

# E-4

## 高効率スイッチング電源の評価技術



テクトロニクス/ケースレー  
イノベーション・フォーラム 2013

宮崎 強

**Tektronix**<sup>®</sup>

**KEITHLEY**  
A Tektronix Company

# 1. スイッチング電源回路に対する要求と測定項目

- 高効率化(電力変換効率の改善)
  - スイッチング・デバイス損失の低減
    - ・ スイッチング損失
    - ・ ON抵抗
  - 磁気部品損失の低減
    - ・ コア損失
    - ・ B-H解析など
  - システム効率向上
- 高信頼性
  - 安全動作領域(SOA)の確認、B-H解析
  - 電圧、電流トランジェント応答
- 負荷変動応答性
  - 制御ループの高速応答
  - PWM制御(変調解析)
- 低ノイズ、耐ノイズ化
  - 電流高調波、リップル、電力品質、周波数解析、EMI

# 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

デバイスの静特性



パラメトリック・カーブトレーサ

高確度入力/出力電力、効率測定、  
電流高調波、電力品質測定

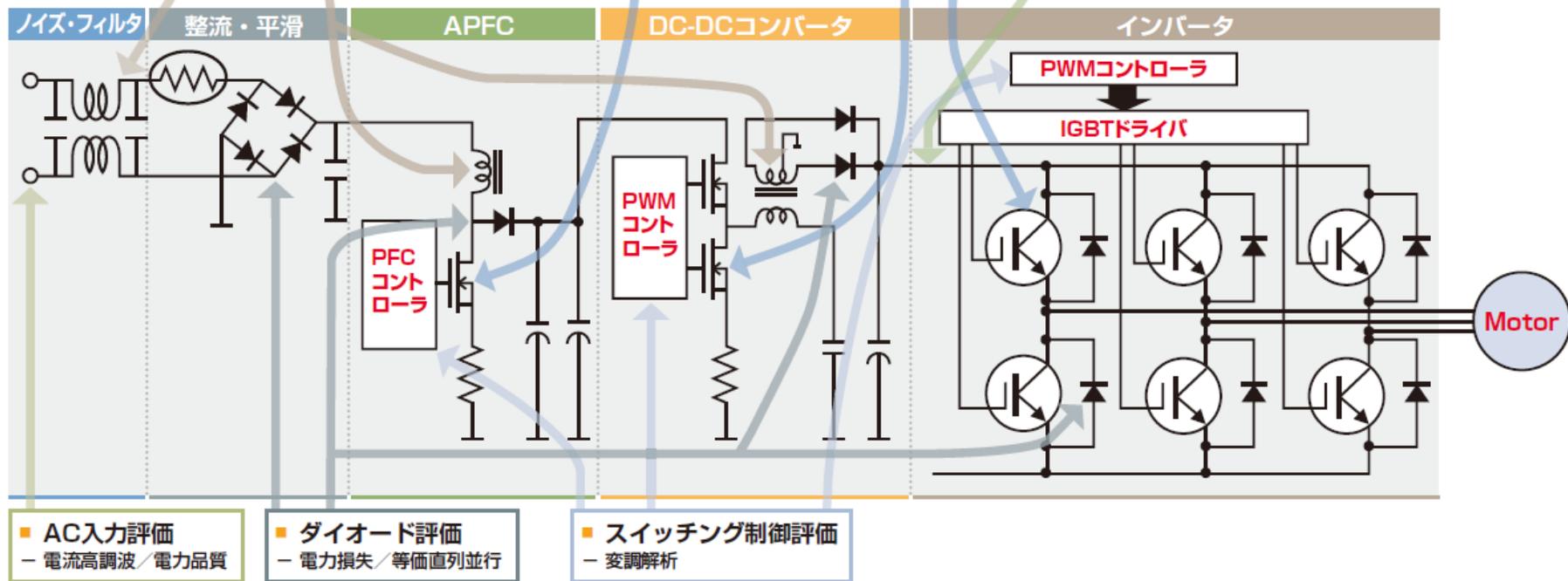


パワー・アナライザ

- 磁気コンポーネント評価  
- インダクタンス/電力損失/B-Hカーブ/磁気パラメータ

- スイッチング・デバイス評価  
- スイッチング損失/導通損失/安全動作領域 (SOA)

- DC出力評価  
- リップル/ターン・オン・タイム



- AC入力評価  
- 電流高調波/電力品質

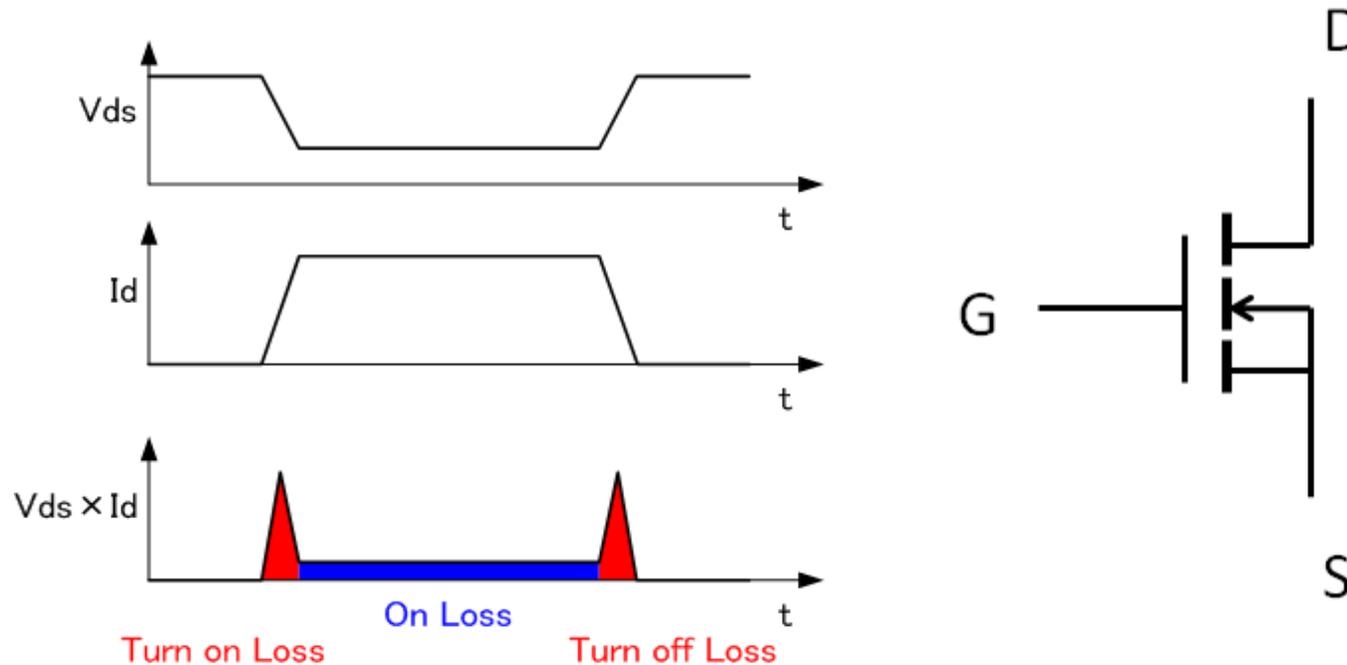
- ダイオード評価  
- 電力損失/等価直列並行

- スイッチング制御評価  
- 変調解析

# スイッチング・デバイスの評価(1)

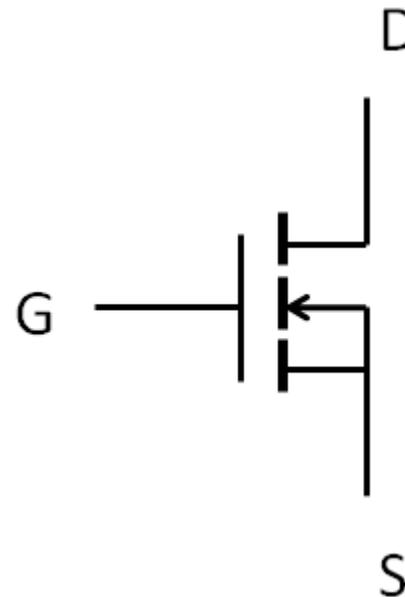
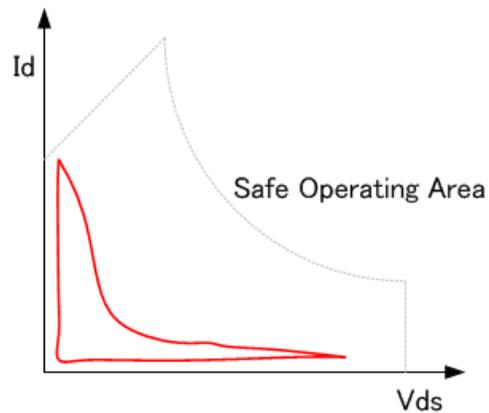
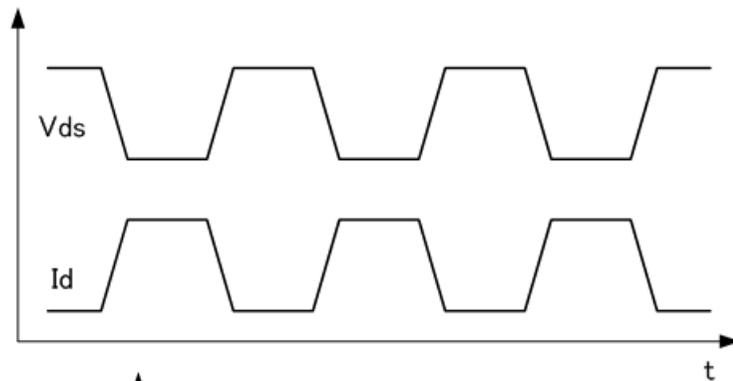
## スイッチング損失

- 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



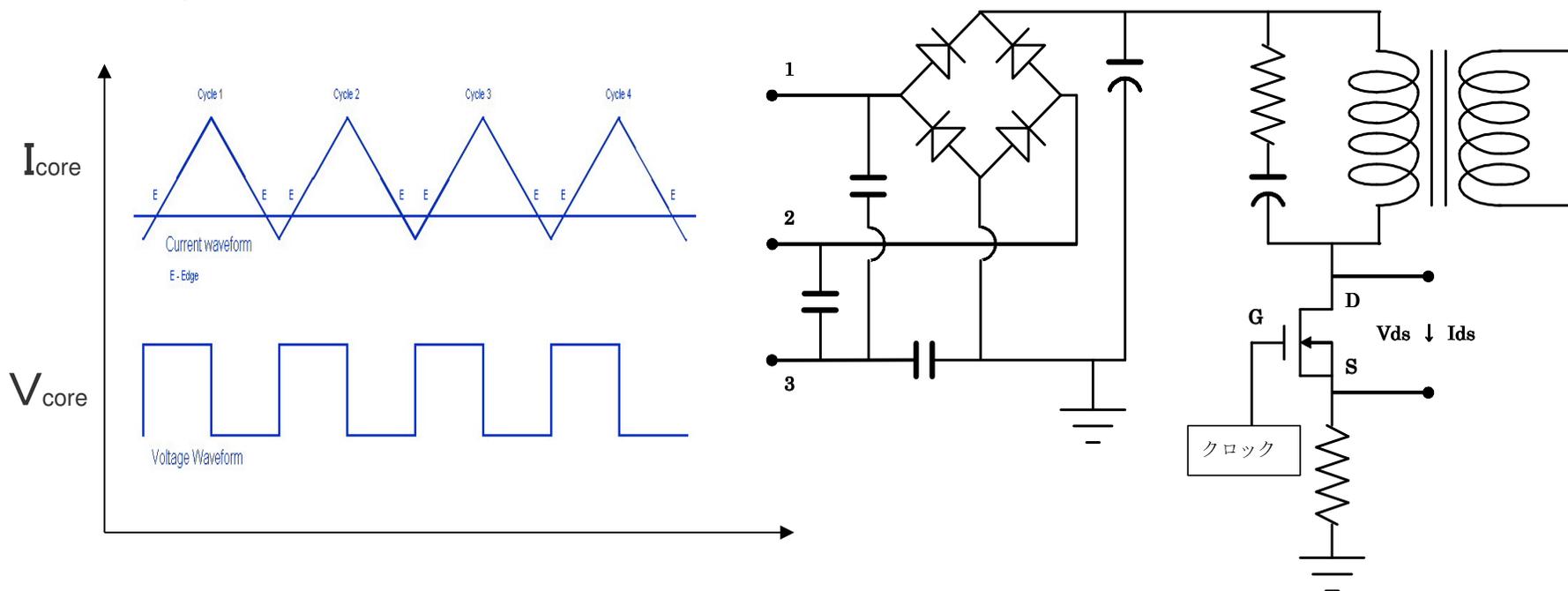
## スイッチング・デバイスの評価(2)

- 安全動作領域(SOA)の評価
  - ドレイン・ソース間電圧、電流をX-Y軸にプロット



# トランス／コアの評価(1)

- トランス／コアによる電力損失の評価
- スイッチング損失、コア損失を含むトータル損失の評価
- インダクタンス値の測定
  - インダクタンス値は駆動電圧、電流、周波数、波形形状に応じて変化する

