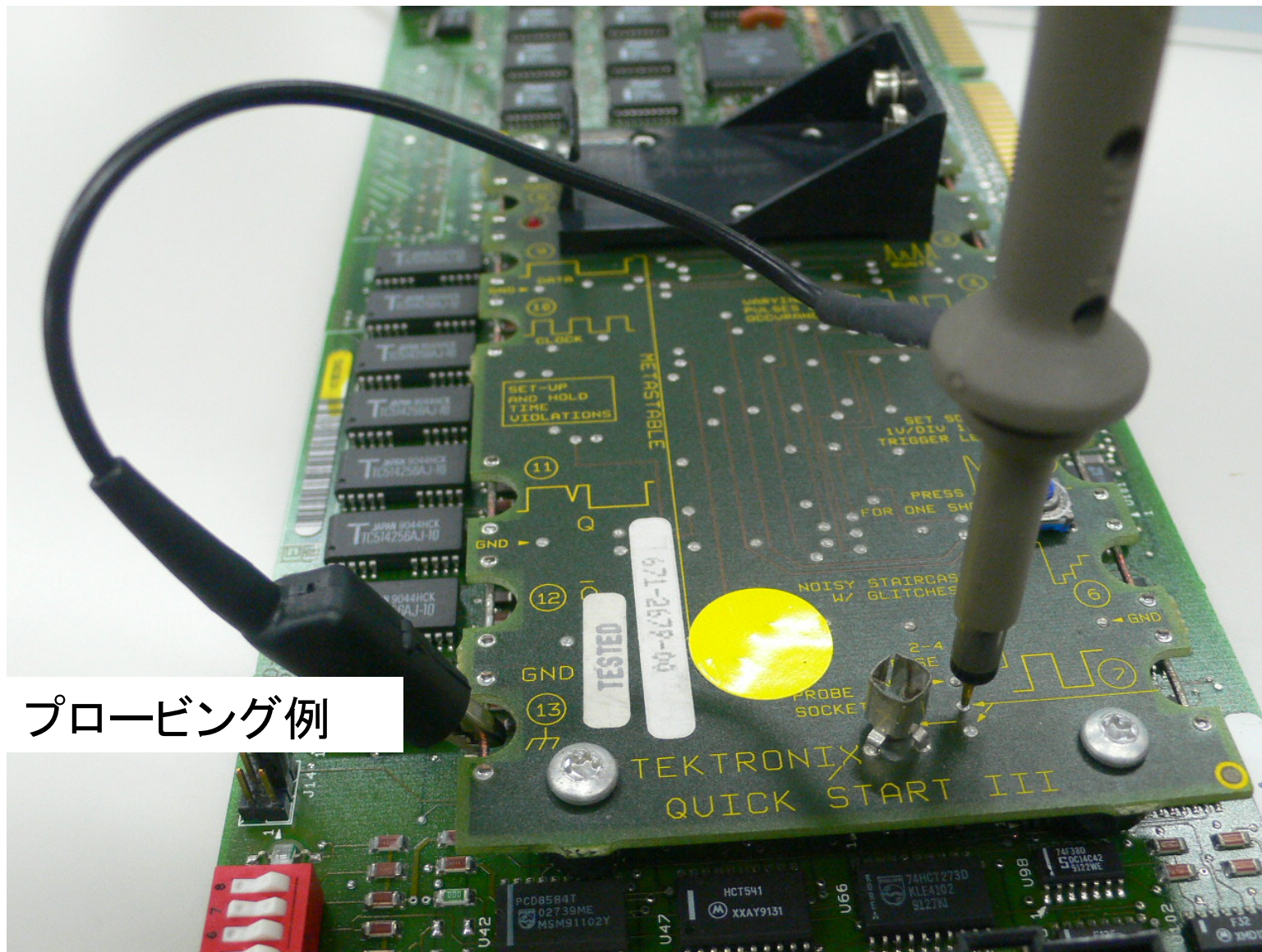


TAP1500型／TAP2500型、
TDP1500型／TDP1000型など



4. グランド・リードの影響

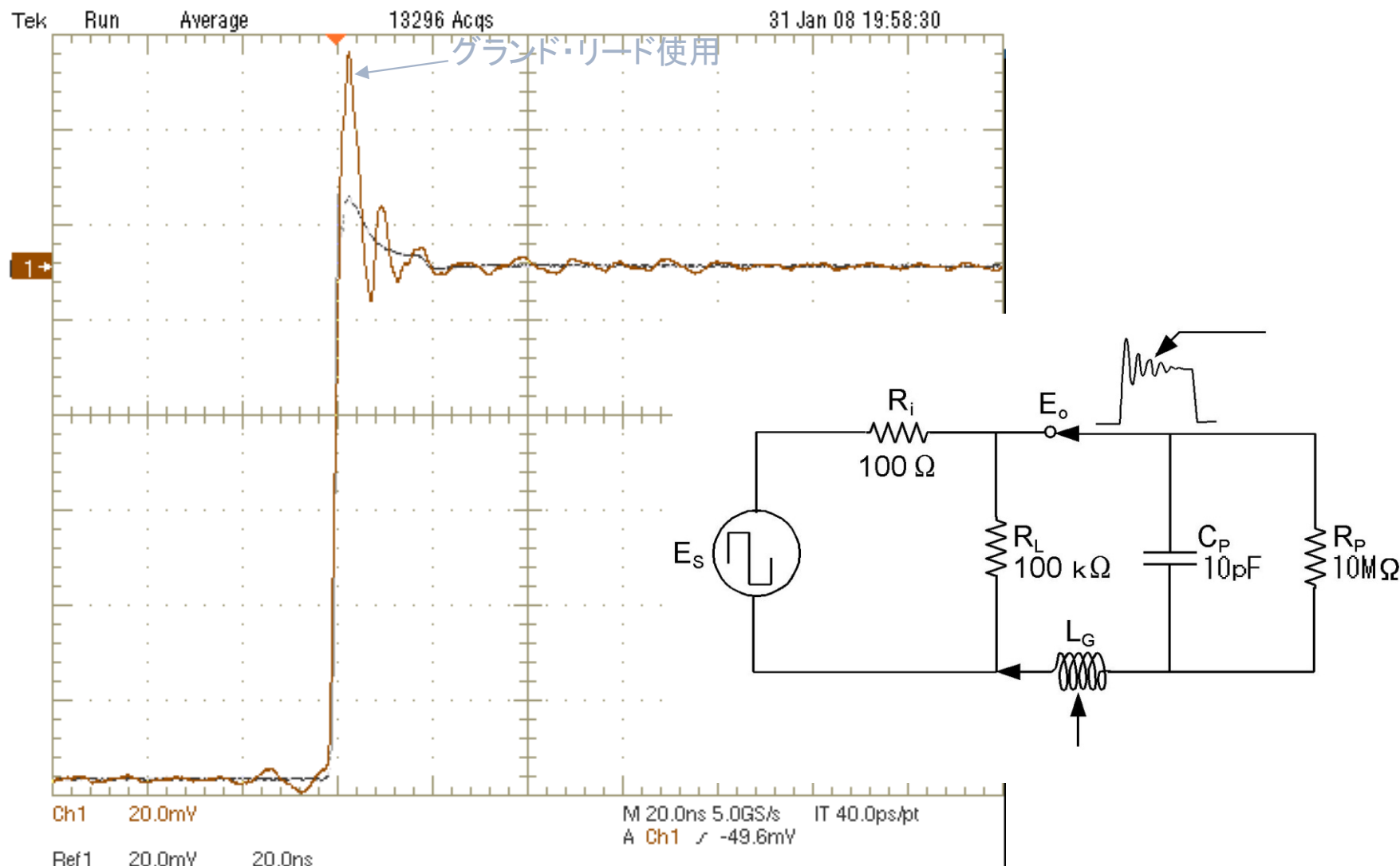
- グランド・リードは便利だが・・・特性は



プロービング例

受動プローブのグランド・リードは何MHzまで使える？ その1