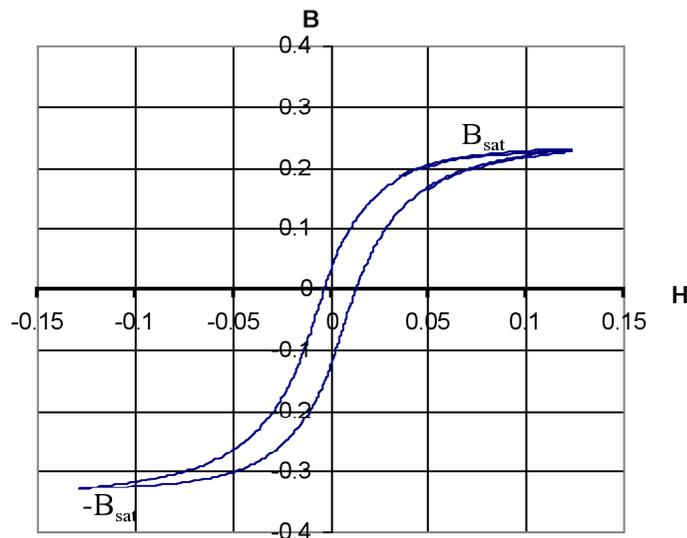


## トランス／コアの評価(2)

### ■ B-H特性の解析

#### － 磁界強度Hと磁束密度Bによる磁化曲線の解析

- B(磁束密度) : コイル両端電圧の積分値に比例
- H(磁界) : コイル電流に比例
- $\mu$ (透磁率) :  $B=\mu H$



$$B(t) = \frac{1}{nA} \int_0^t v(t) dt$$

$$H(t) = \frac{n}{l} i(t)$$

$n$ : 巻線数,  $A$ : コア断面積,  $l$ : 平均磁路長,

$v(t)$ : 巻線誘導電圧,  $i(t)$ : 巻線電流

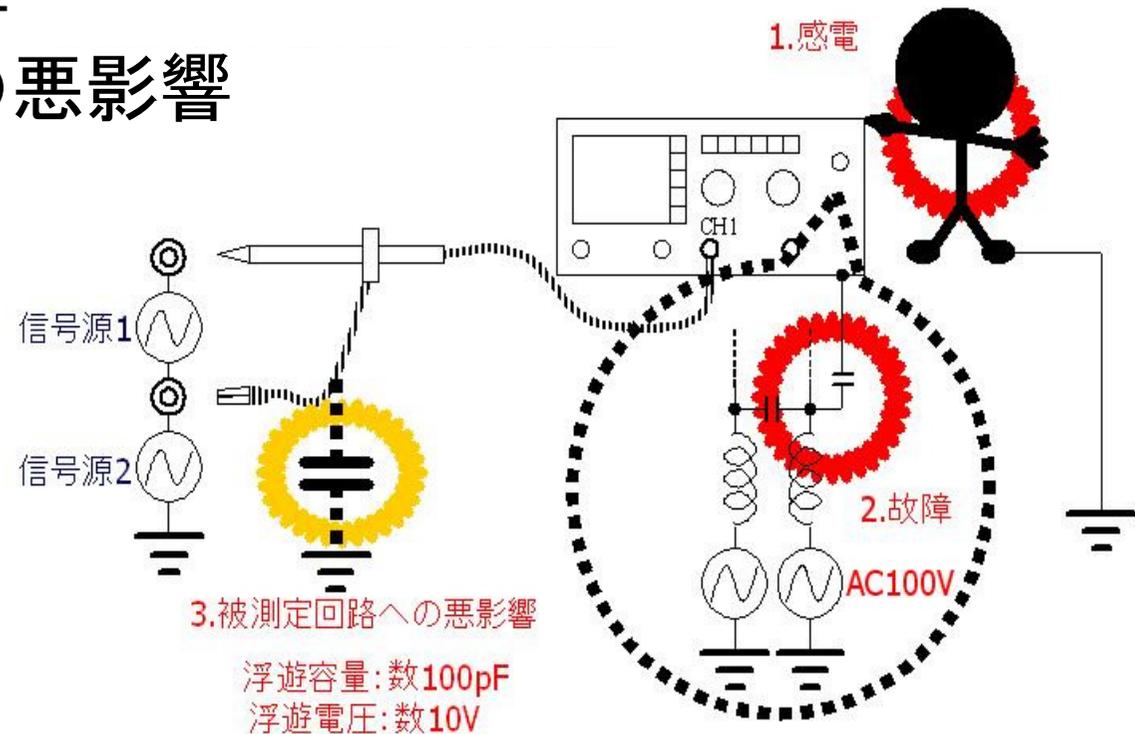
## 2. 測定上の課題と解決方法

### ①フローティング測定に関する注意事項

- 電源のグラウンドを外し、オシロスコープを浮かせた場合の3つの問題点
  - 感電
  - 電源回路の故障
  - 被測定回路への悪影響
    - 浮遊容量: 数百pF
    - 浮遊電圧: 数十V



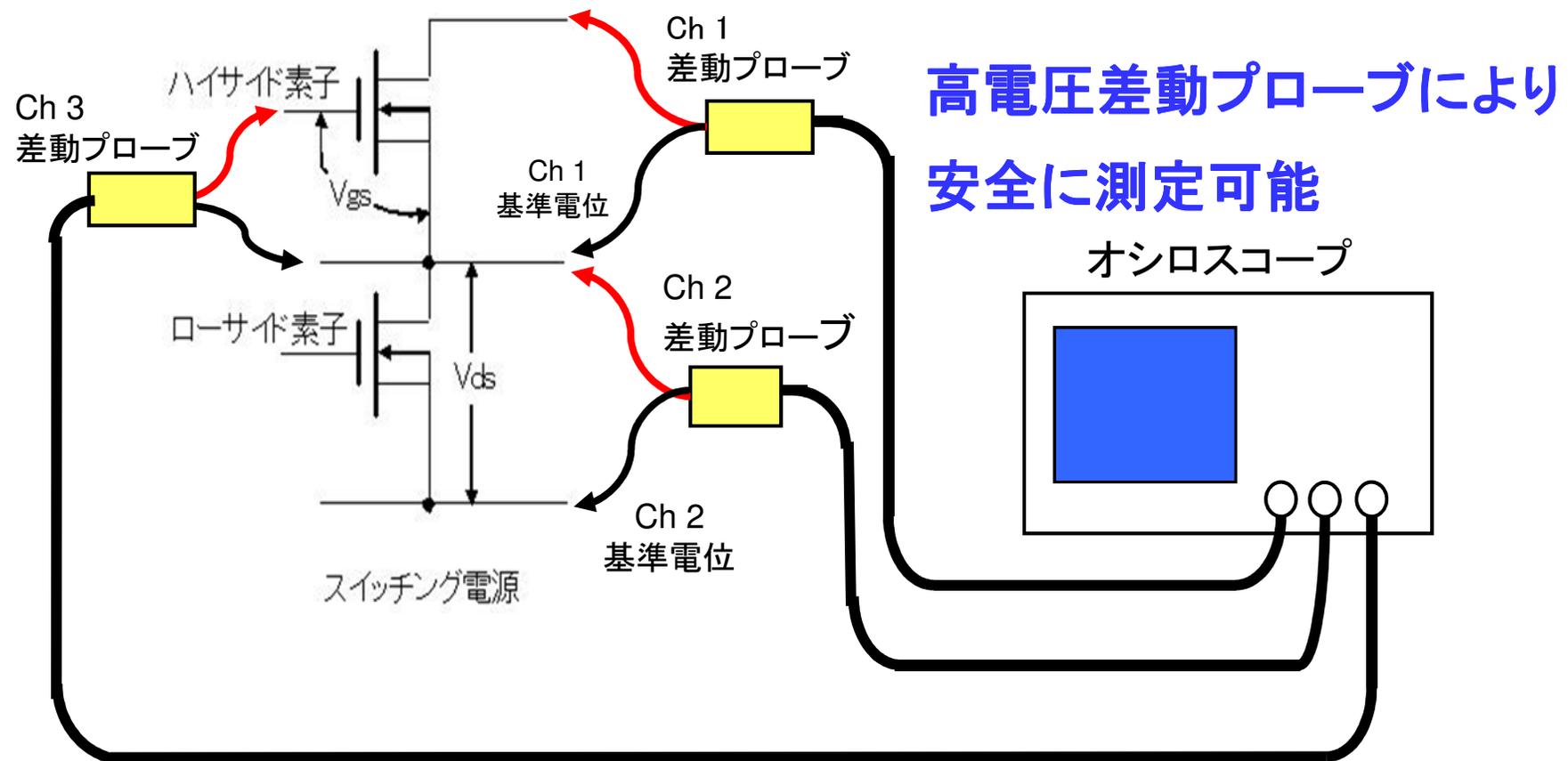
3-2アダプタ



筐体を浮かせることによる3つの問題点

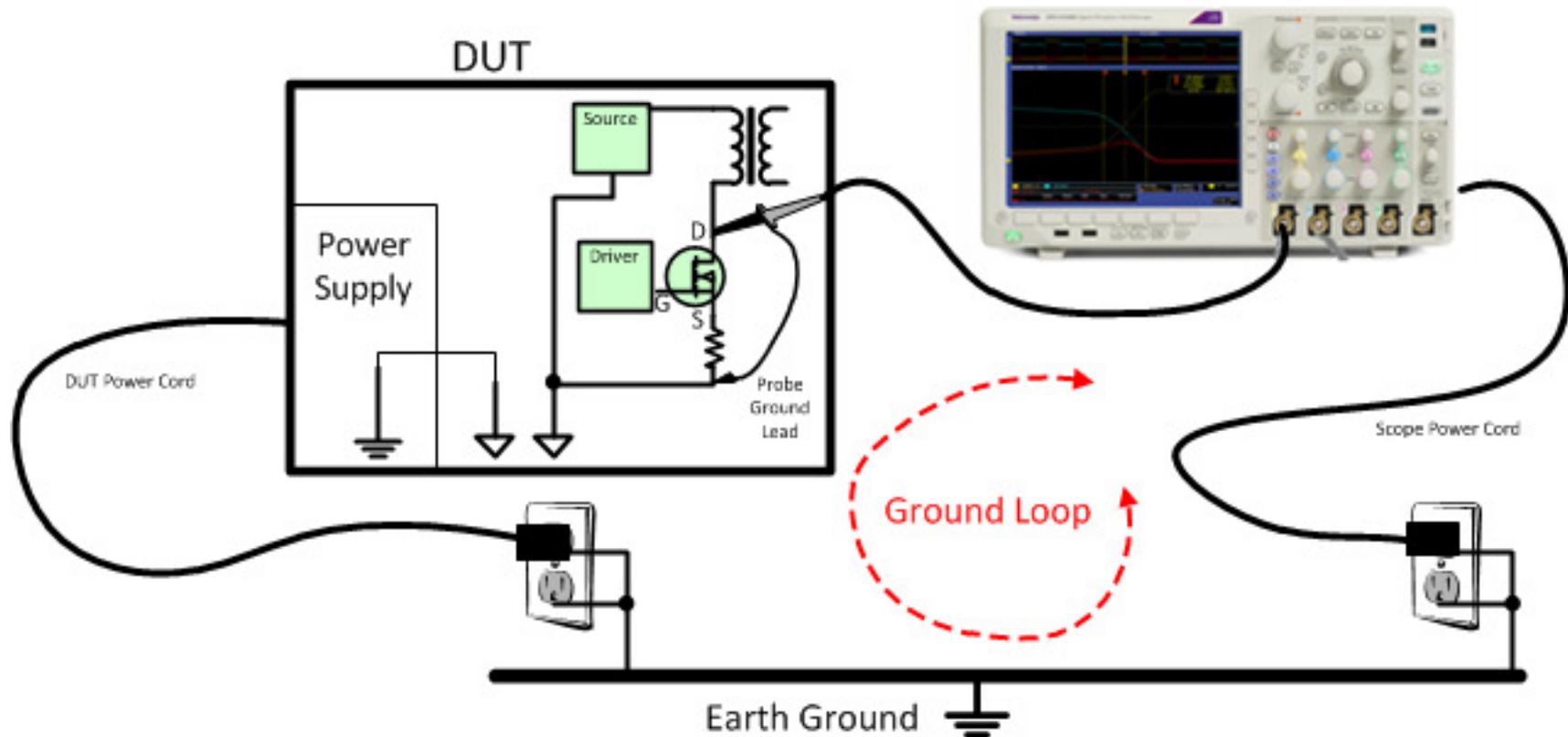
# 安全なフローティング測定の方法

- 高電圧差動プローブによるフローティング測定



## グラウンドはどのような時にグラウンドでなくなるのか？

- グラウンド・ループがプローブによって形成される場合あり
- オシロとDUTのシャーシは通常はアース・グラウンドに接続
- プローブのグラウンドはBNCコネクタでオシロのシャーシに接続



# 広帯域高電圧差動プローブの新製品



	TMDP0200型	THDP0200型	THDP0100型
減衰比	25X/250X	50X/500X	100X/1000X
最大差動入力電圧	250X: +/- 750 V 25X: +/- 75V	500X: +/- 1500 V 50X: +/- 150 V	1000X: +/- 6000 V 100X: +/- 600 V
最大コモン・モード電圧	+/- 750 V	+/- 1500 V	+/- 6000 V
最大対地入力電圧	550 V CAT I 300 V CAT III	1000 V CAT II 600 V CAT III	2300 V CAT I 1000 V CAT III
周波数帯域	200 MHz	200 MHz	100 MHz
立ち上り時間	< 1.8 ns	< 1.8 ns	< 3.5 ns
スルー・レート	< 275 V/ns @ 1/250 gain	< 650 V/ns @ 1/500 gain	< 2500 V/ns @ 1/1000 gain
入カインピーダンス	5 MΩ    < 2 pF	10 MΩ    < 2 pF	40 MΩ    < 2.5 pF
ゲイン確度	+/- 2%	+/- 2%	+/- 2%
CMRR (同相モード除去比)	DC: > - 80 dB 100kHz: > - 60 dB 3.2 MHz: > - 30 dB 100 MHz: > - 26 dB	DC: > - 80 dB 100kHz: > - 60 dB 3.2 MHz: > - 30 dB 100 MHz: > - 26 dB	DC: > - 80 dB 100kHz: > - 60 dB 3.2 MHz: > - 30 dB 100 MHz: > - 26 dB
ケーブル長	1.5 m	1.5 m	1.5 m
コネクタ	TekVPI	TekVPI	TekVPI

- ・周波数帯域が従来品の2倍
- ・SiC、GaNデバイス使用回路を高確度測定



# 1GHz／500MHz高電圧差動プローブ

	TDP1000型	TDP0500型	P6251型
減衰比	5X/50X	5X/50X	5X/50X
最大差動入力電圧	50X: +/- 42 V (30Vrms) 5X: +/- 4.25V (3Vrms)	50X: +/- 42 V (30Vrms) 5X: +/- 4.25V (3Vrms)	50X: +/- 42 V (30Vrms) 5X: +/- 4.25V (3Vrms)
最大コモン・モード電圧	+/- 35 V (25Vrms)	+/- 35 V (25Vrms)	+/- 35 V (25Vrms)
最大対地入力電圧	コモン電圧が +/- 35 V の範囲内で 50X: +/- 42 V 5X: +/- 39.25V (DC+Peak AC)	コモン電圧が +/- 35 V の範囲内で 50X: +/- 42 V 5X: +/- 39.25V (DC+Peak AC)	コモン電圧が +/- 35 V の範囲内で 50X: +/- 42 V 5X: +/- 39.25V (DC+Peak AC)
周波数帯域	1GHz	500MHz	1GHz
立ち上り時間	< 350ps	< 700ps	< 350ps
DCオフセット設定範囲	+/- 42 V	+/- 42 V	+/- 42 V
入力インピーダンス	1 MΩ    < 1 pF	1 MΩ    < 1 pF	1 MΩ    < 1 pF
ゲイン確度	+/- 2%	+/- 2%	+/- 2%
CMRR (同相モード除去比)	>- 55 dB at 30 kHz >- 50 dB at 1 MHz >- 18 dB at 250 MHz	>- 55 dB at 30 kHz >- 50 dB at 1 MHz >- 18 dB at 250 MHz	>- 55 dB at 30 kHz >- 50 dB at 1 MHz >- 18 dB at 250 MHz
ケーブル長	1.5 m	1.5 m	1.5 m
コネクタ	TekVPI	TekVPI	TekProbe BNC (Level2)



## 高電圧差動プローブの0V調整

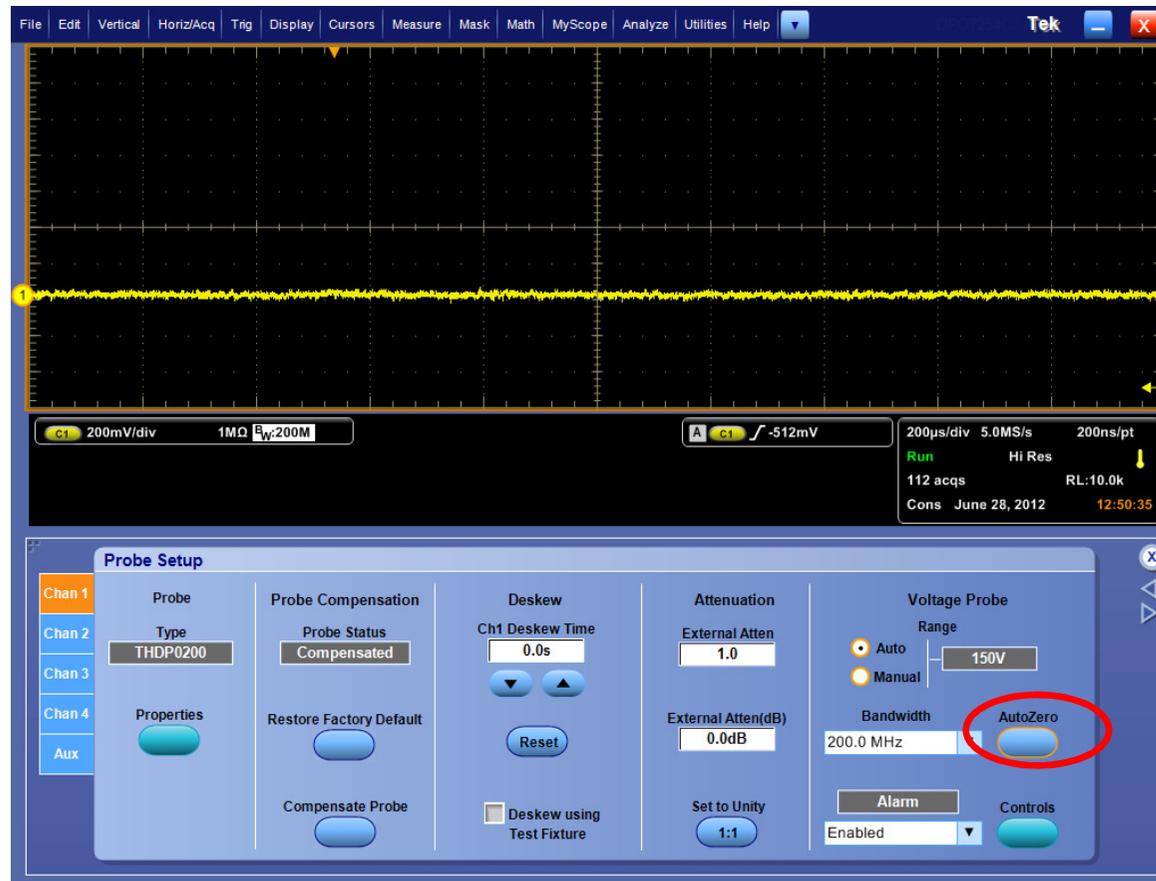
- 高電圧差動プローブのゼロ調整手順
  - プローブのプラス入力とマイナス入力を接続(ショートさせる)
  - 調整用ドライバ(マイナス)を使用し、波形の平均値がほぼ0Vになるように調整



P5205A型 高電圧差動プローブ

THDP0200型、THDP0100型の場合は  
オシロスコープの垂直軸メニューの  
プローブ設定 > 自動ゼロで自動調整  
を実行

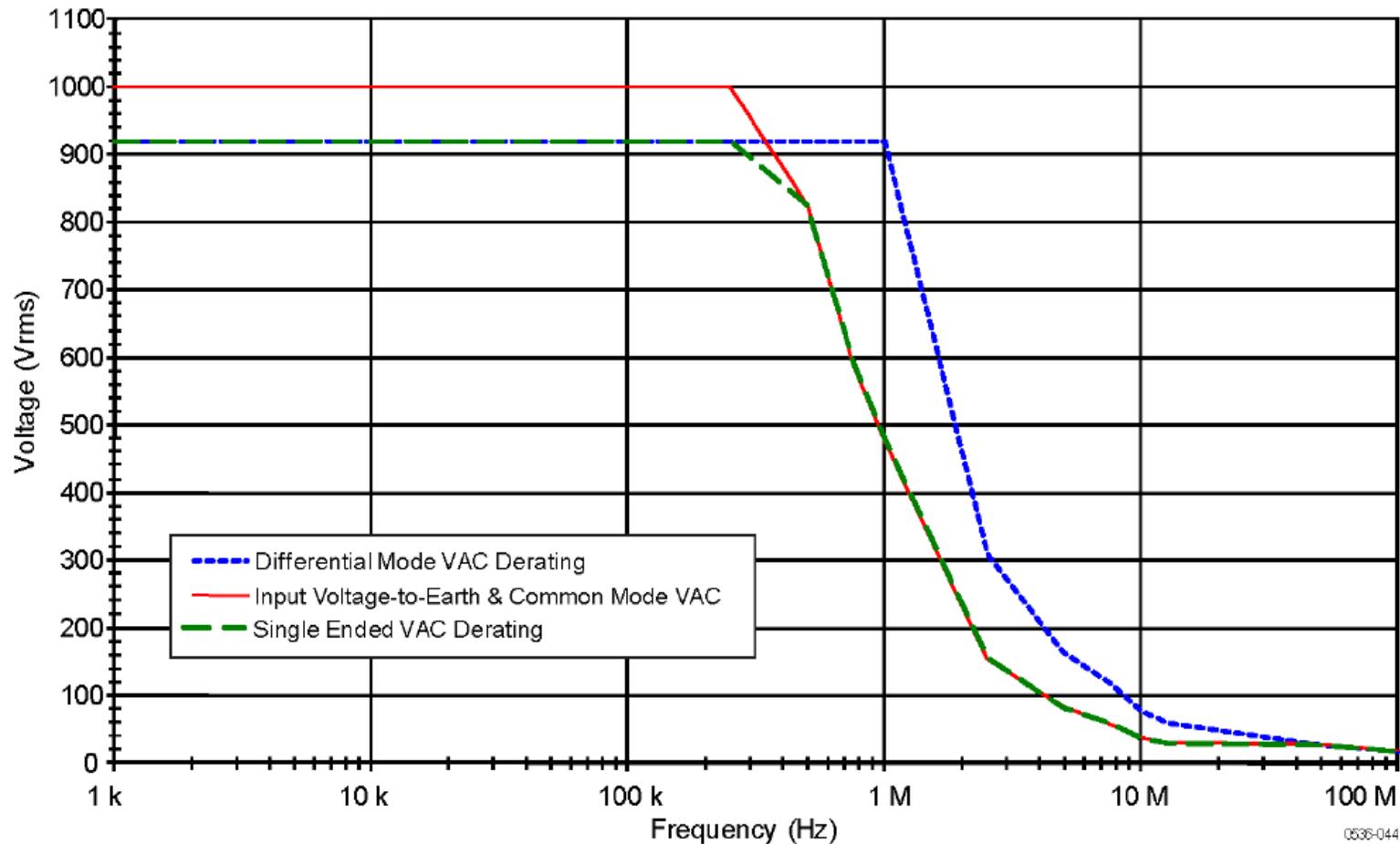
# THDP0200型の0V調整



- ① プローブのプラス入力とマイナス入力を短絡
- ② VerticalメニューのProbe Calを選択し、AutoZeroを実行

# 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



P5205A型の ディレーティング・カーブ

# 高電圧プローブ(シングルエンド)

	P5100A型	TPP0850型	P6015A型	P5122型	TPP0502型 (高感度・広帯域)
減衰比	100X	50X	1000X	100X	2X
最大入力電圧	2.5kV (DC+Peak AC)	2.5kV (DC+Peak AC)	20kV (DC+Peak AC)	600 Vrms	300 Vrms
周波数帯域	500 MHz	800 MHz	75 MHz	200MHz	500 MHz
立ち上り時間	< 700 ps	< 525 ps	< 4.67 ns	< 2.2 ns	< 700 ps
入力インピーダンス	40 MΩ    < 1.5 pF	40 MΩ    < 1.5 pF	100 MΩ    < 3 pF	100 MΩ    < 4 pF	2 MΩ    < 12.7 pF
ケーブル長	2 m	1.3 m	3 m	1.2 m	1.3 m
コネクタ形状	TekProbe BNC (Level1)	TekVPI (ハード・キー付)	BNC または TekProbe BNC(Opt.1R)	BNC(TPS2000シ リーズ専用)	TekVPI (ハード・キー付)

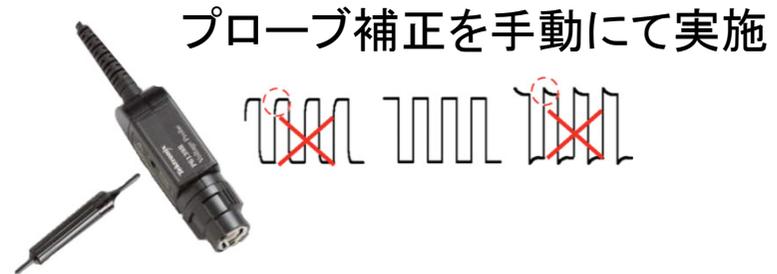
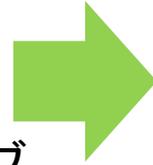
ハード・キー付きTekVPIは、MSO/DPO5000シリーズおよびMSO/DPO4000Bシリーズ、MDO4000シリーズ専用



# プローブ補正/プローブ校正 (1)

- プローブ補正の手動調整

P5100A型など  
従来からのパッシブプローブ

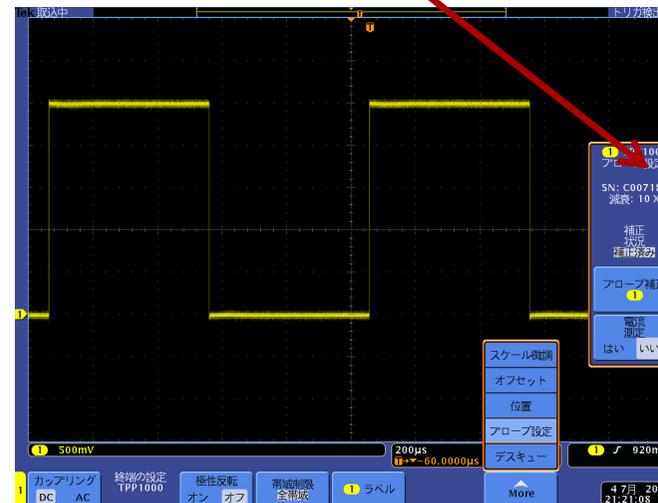


- プローブ補正の自動調整



TPP0850型/TPP1000型など  
DPO/MSO4000B/5000シリーズ用  
(オシロスコープ側での対応が必要)

プローブ補正の自動調整  
(オシロスコープに補正係数を記憶)