- グランド・リードを使用すると、リングングが発生



受動プローブのグランド・リードは何MHzまで使える？ その2

- グランド・リードは波形振幅の誤差を生む

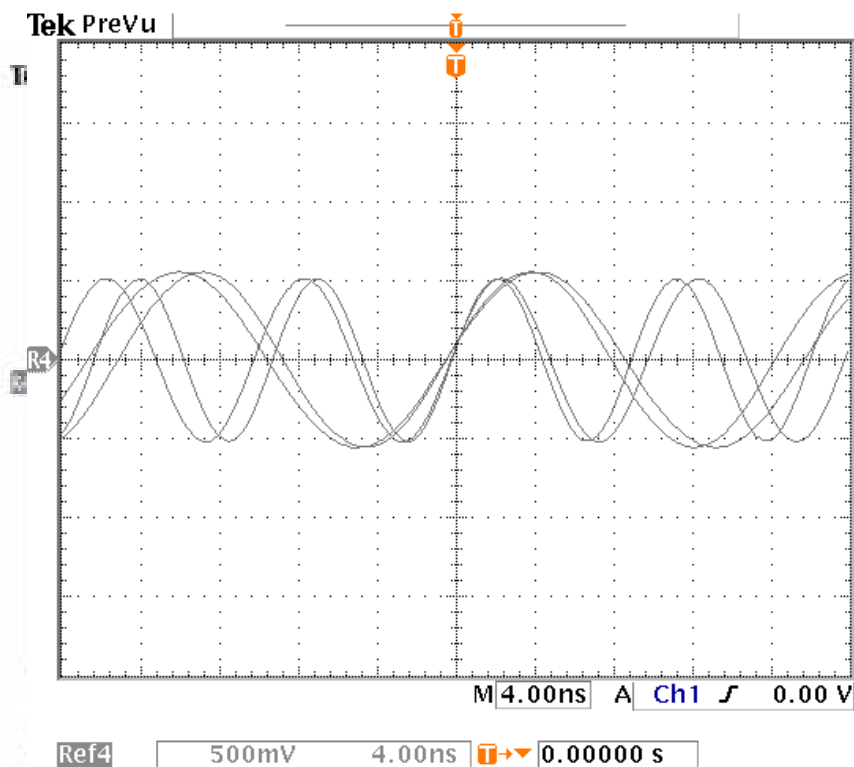


図2 理想的なプロービングの例

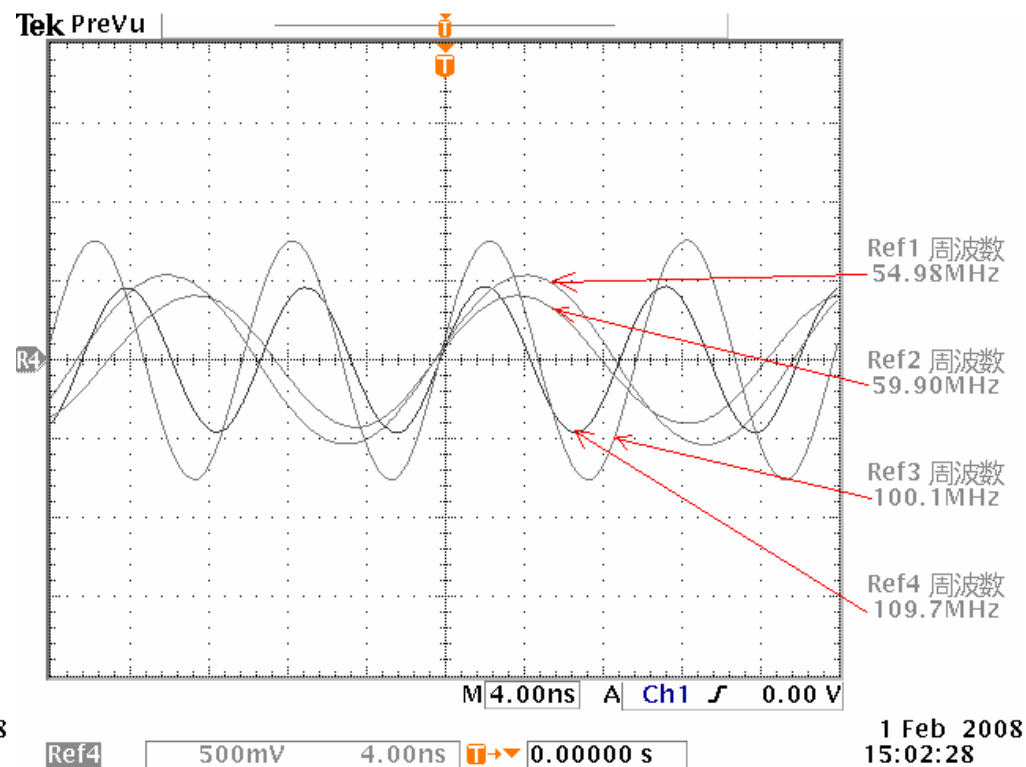
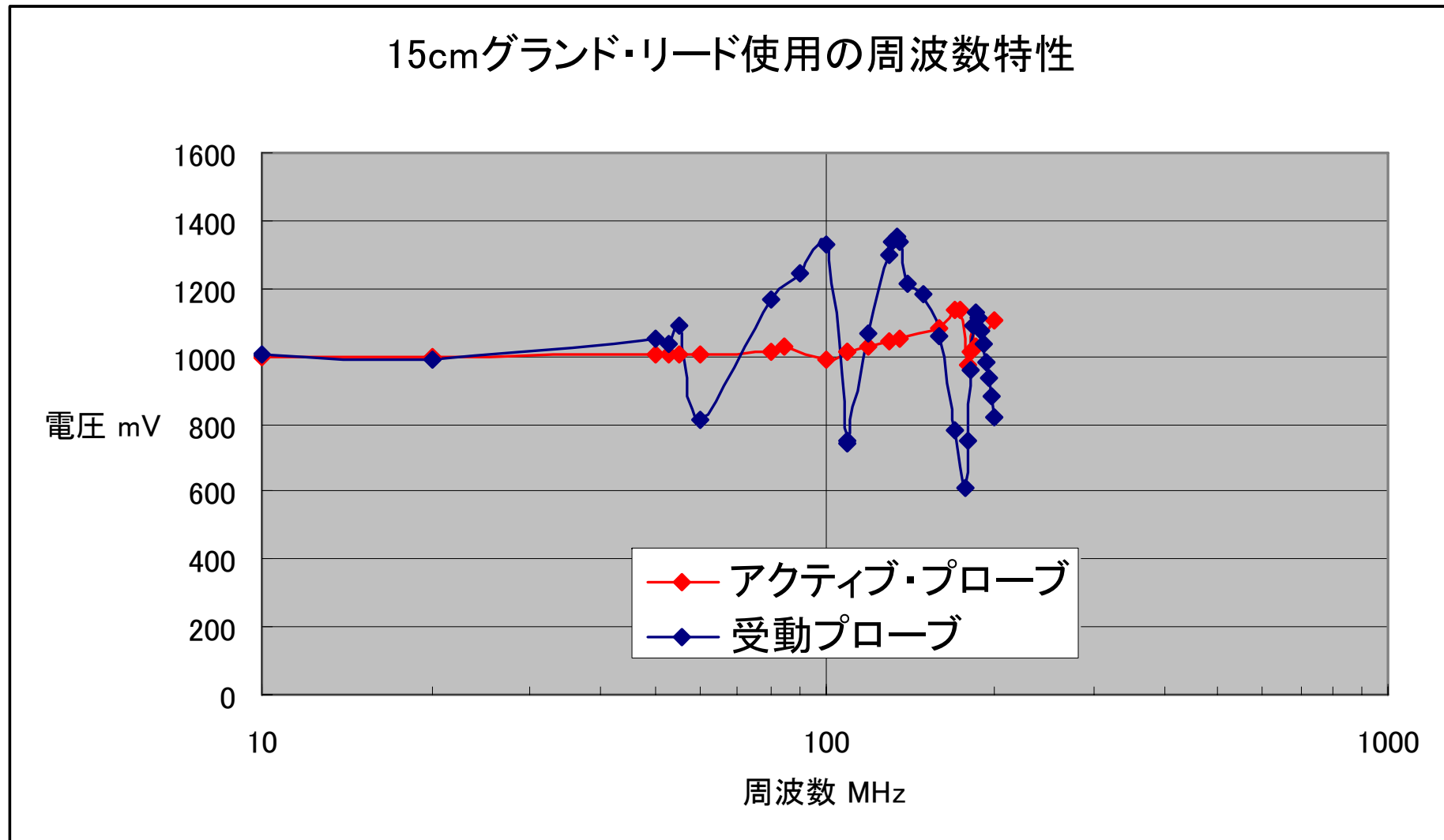