## プローブ補正/プローブ校正 (2)



▲写真2 プローブ補正の例

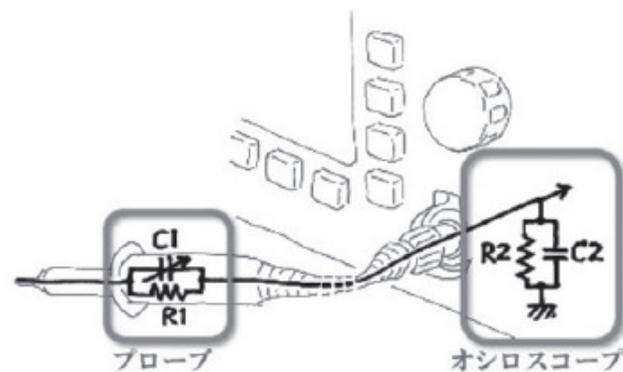


図5 受動プローブとオシロスコープの等価回路

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

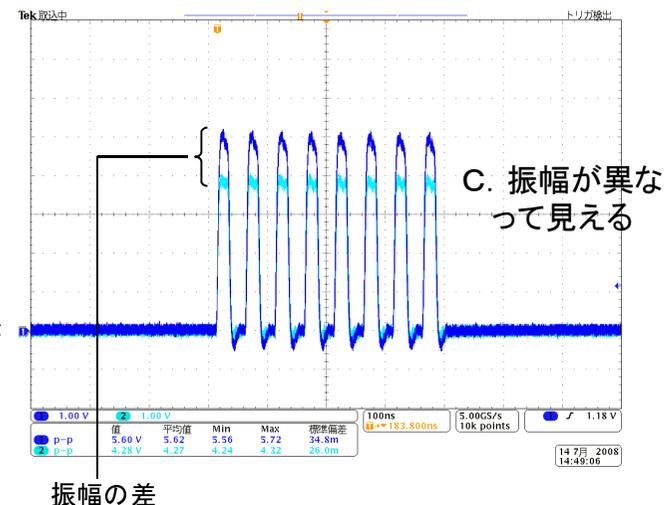
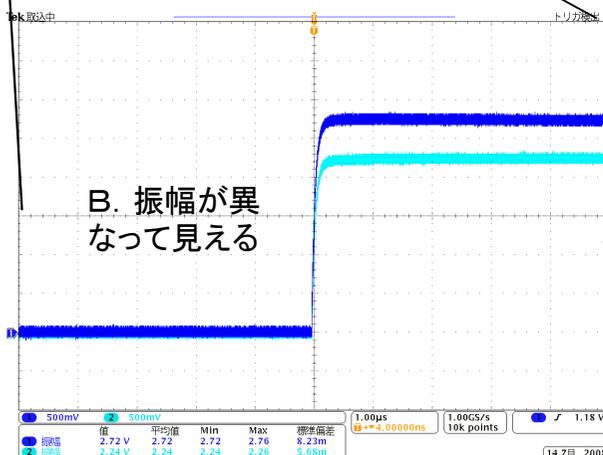
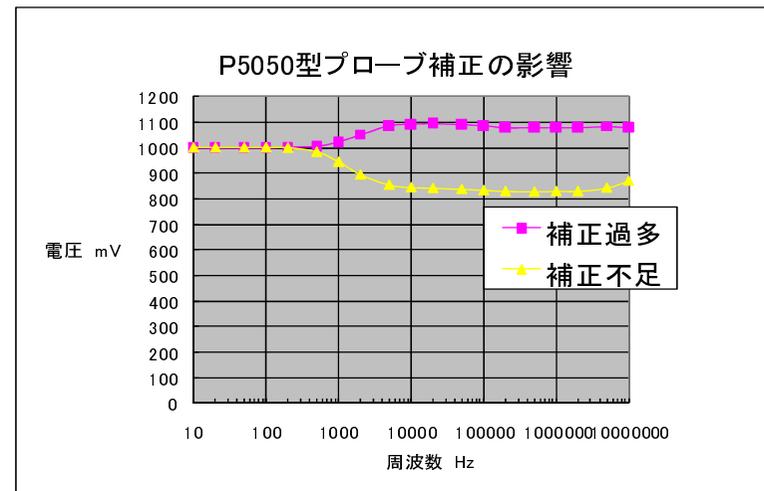
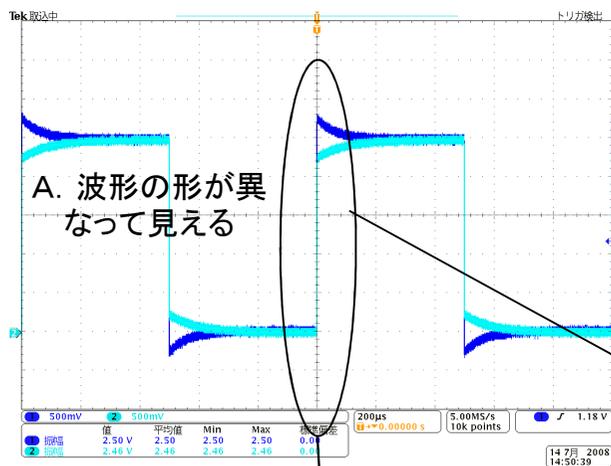
▲式1 平坦な周波数特性を得る条件

受動プローブとオシロスコープの等価回路

# プローブ補正/プローブ校正 (3)

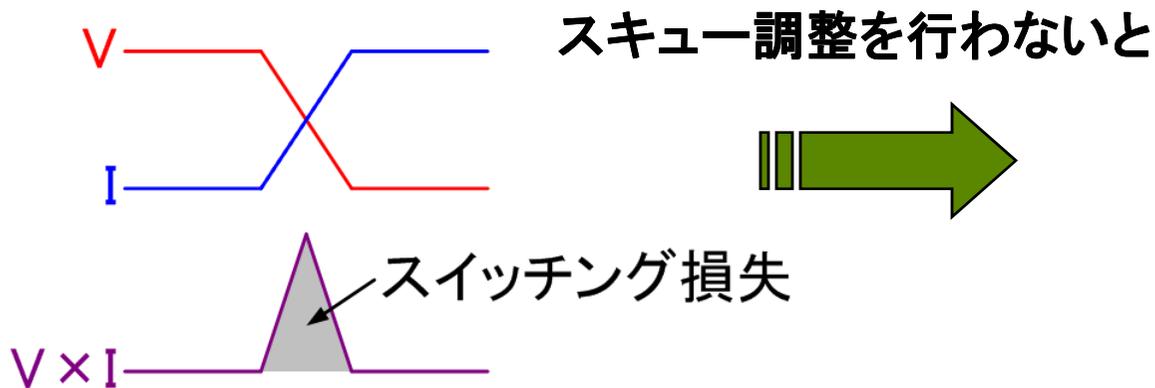
## プローブ補正はスイッチング損失測定に影響

- 受動プローブの補正がずれている場合の周波数特性
- 補正しないプローブによる誤差



## ② プローブ・デスキューの重要性

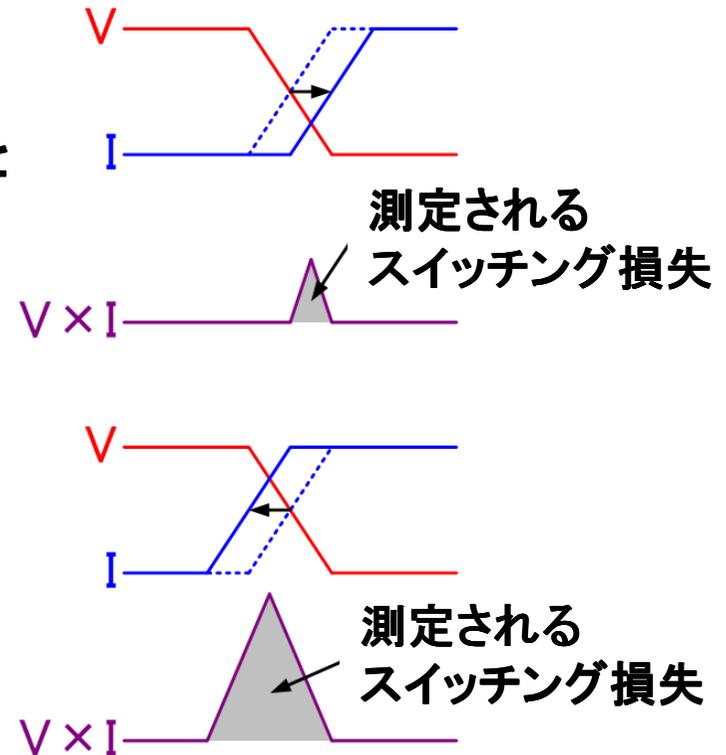
- プロブは時間的遅れをもっている
  - 各プローブに合わせたスキュー調整が必要(遅延差の補正)
  - 電流プローブと電圧プローブのデスキュー
  - 使用する倍率設定で調整



Tek-DPG型  
Deskew Pulse  
Generator



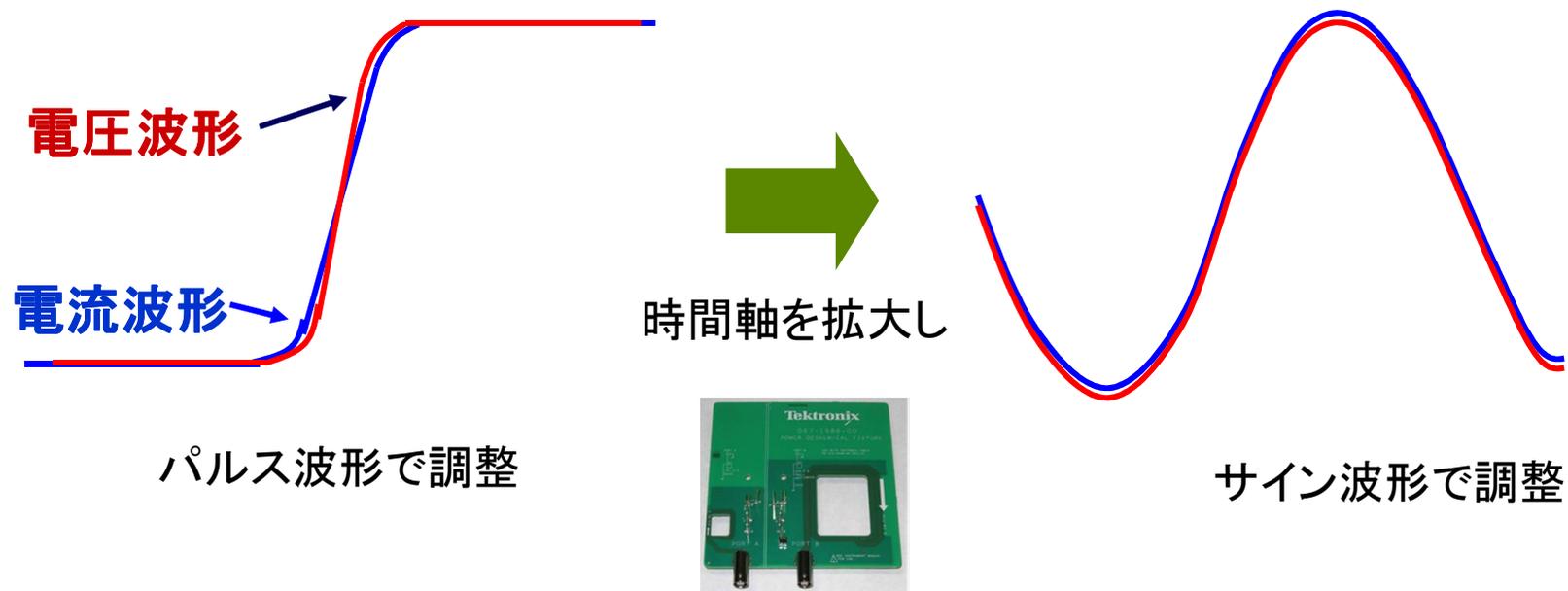
Deskew  
Fixture  
(067-1686-00)



## 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)



# 電流プローブの新製品



	TCP202A型	TCP0020型	TCP2020型
周波数帯域	DC~50 MHz	DC~50 MHz	DC~50 MHz
立ち上がり時間	≤7 ns	≤7 ns	≤7 ns
最大連続電流	15 A <sub>DC</sub> + Peak AC	20 A <sub>RMS</sub> (28 A <sub>peak</sub> )	20 A <sub>RMS</sub> (28 A <sub>peak</sub> )
最大ピーク・パルス電流	50 A (パルス幅 ≤ 10 μsの時)	100 A (パルス幅 ≤ 10 μsの時)	100 A (パルス幅 ≤ 10 μsの時)
最大感度 (オシロの設定が1 mV/divの時)	10 mA/div	10 mA/div	10 mA/div
裸線測定電圧	150 V CAT II	150 V CAT II	150 V CAT II
測定可能導体直径	5 mm	5 mm	5 mm
ケーブル長	2 m	2 m	2 m
DC ゲイン確度	< 1% (標準値) < 3% (全レンジでの保証)	< 1% (標準値) < 3% (全レンジでの保証)	< 1% (標準値) < 3% (全レンジでの保証)
コネクタ形状	TekProbe BNC (Level2)	TekVPI	BNC (外部電源アダプタ付属)



# 電流プローブ



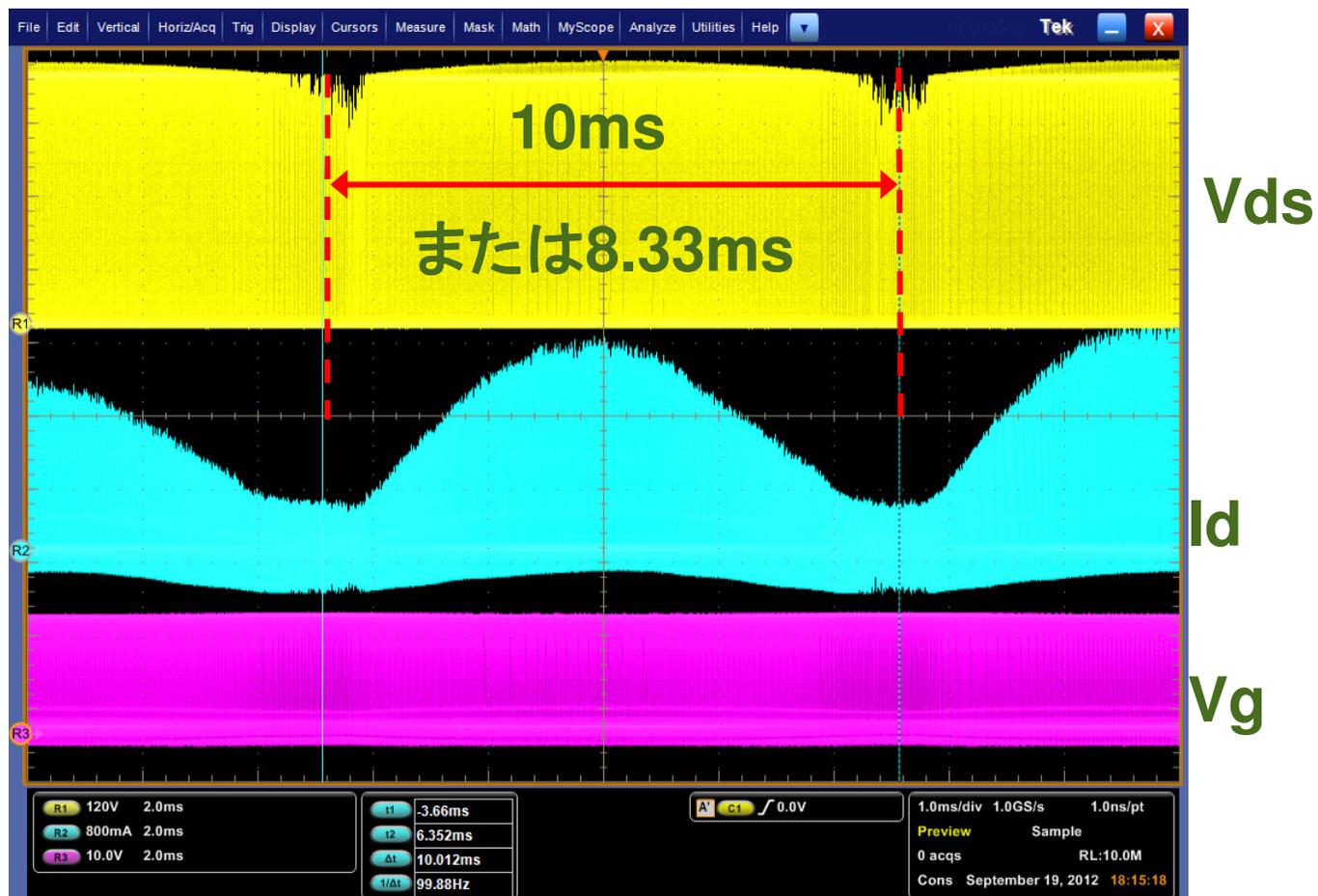
	TCP0030A型	TCP0150型	TCP404XL型
周波数帯域	DC~120 MHz	DC~20 MHz	DC~2 MHz
立ち上り時間	≤2.92 ns	≤17.5 ns	≤175 ns
最大測定可能連続電流	30 A <sub>RMS</sub> @ 30Aレンジ 5 A <sub>RMS</sub> @ 5Aレンジ	150 A <sub>RMS</sub> @ 150Aレンジ 25 A <sub>RMS</sub> @ 25Aレンジ	500 A <sub>RMS</sub> (非連続: 750 A <sub>DC</sub> )
最大ピーク・パルス電流	50 A @ 30Aレンジ	500 A @ 150Aレンジ	750 A
最大電流時間積	500Aμs @ 30Aレンジ	15000Aμs @ 150Aレンジ	規定なし
最大感度 (オシロの設定が1 mV/divの時)	1 mA/div	5 mA/div	1A/div
測定可能導体直径	5 mm	21mm × 25 mm	21mm × 25 mm
ケーブル長	2 m	2 m	8 m
DC ゲイン確度	< 1% (標準値) < 3% (全レンジでの保証)	< 1% (標準値) < 3% (全レンジでの保証)	< 1% (標準値) < 3% (全レンジでの保証)
コネクタ形状	TekVPI	TekVPI	TCPA400型が必要 TekProbe BNC(Level2) またはBNC