図1 グラウンドリードを使ったプロービングの失敗例

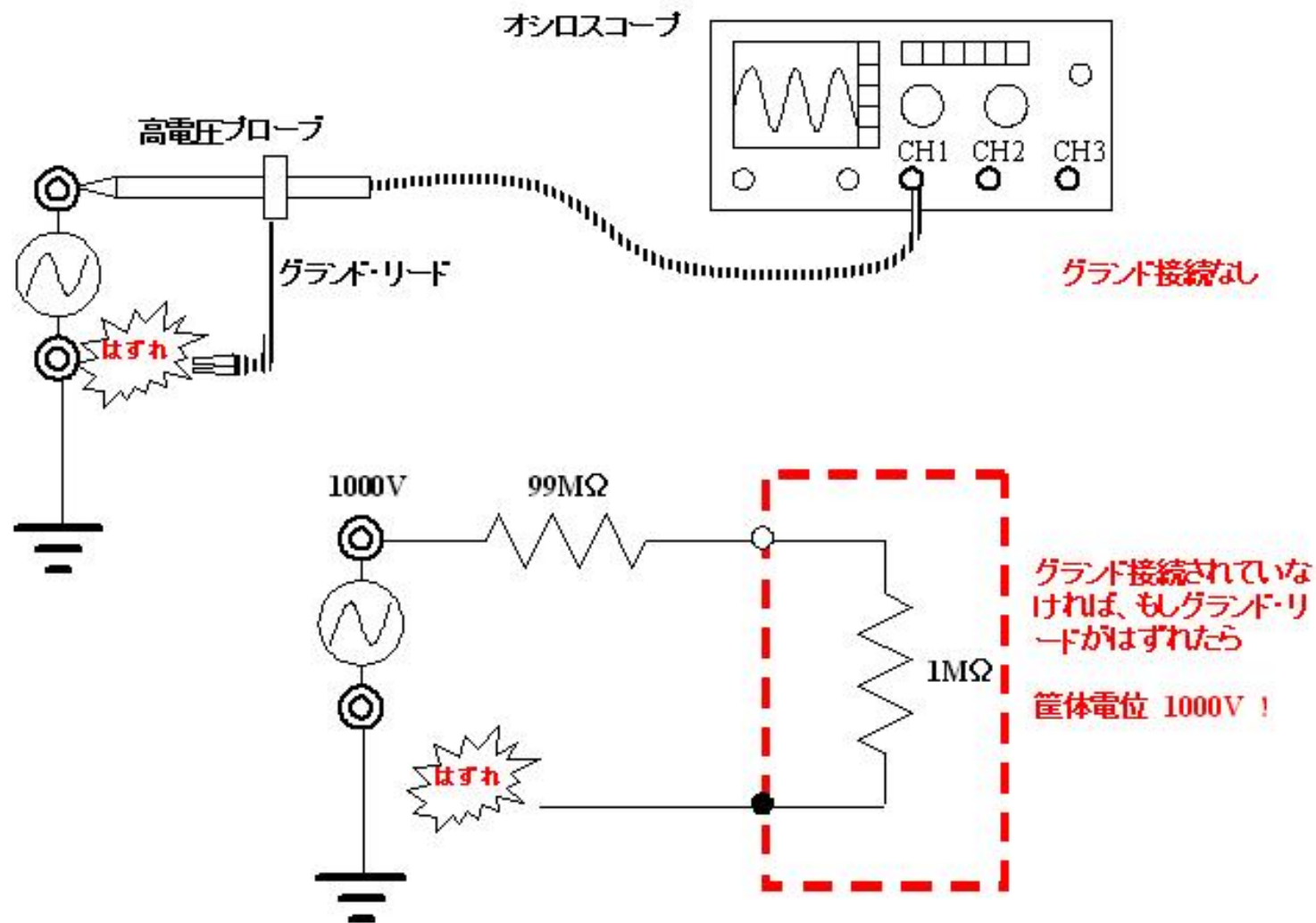
受動プローブのグランド・リードは何MHzまで使える？ その3

- グランド・リード使用では50MHz まで、そこでアクティブ・プローブ登場



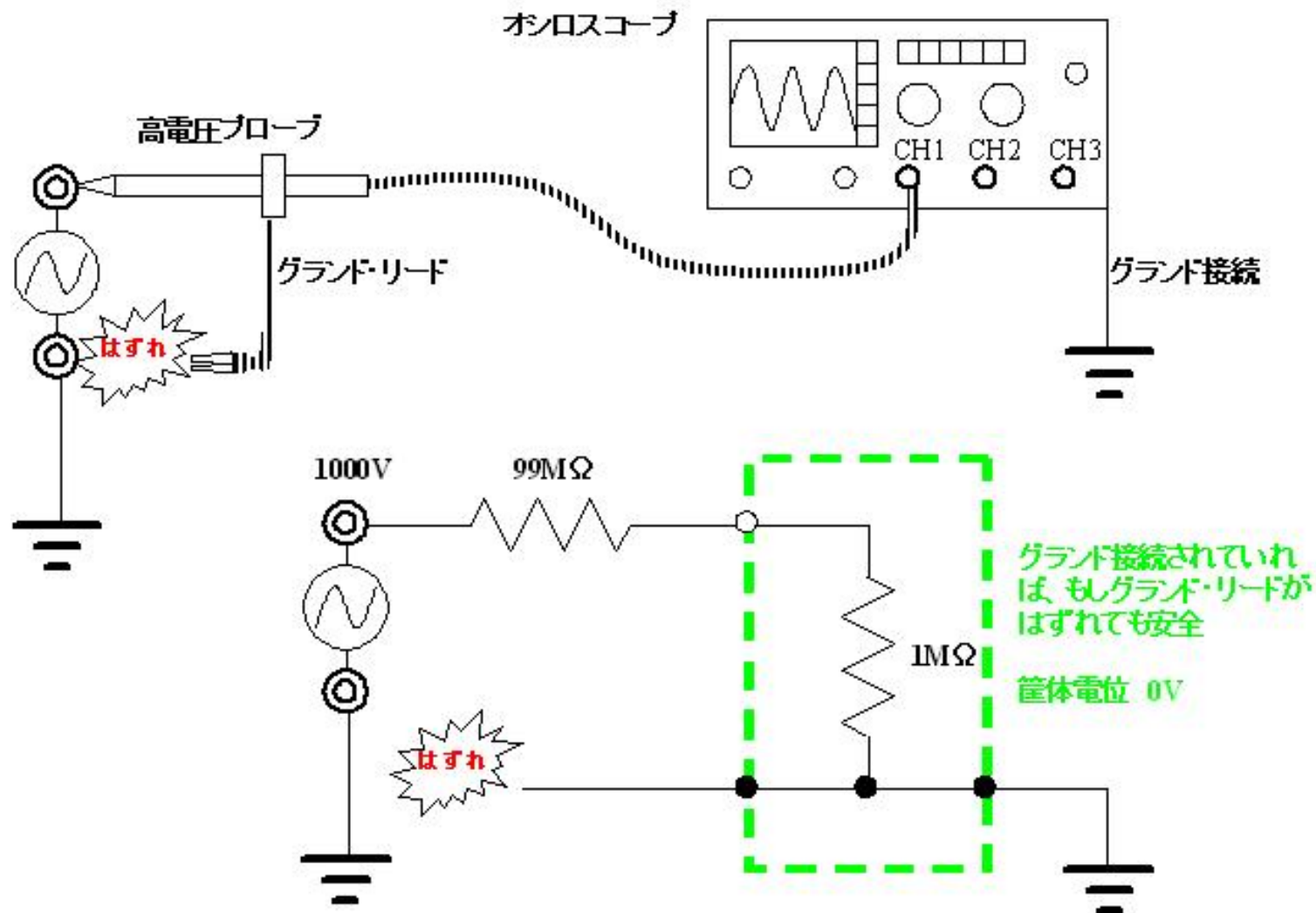
参考：グラウンドと先端、どちらを先に接続？ その1

- グラウンドが先になら良いが、先端が先では筐体に高電圧が発生



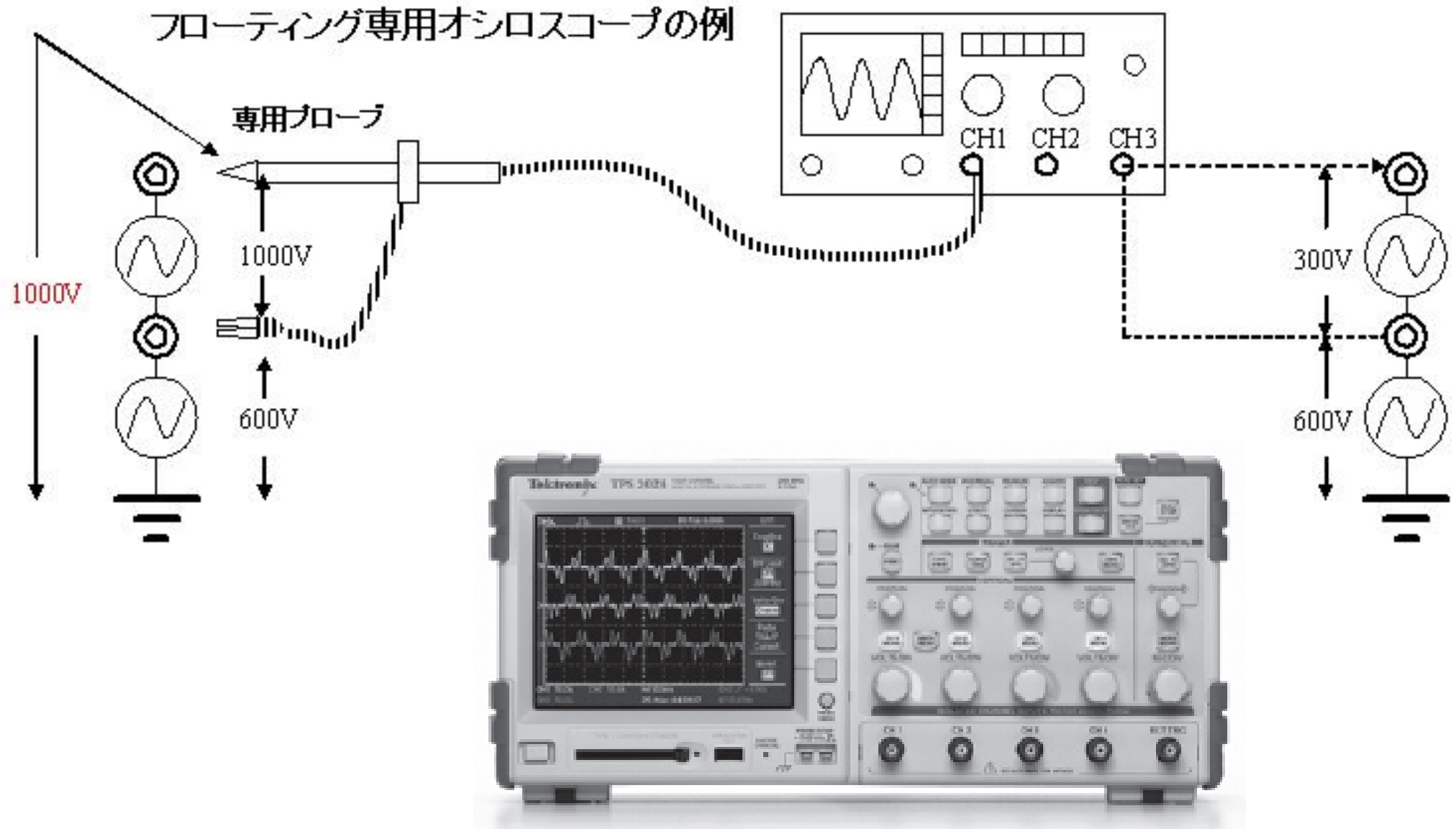
参考: グランドと先端、どちらを先に接続? その2

- グランドが外れても、筐体がグランドに接続されていれば、安全