他にもTCP300シリーズやA622型もあります。



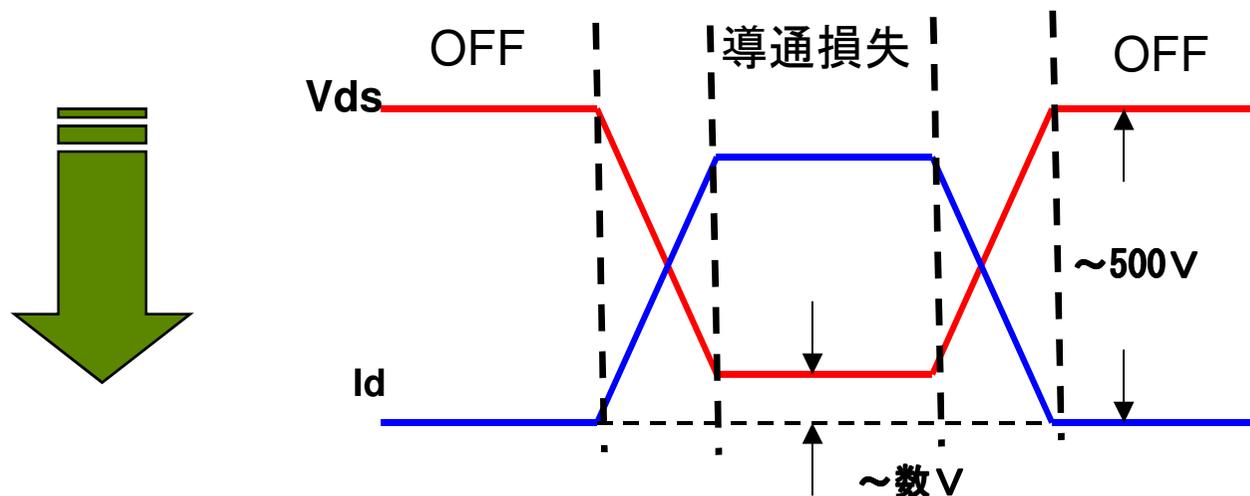
### ③ PFC付きスイッチング電源評価

- 高速サンプル・レートとロング・レコード長が必要
  - 商用電源周期分の波形データの捕捉と解析



## ④ 垂直軸分解能の向上

- いかにして測定精度を上げていくか？
- スイッチング損失と導通損失の同時測定
  - オシロスコープ：8ビット(256分解能)
  - 0～500V：約2V分解能



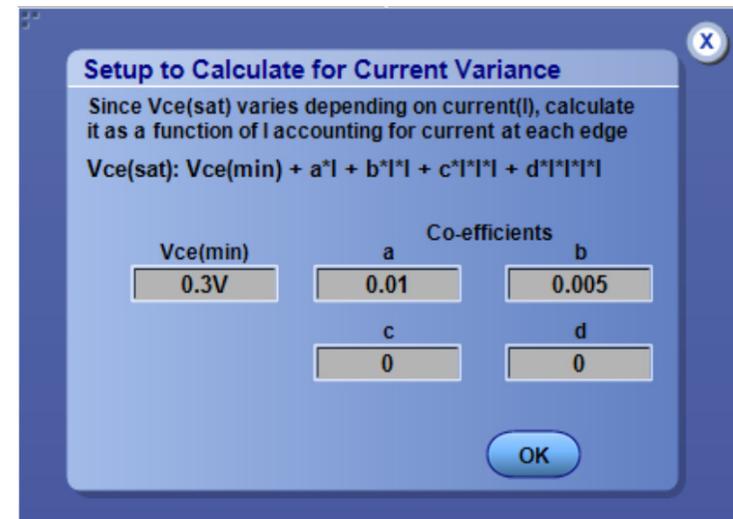
- ON抵抗 ( $R_{ds}$ ) より  $I_d^2 \times R_{ds}$  にて測定
- IGBTでは  $V_{ce-sat}$  を一定値として使用

# 電流の関数式により、12ビット分解能を超えた測定

## VCE(sat)、RDS(on)を電流の関数式で定義 (DPOPWR)

SiC、GaNを使用した高効率回路の電力損失測定

- 12ビットでも導通損失は測定できない⇒DPOPWRで高確度測定
  - VCE(sat)を最高4次の電流関数式で定義
$$VCE(sat) = VCE(min) + a \times I + b \times I^2 + c \times I^3 + d \times I^4$$
  - 導通損失 = 電流 × VCE(sat) または (電流)<sup>2</sup> × (RDS(on))



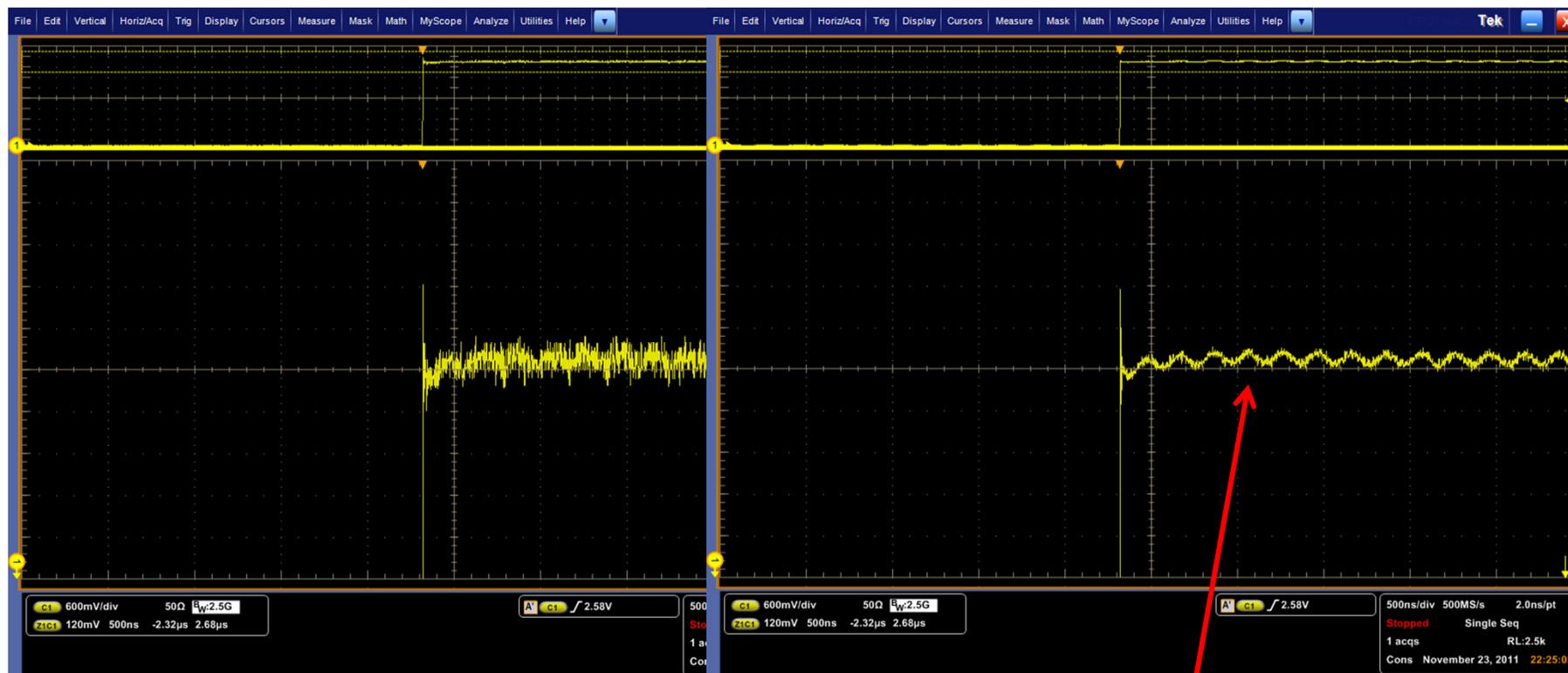
Turn on、Turn off、  
Total Avg損失を自動測定

## ハイレゾ・モードによる垂直軸分解能の向上

- ノイズに埋もれていた成分も測定可能

サンプル・モード

ハイレゾ・モード



ホワイト・ノイズに埋もれていた成分も測定可能

## 参考：オシロの取込みモード

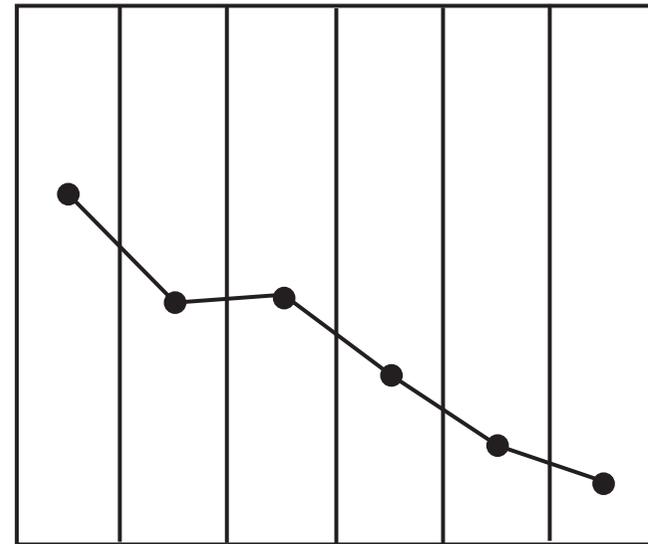
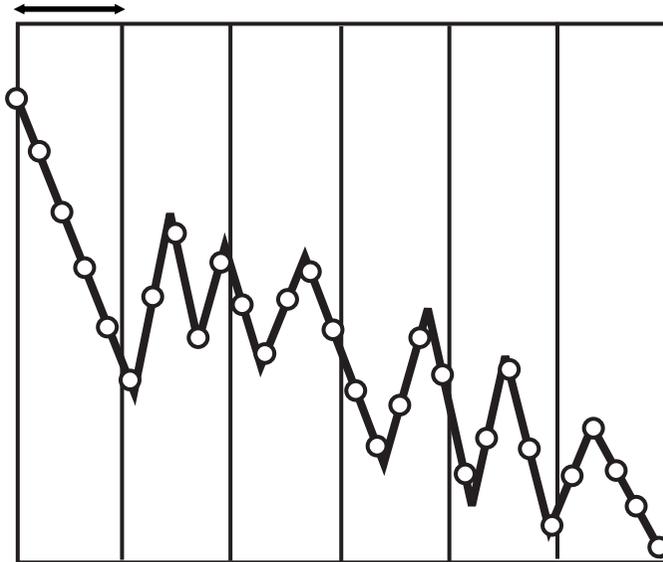
### ハイレゾ・モードはどのような処理をしているの？

#### ● 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

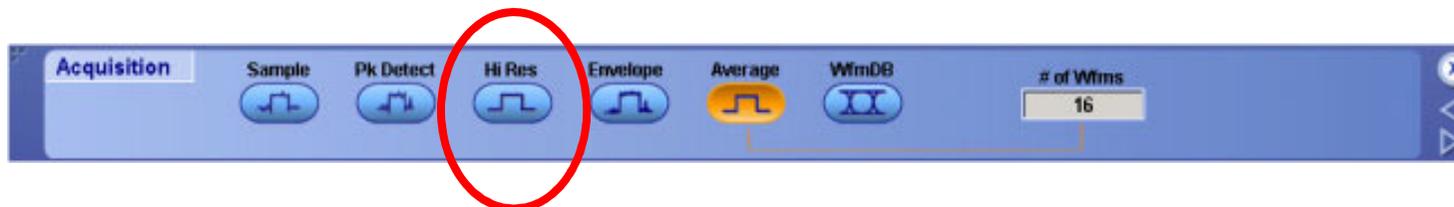
- SOA解析、磁気コンポーネント測定、スイッチング損失測定に効果的
- 処理結果を直接メモリに保存するため、レコード長を有効使用
- 1sec/divなどの遅い時間軸、ロール・モードでも使用可能

## 参考：ハイレゾ・モードによる垂直軸分解能の向上

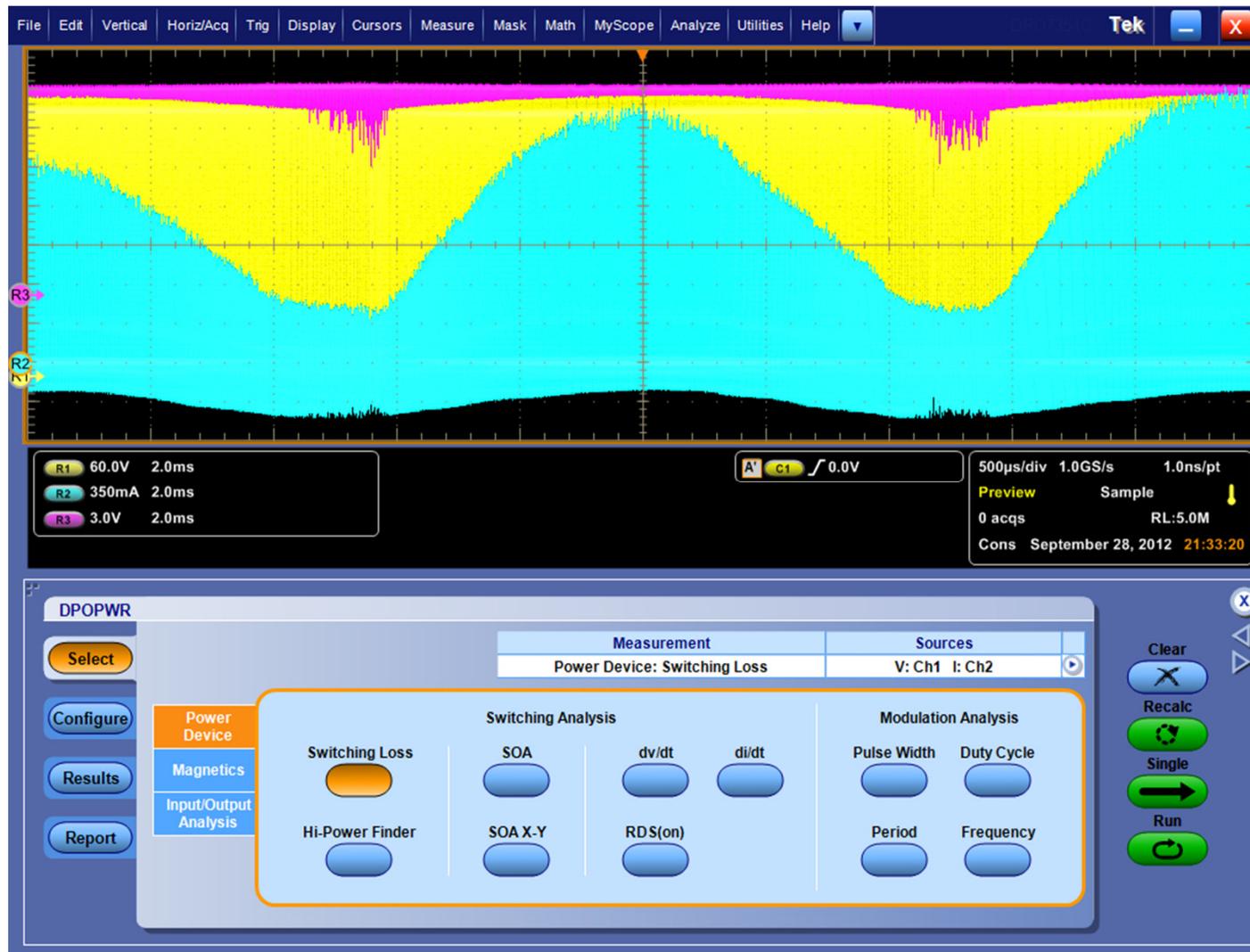
- ハイレゾ・モードの表示ビット分解能 =  $8 + 0.5 \times \log_2 N$   
N = (内部最高サンプル・レート ÷ 設定サンプル・レート)
- 2 byte メモリ(16ビット)の内、1ビットはサイン・ビットであるため、計算上は15ビットまで増えるが、まるめ誤差などを考慮すると、最高13ビット相当まで改善可能
- 周波数帯域 =  $0.44 \times$  設定サンプル・レート に制限

### 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

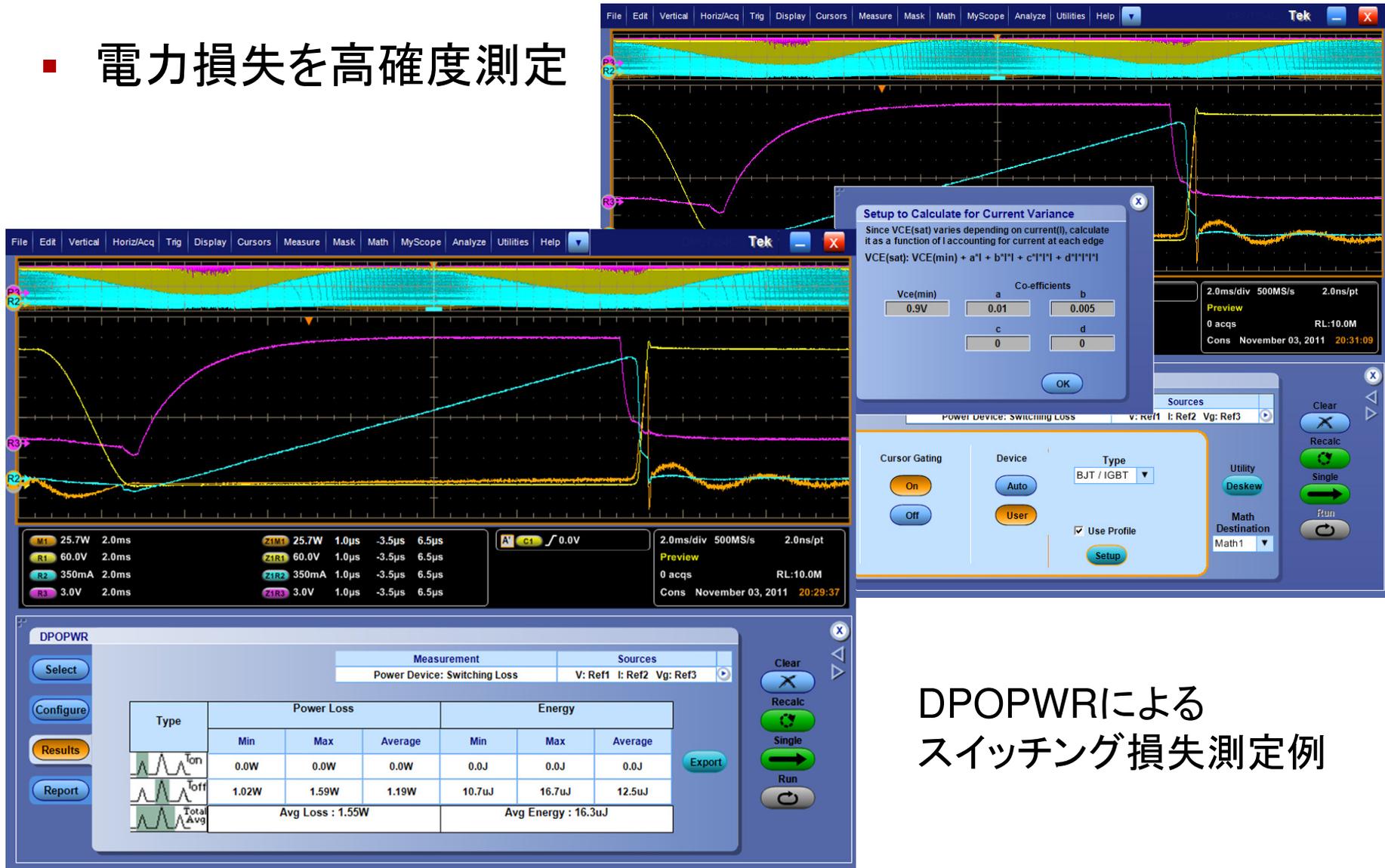


### 3. パワー解析ソフトウェアによる測定例 DPOPWRによる測定



# VCE(sat)、RDS(on)を電流の関数式で定義

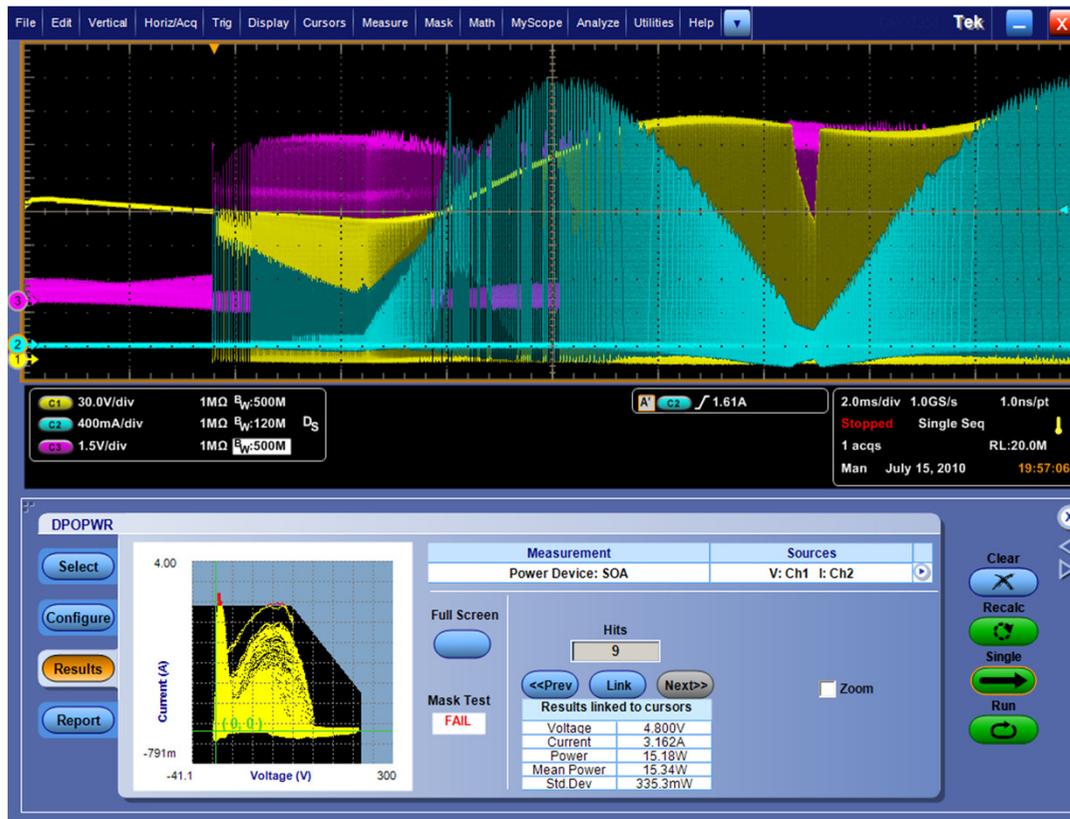
- 電力損失を高確度測定



DPOPWRによる  
スイッチング損失測定例

# 安全動作領域 (SOA) の評価

- Vds、IdをXY表示
- SOAマスク・テスト
- SOAプロットと時間軸波形の自動リンクにより違反波形を特定



# 磁気コンポーネントのB-H解析 (DPOPWR)

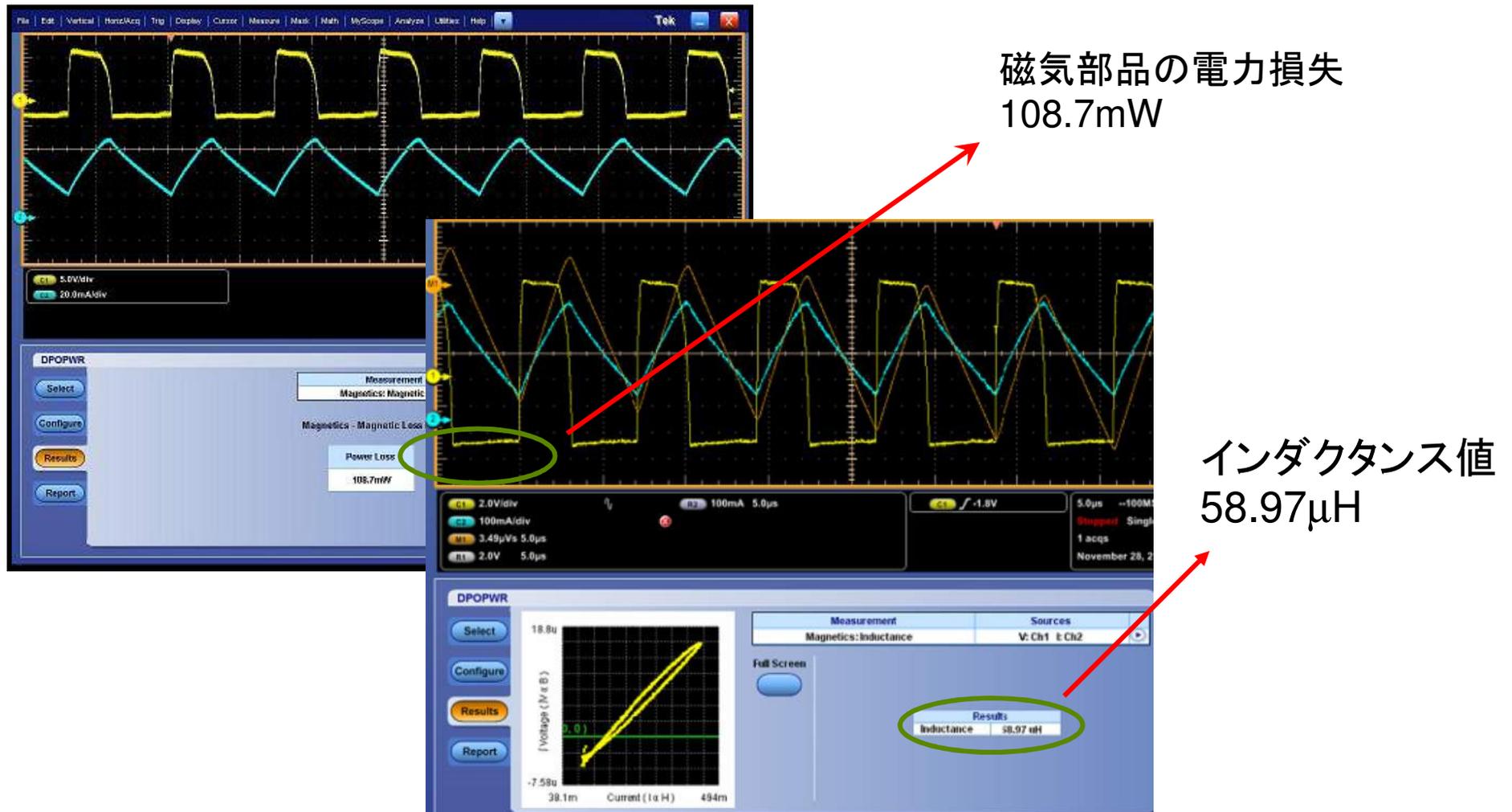
- B-H ヒステリシス・カーブの表示、解析
- 磁気パラメータ測定
  - 透磁率
  - 残留磁束密度
  - 最大磁束密度
  - 最大磁界強度
  - 保磁力
- マグネティック損失
- インダクタンス値