参考：フローティング測定ってオシロスコープを浮かせればOK？ その4

- 専用オシロスコープなら、簡単・安全

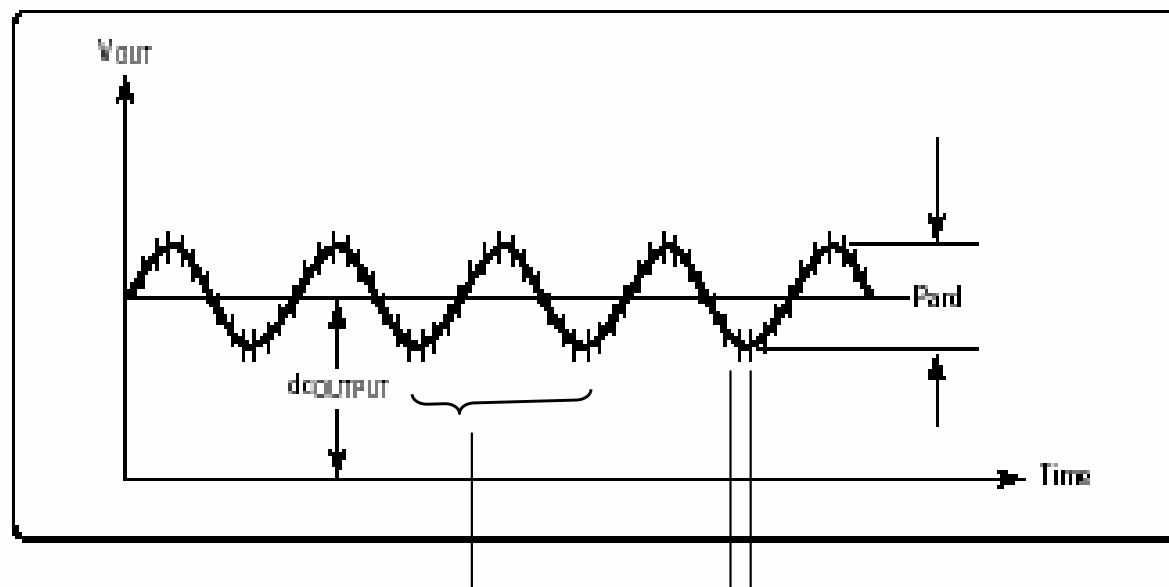


高感度受動プローブによるリップルの評価

仕様	TPP0502 型
減衰比	2:1
入力電圧	300 V CAT II
周波数帯域 (-3dB)	500 MHz
立上り時間	700 ps 以下
入力抵抗／容量 (プローブ・チップにて)	2 M Ω / リジッド・チップ: 12.7 pF ポゴ・ピン・チップ: 13.6 pF
ケーブル長	1.3 m



MSO/DPO5000、MSO/DPO4000B
シリーズ専用プローブ



リップル(ライン)

リップル(スイッチング)

5. ハイレゾ・モードの活用

オシロスコープの波形取込みモード

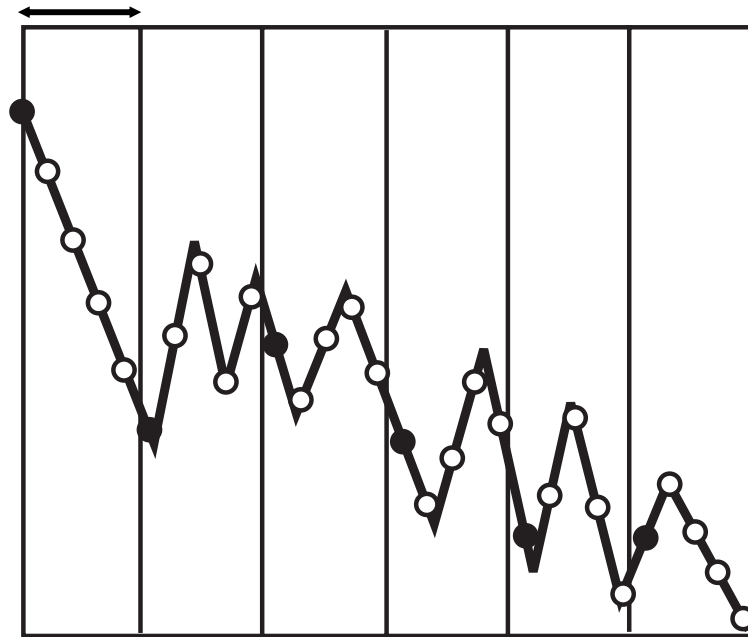
- サンプル・モード
 - 時間軸設定に応じたサンプル・レートでサンプルして表示
- ピーク・ディテクト・モード
 - サンプルとサンプルの間のピークも検出して表示
- エンベロープ・モード
 - 複数回取込んだ波形のピークを表示
- ハイレゾ・モード
 - 時間軸設定に応じた各サンプル・ポイントの前後のゾーンをより高いサンプル・レートでサンプルし、平均処理して表示
- アベレージ・モード
 - 複数回の取り込み波形を平均して表示

サンプル・モードはどのような処理をしているの？

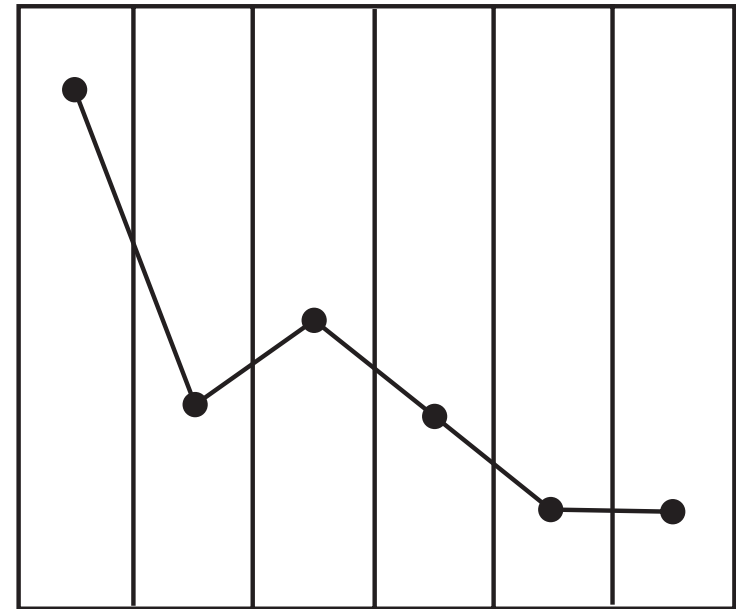
● サンプル・モード(通常モード)

インターバル内の一番左端のサンプル・ポイントのみメモリに格納します。

サンプル・インターバル



内部でデジタイズされたサンプル・ポイント



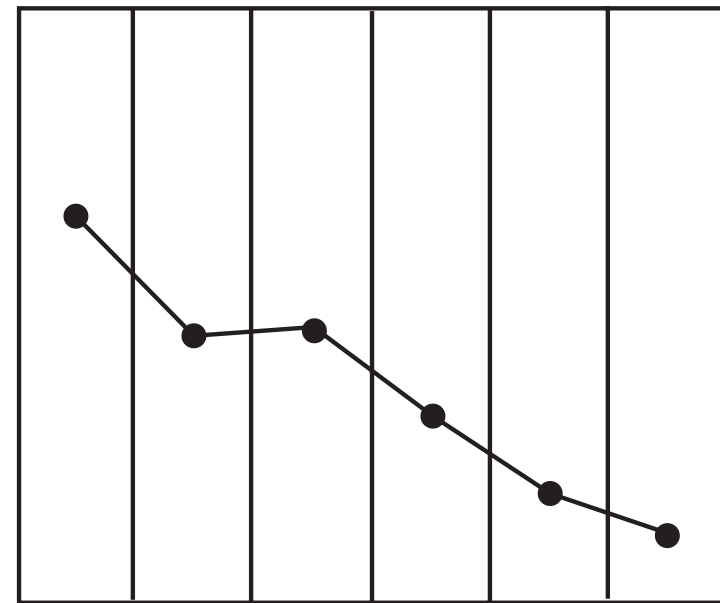
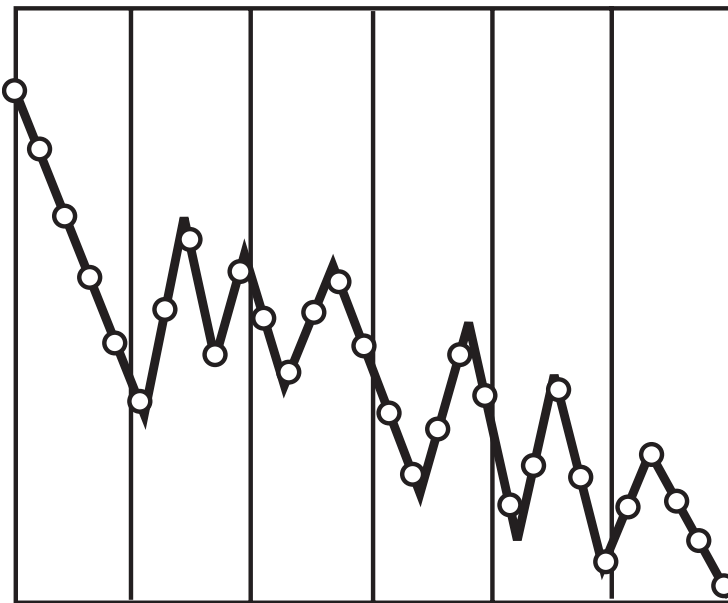
画面表示されたサンプル・ポイント

ハイレゾ・モードはどのような処理をしているの？

● ハイレゾ(Hi-Res)・モード

各インターバル内で平均を取り、その平均値をメモリに格納します。
ノイズの多い単発信号でもノイズを除去することができます。

サンプル・インターバル



内部でデジタイズされたサンプル・ポイント

画面表示されたサンプル・ポイント

- SOA解析、磁気コンポーネント測定、スイッチング損失測定に効果的
- 処理結果を直接メモリに保存するため、レコード長を有効使用
- 1sec/divなどの遅い時間軸、ロール・モードでも使用可能

ハイレゾ・モードによる垂直軸分解能の向上

- ハイレゾ・モードの表示ビット分解能 $= 8 + 0.5 \times \log_2 N$
 $N = (\text{内部最高サンプル・レート} \div \text{設定サンプル・レート})$
- 2 byte メモリ(16ビット)の内、1ビットはサイン・ビットであるため、計算上は15ビットまで増えるが、まるめ誤差などを考慮すると、最高13ビット相当まで改善可能
- 周波数帯域 $= 0.44 \times \text{設定サンプル・レート}$ に制限
- $V_{CE}(\text{sat})$ や R_{ON} の測定には、オーバードライブとハイレゾ・モードの併用が効果的