B-H ヒステリシス・カーブ

# 磁気コンポーネントの電力損失測定例

- 動作している周波数、電流、電圧条件での電力損失、インダクタンス値



# 磁気コンポーネントの電力損失

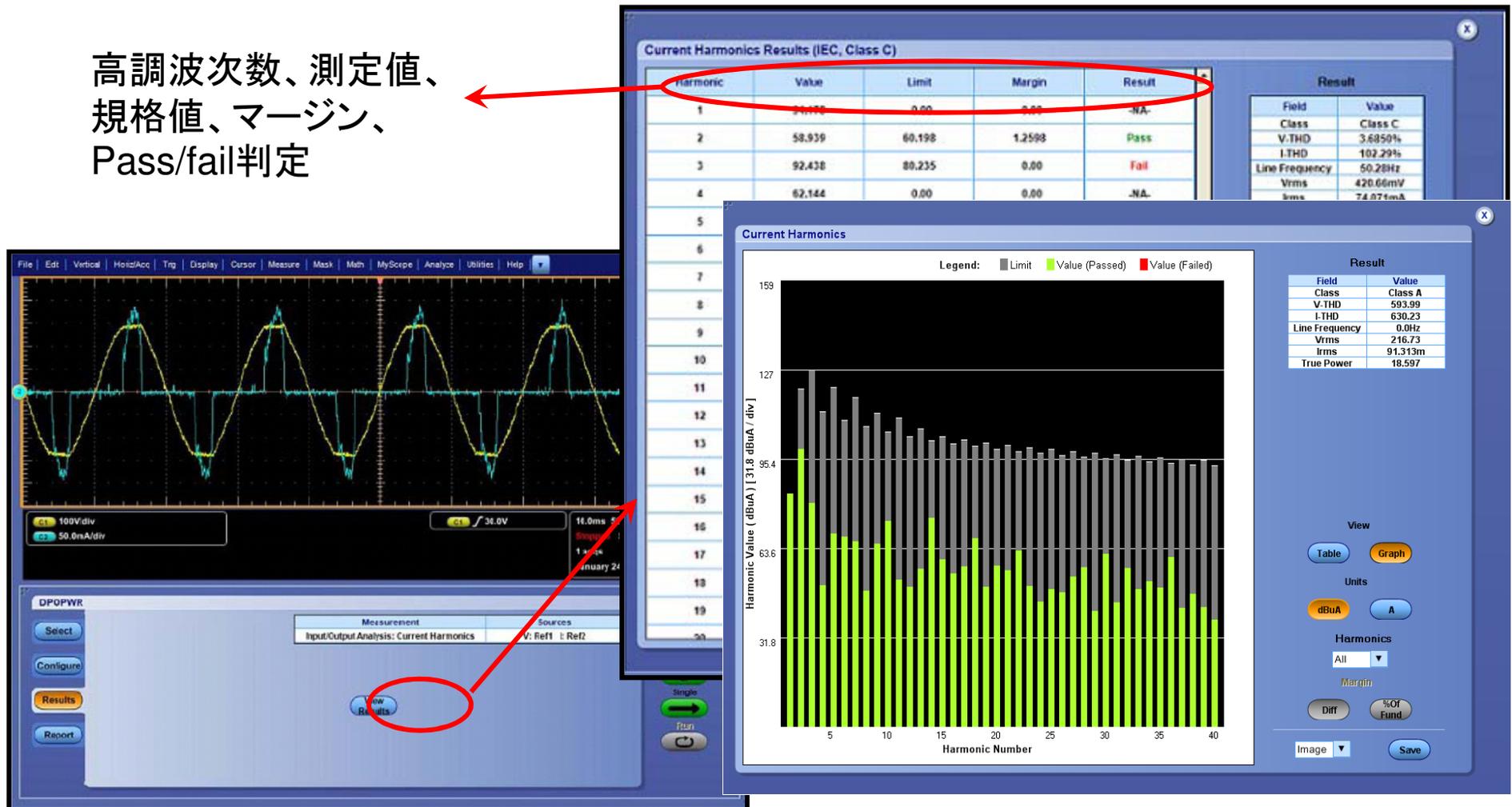
- 鉄損
  - ヒステリシス損
    - 周波数に比例して増加
  - 渦電流損
    - 周波数の2乗に比例して増加
- 銅損
  - 抵抗損
  - リッツ線の隣接効果
  - 漏れ磁束による導体内渦電流損

**DPOPWRでは、トータルのマグネティック電力損(鉄損+銅損)を測定**

# 電流高調波の規格測定 (DPOPWR)

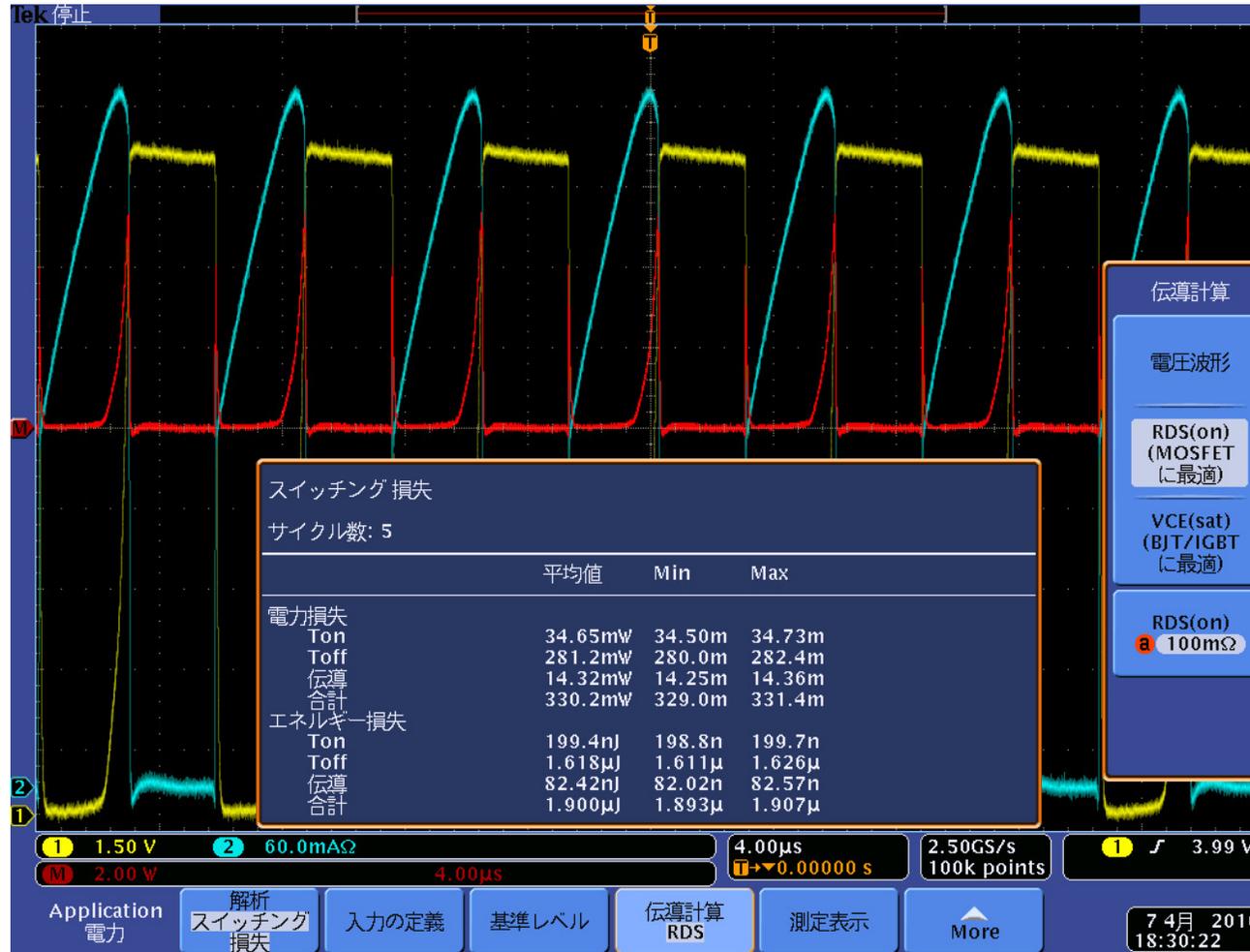
- IEC-EN61000-3-2、Amd14、MIL1399規格に対応

高調波次数、測定値、  
規格値、マージン、  
Pass/fail判定



# 参考: DPO/MSO/MDO4000シリーズによる測定例 1

- DPO4PWRによるスイッチング・ロスの自動測定



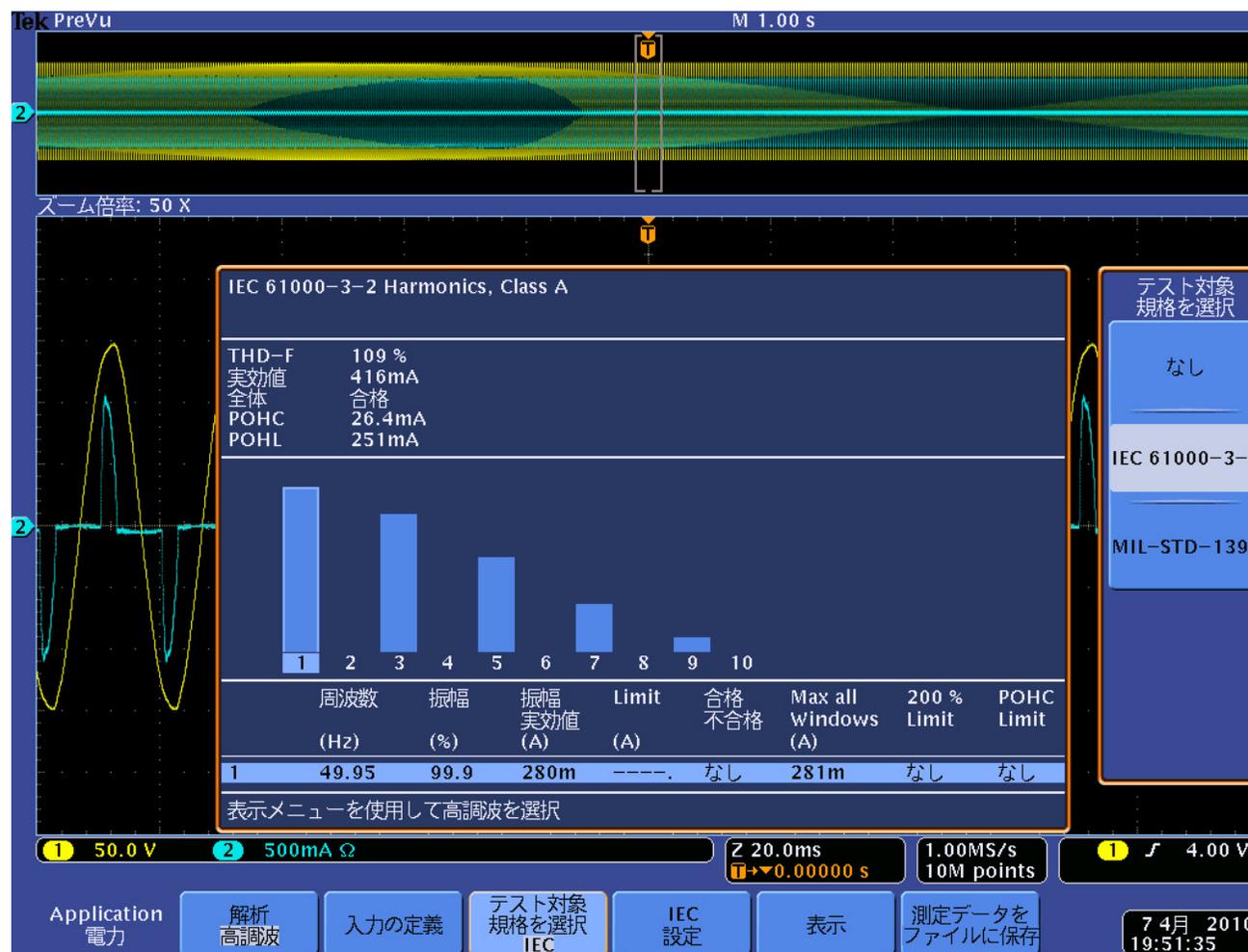
# 参考：DPO/MSO/MDO4000シリーズによる測定例 2

- DPO4PWRによるSOAの評価



# 参考：DPO/MSO/MDO4000シリーズによる測定例 3

- DPO4PWRによる電流高調波テスト(グラフ表示)



## 4. 電流プローブの性能と使いこなし

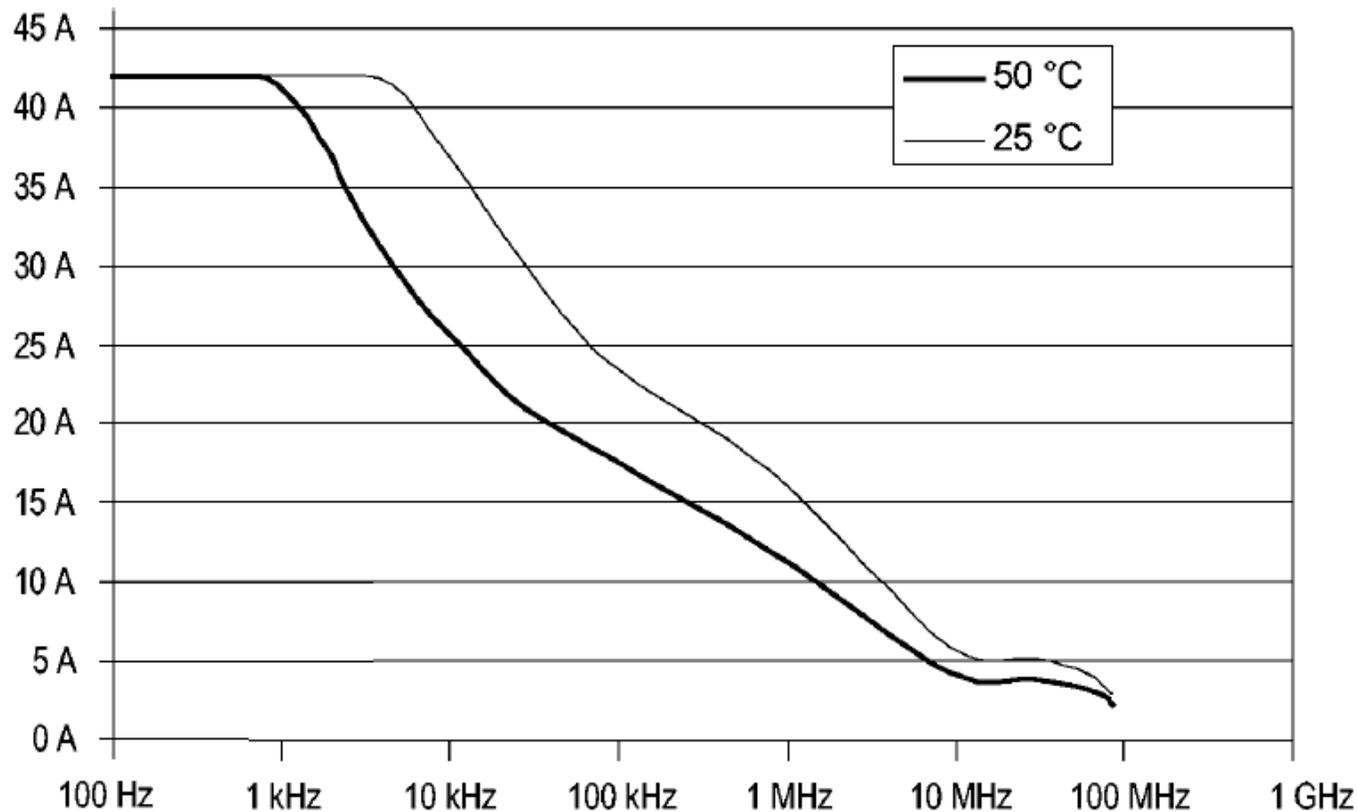
### 電流プローブの電流制限

TCP0030型 DC~120MHz 30Arms 電流プローブの仕様  
(テクトロニクス社の取扱説明書より)