Tektronixのハイレゾ・モードの特長

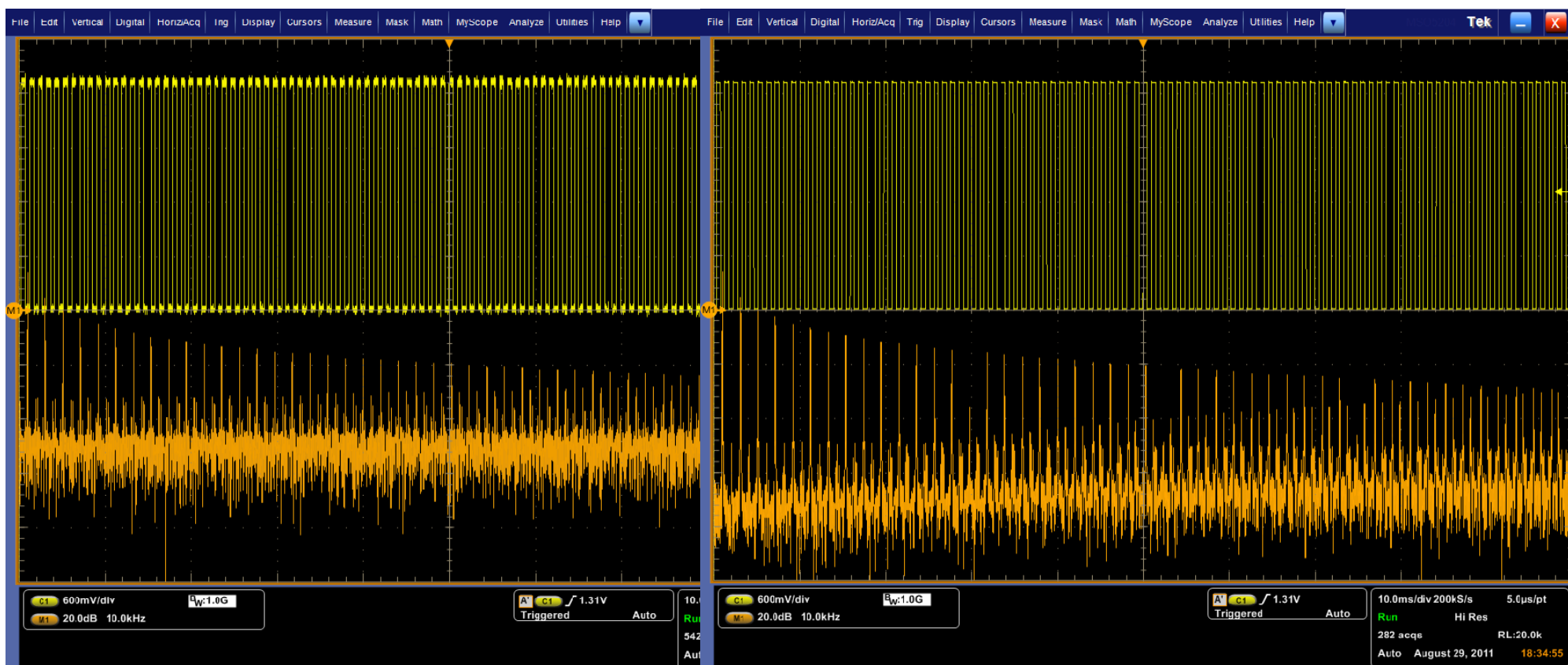
- 真のハイレゾのため、上記Nの値が大きいほど、ビット分解能とS/Nが向上
- ハイレゾ処理結果を波形メモリに直接保存するため、レコード長が減少しない

ハイレゾ・モードによる垂直軸分解能の向上

- ハイレゾ・モードではFFTのノイズ・フロアが下がり、サンプル・モードではノイズに埋もれていた周波数成分も観測できる。

サンプル・モード

ハイレゾ・モード



6. 電流プローブの性能と使いこなし スイッチング電源評価用電流プローブ

■ TekVPI対応電流プローブ

— TCP0030型

- DPO/MSO5000、DPO/MSO4000(B)、DPO7000(C)シリーズ等のオシロスコープへ直接接続
- 最大測定電流：30Arms AC/DC
- 最高感度：1 mA/div
- 周波数帯域：DC～120 MHz

高感度
広帯域



— TCP0150型

- DPO/MSO5000、DPO/MSO4000(B)、DPO7000(C)シリーズ等のオシロスコープへ直接接続
- 最大測定電流：150Arms AC/DC
- 最高感度：5 mA/div
- 周波数帯域：DC～20 MHz

大電流
高感度



スイッチング電源評価用電流プローブ

■ TCPシリーズ・電流プローブ

- TCP202型
 - 周波数帯域: DC~50MHz
 - 最大連続電流: 15A(DC+peakAC)
 - TEKPROBE®インタフェースにてアンプ不要
- TCP300/400シリーズ
 - 周波数帯域: DC~100MHz(TCP312型)
 - 周波数帯域: DC~50MHz(TCP305型)
 - 周波数帯域: DC~15MHz(TCP303型)
 - 周波数帯域: DC~2MHz(TCP404XL型)
 - 最大連続電流: 30A(DC+peakAC) (TCP312型)
 - 最大連続電流: 50A(DC+peakAC) (TCP305型)
 - 最大連続電流: 150A(DC+peakAC) (TCP303型)
 - 最大連続電流: 750A(DC+peakAC) (TCP404XL型)
 - TCPA300/400型アンプ使用
 - TEKPROBE®インタフェースにて電流値自動換算

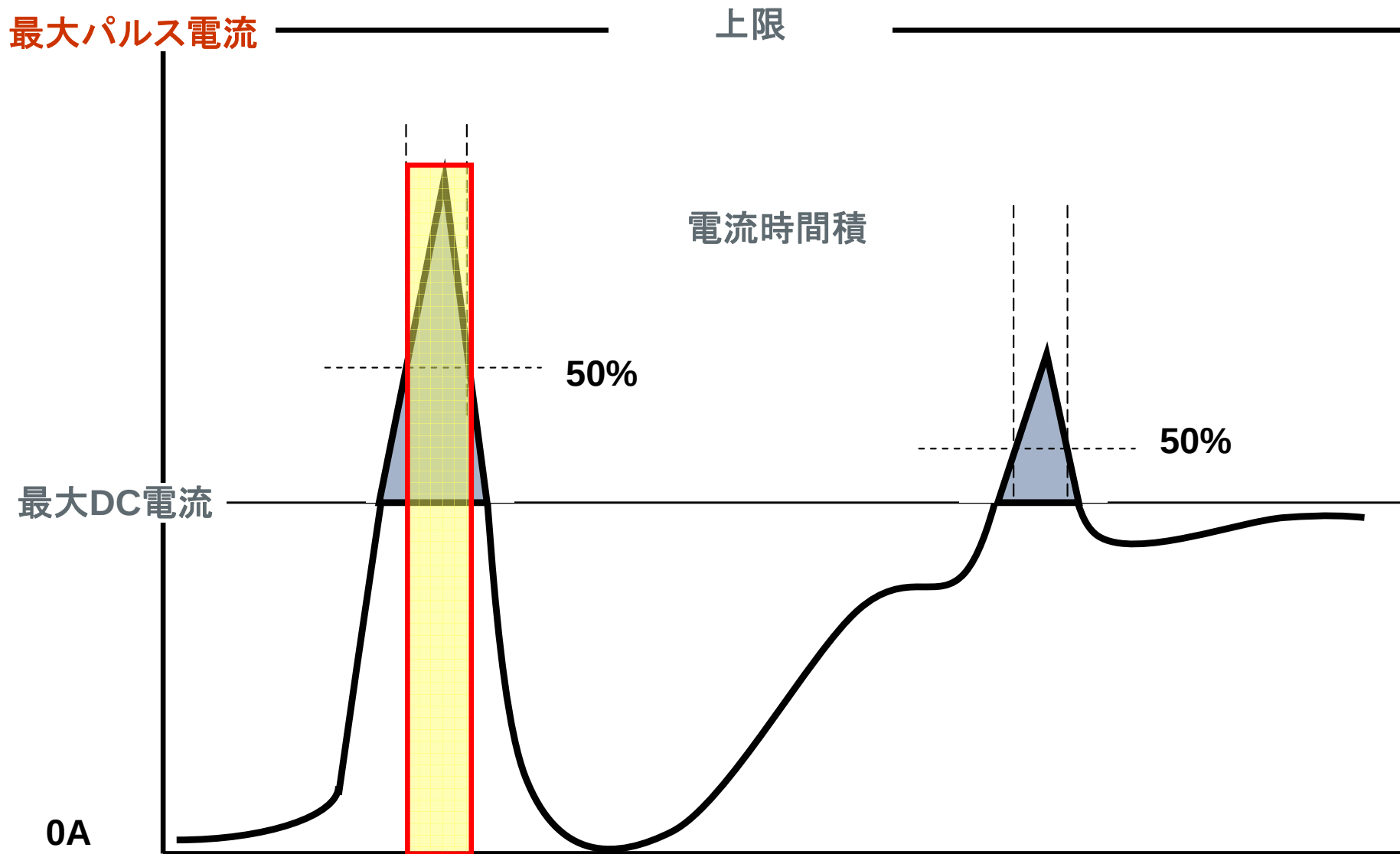


測定前に、0A(DCオフセット)の調整を実行してください。

電流プローブの電流制限

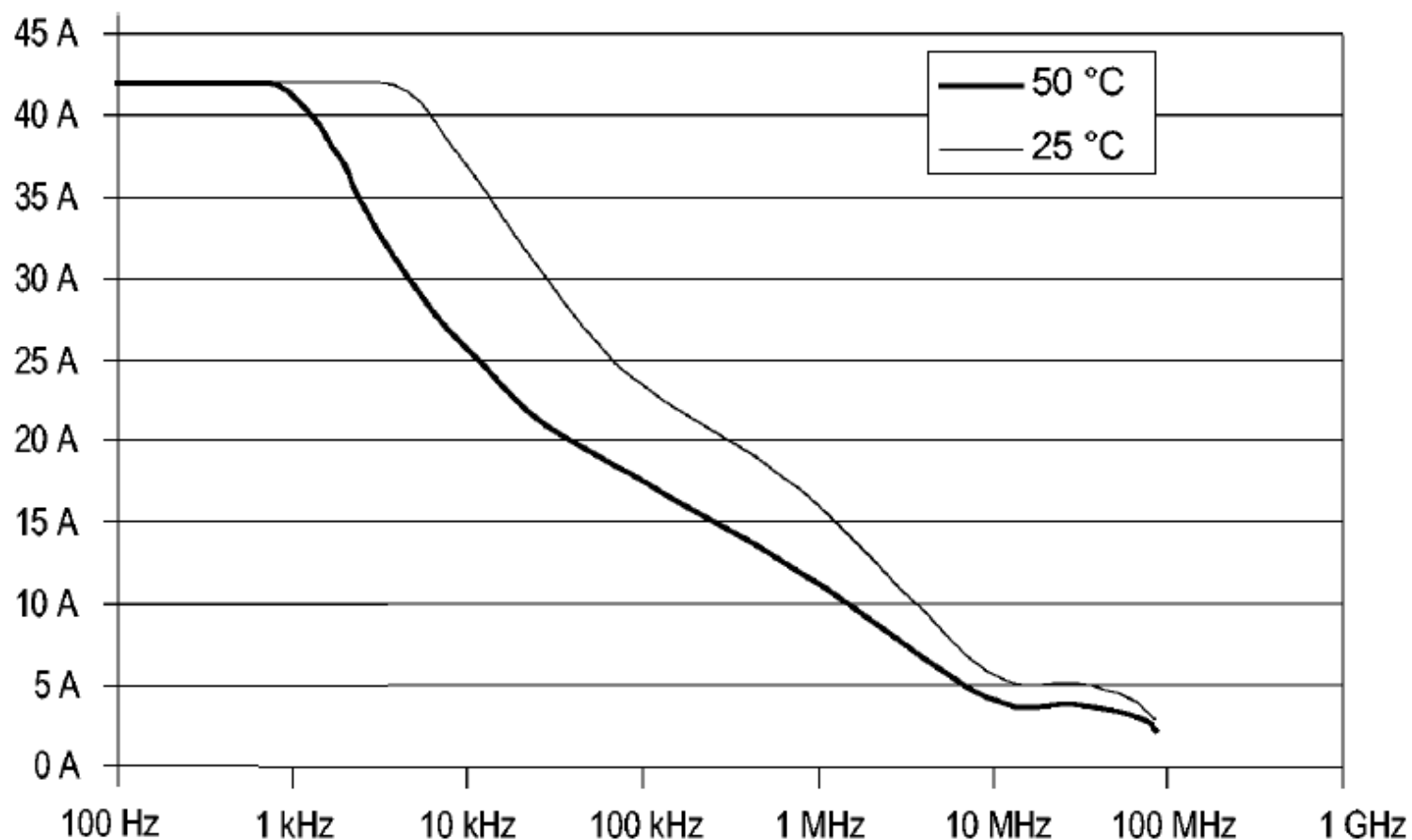
パラメータ	設置プローブ			
	TCP312	TCP305	TCP303	TCP404XL
範囲、公称	1A/V、 10A/V	5A/V、 10A/V	5A/V、 50A/V	1A/mV
最大電流積 (周波数低下については、図 4-2 ～図 4-5 を参照)	1A/V - 50A* μ s 10A/V - 500A* μ s	5A/V - 500A* μ s 10A/V - NA	5A/V - 3000A* μ s 50A/V - 15000A* μ s	なし
電流転送率	1 V/Amp および 100 mV/Amp	200 mV/Amp および 100 mV/Amp	200 mV/Amp および 20 mV/Amp	1 mV/Amp
設定範囲での最大電流定格				
高電流設定範囲	10A/V の範囲	10A/V の範囲	50A/V の範囲	1A/mV の範囲
DC (連続)	30A	50A	150A	500A
DC (非連続)	該当なし	該当なし	該当なし	750A
RMS (正弦波)	21A	35A	150A	500A
ピーク・パルス	50A	50A	500A	750A

電流プローブの測定限界(電流時間積)



電流プローブのディレーティング・カーブ

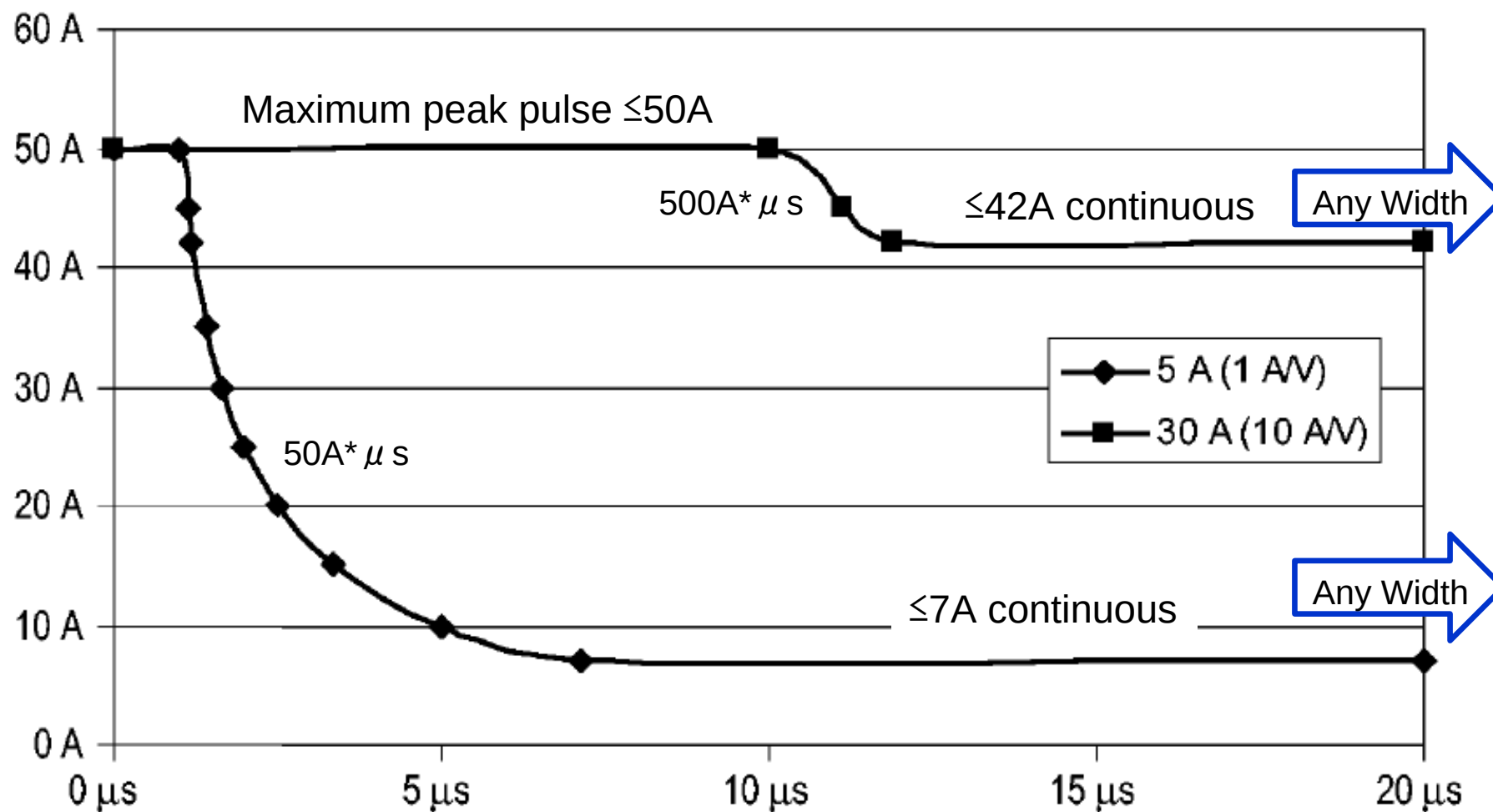
- 周波数が高くなると測定可能電流は小さくなる



TCP0030型のディレーティング・カーブ

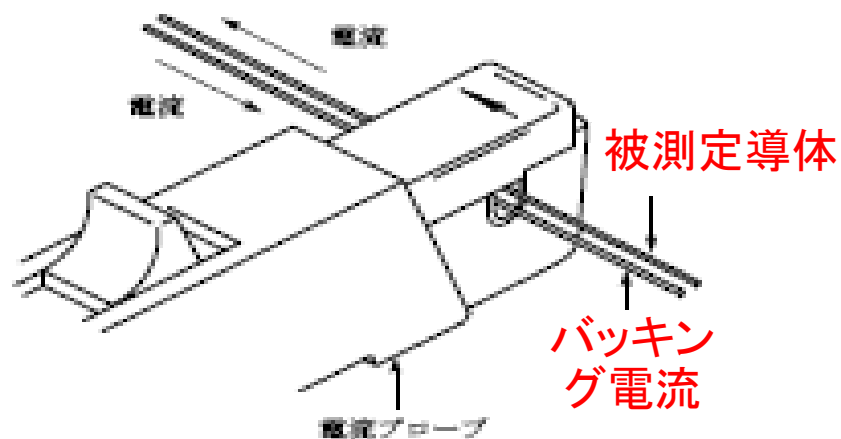
電流プローブの測定限界 ～ パルス幅とピーク電流

TCP0030型の最大パルス電流とパルス幅

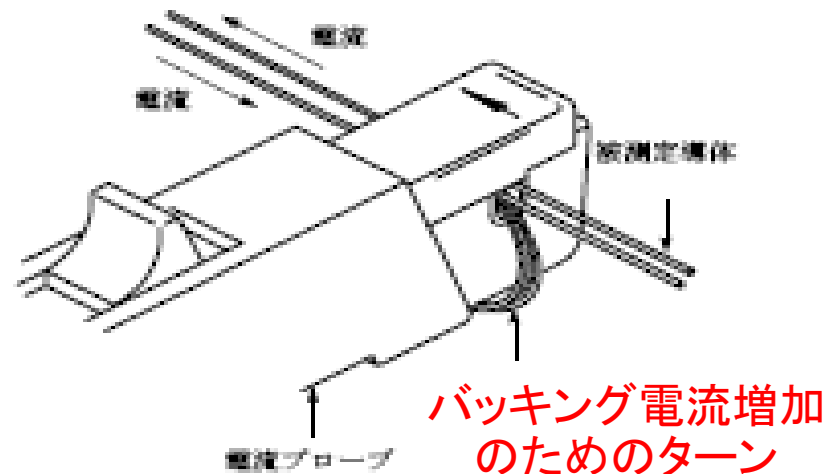


応用測定

■ DC範囲の拡大



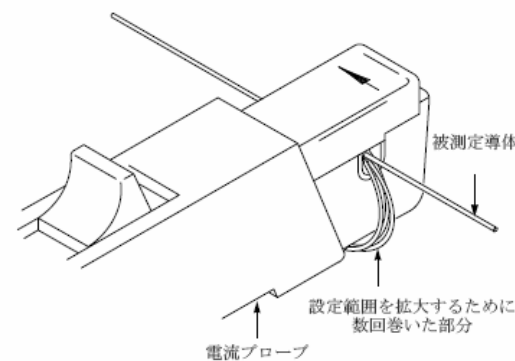
(1) オフセット(バックング)電流の追加



(2) オフセット電流の拡大

■ 感度の拡大

- Nターンすれば感度はN倍
- 挿入損失と周波数帯域に注意
- 約20nH／インチ



感度を拡大するためのターン

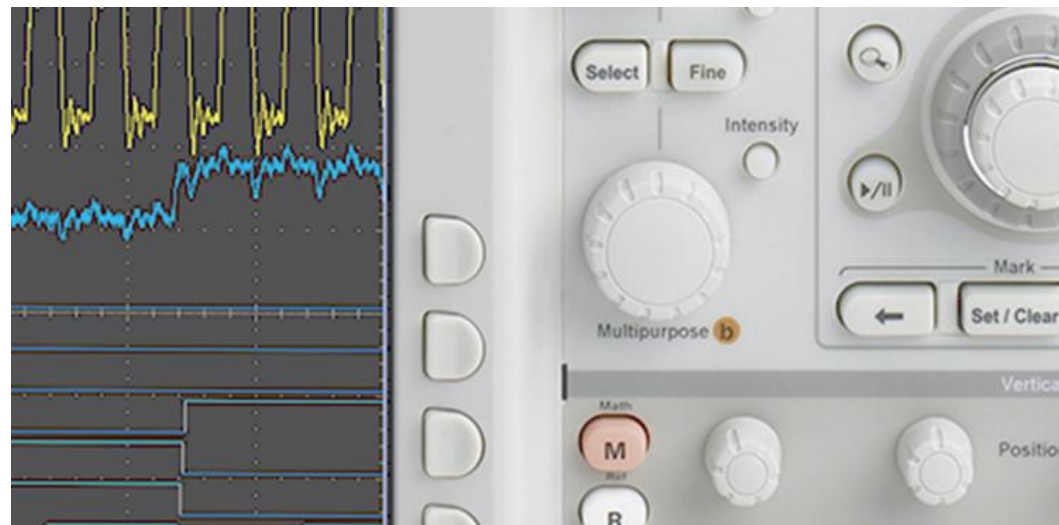
応用測定

- 外来ノイズの影響の低減
 - 同じ型名の電流プローブを2本使用する
 - 1本はch1に接続し、通常通りプロービング
 - 残りの1本はch2に接続し、被測定導体を通さないで1本目のプローブの近傍に置き、外来ノイズのみをピックアップする
 - Ch1ーCh2により外来ノイズの影響を低減
- 寄生インダクタンスの影響低減
 - トランスやチョーク・コイルが接続されている側のMOSFETやIGBTのリードを延長してクランプ

Tektronixのパワー解析用プローブの特長

- 高電圧差動プローブも電流プローブもプローブ倍率を自動識別
 - オシロスコープに装着するだけで自動識別、適正な単位表示
 - 測定ミスを防止でき、安全で確実な測定が可能
 - 微小電流用から大電流用までTCPシリーズは全て自動識別可能
- 充実した新高電圧プローブ/高電圧差動プローブ
 - 業界唯一2.5kV 500MHzのP5100A型、2.5kV 800MHzのTPP0850型
 - 高CMRR、1300V、100MHzのP5205A型など
- リップル測定に最適な高感度受動プローブTPP0502型
- 微小電流から大電流まで、1本で広いダイナミック・レンジをカバー
 - 確度の高い測定が可能
 - TCP0030型:1mA/div ~ TCP0150型:5mA/div ~
 - 大電流プローブもアンプ内蔵でコンパクトなため、持ち運びが容易(TCP0150型)

ありがとうございました。



本テキストの無断複製・転載を禁じますテクトロニクス社 Copyright Tektronix



Twitter

[@tektronix_jp](https://twitter.com/tektronix_jp)



Facebook

<http://www.facebook.com/tektronix.jp>