特性	説明
最大連続電流 – DC および低周波数	5 A 範囲: 5 A RMS 30 A 範囲: 30 A RMS
最大ピーク電流	50A (最大ピーク・パルス)
表示 RMS ノイズ	≤75μA RMS. (限界測定帯域幅 20MHz の場合)
挿入インピーダンス	(図 2 参照)
アベレーション	<50ns: ≤10%p-p >50ns: ≤5%p-p
信号遅延	~ 14.5 ns
裸線での最大電圧	絶縁された導体上のみで使用
最大電流時間積	5A 範囲: 50A·μs 30A 範囲: 500A·μs
DC ゲイン精度	<3% (代表値 <1% (+23° C ± 5° C の場合))
立上り時間 (10% ~ 90%)	≤2.92 ns
帯域制限	DC ~ 120 MHz

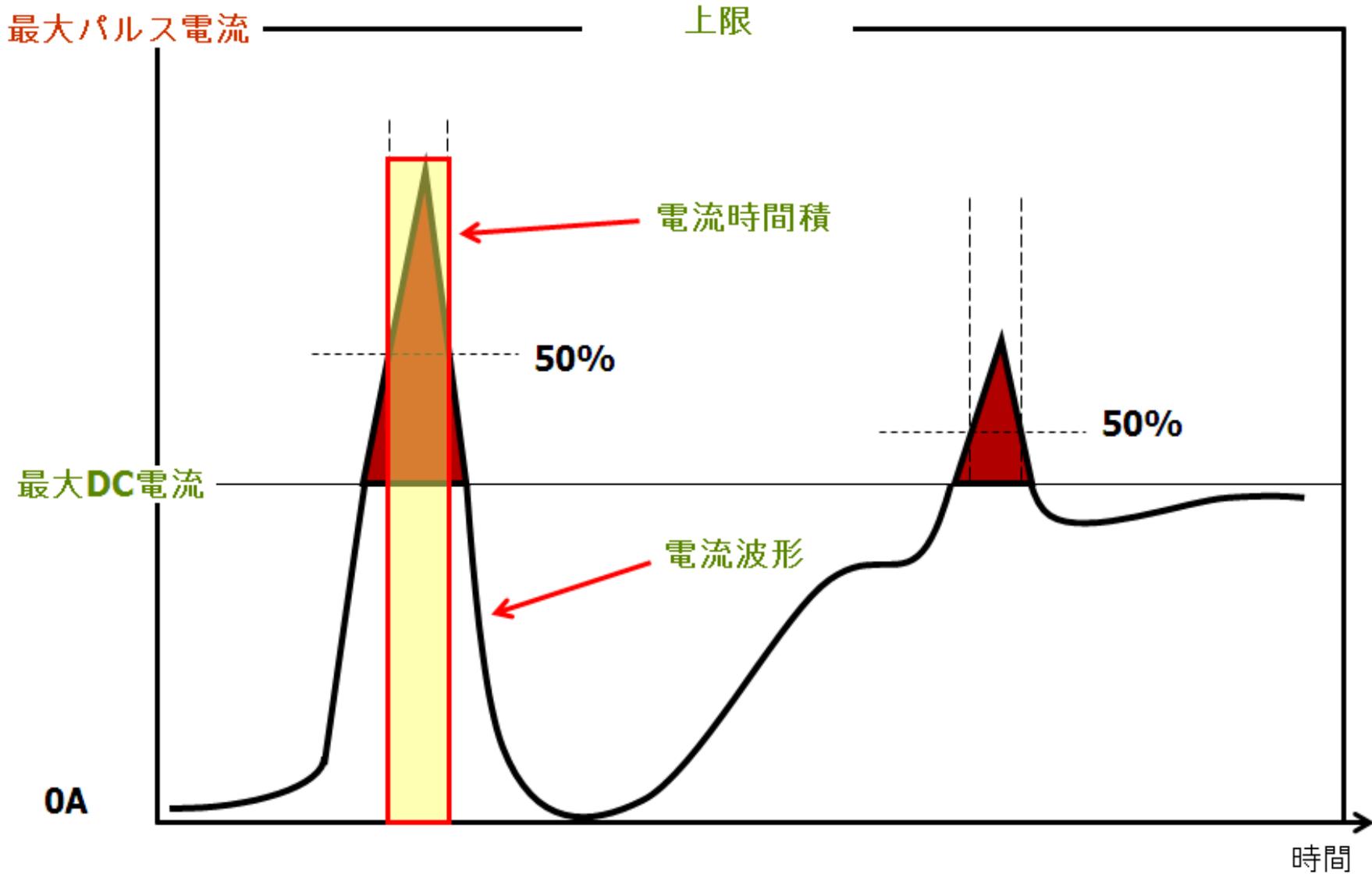
## 電流プローブのディレーティング・カーブ

- 周波数が高くなると測定可能電流は小さくなる



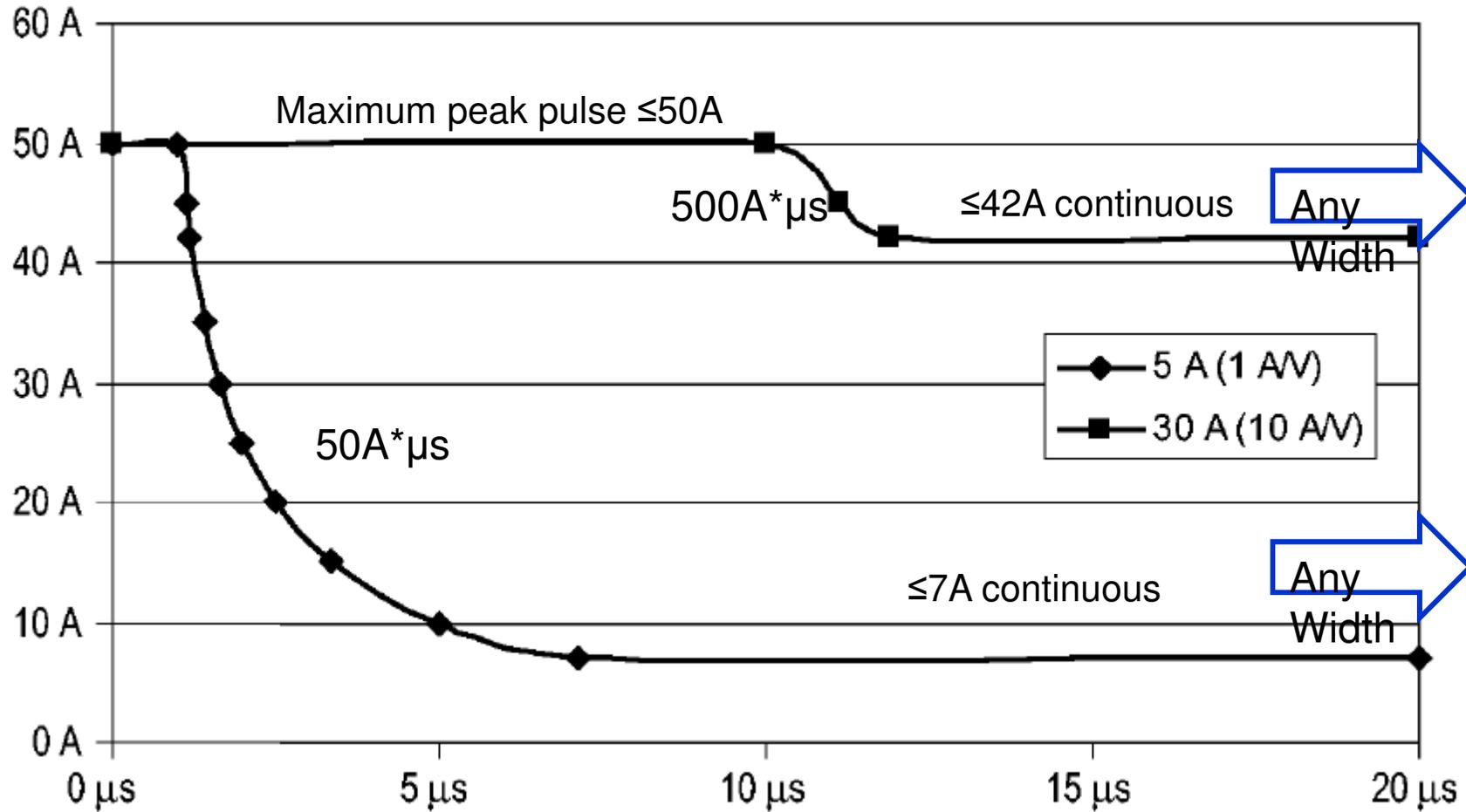
TCP0030型のディレーティング・カーブ

# 電流プローブの測定限界(電流時間積)



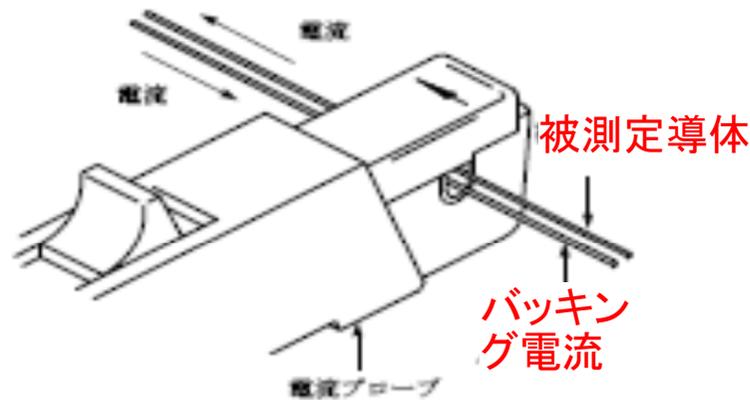
# 電流プローブの測定限界 ~ パルス幅とピーク電流

TCP0030型の最大パルス電流とパルス幅

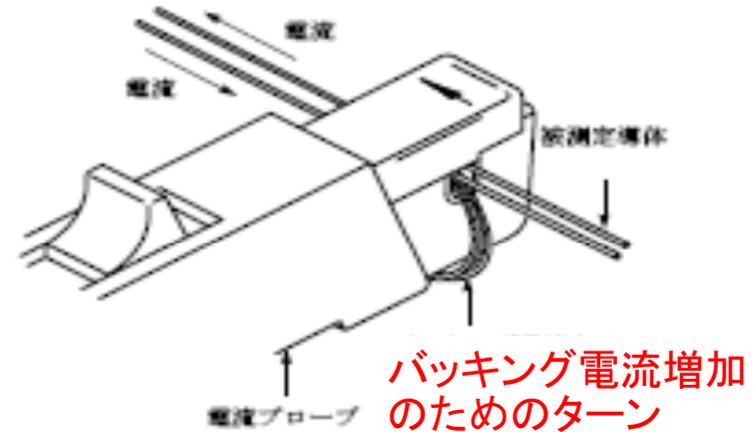


# 電流プローブの測定レンジの拡張

## ■ DC範囲の拡大



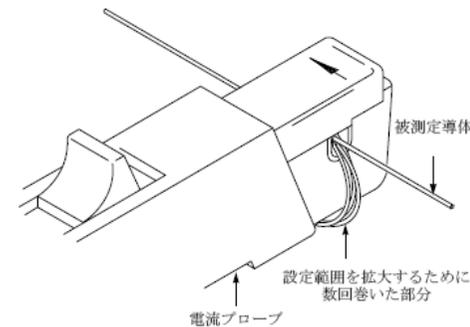
(1) オフセット(バックニング)電流の追加



(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
- 20ターン巻くと50 $\mu$ A/div  
(TCP0030型の場合)



感度を拡大するためのターン

# 電流プローブの性能と使いこなし

## ■ 電流プローブ使用時の注意点

- 床に落とすなどの衝撃を与えない
- 最大測定可能電流値を超えた信号を測定しない
- プローブ・システムの電源投入後、20分程度後から測定開始（20分エイジング）
- 測定前に回路から外し、クランプを閉じた状態で  
デガウスとDCバランスの調整実施  
特に、こまめにDCバランスの確認、調整を実施  
電流を0Aに出来る場合は、回路にクランプしたまま調整
- 測定する電流の方向と電流プローブの矢印の向きを合わせる

# 参考：パワー解析用推奨構成 — 1

## オシロスコープ

- MSO/DPO5000シリーズ + パワー計測パッケージ
  - 周波数帯域： 350MHz、500MHz、1GHz、2GHz
    - 最高サンプル・レート： 4ch同時 5GS/s
  - レコード長： 4ch同時 12.5M、2ch同時 25M（標準）  
（オプションで 4ch同時 125M、2ch同時 250M）
  - パワー解析パッケージ Opt.PS2
    - ・ DPOPWR パワー解析ソフトウェア (Opt.PWR)
    - ・ TCP0030A型 電流プローブ (30Arms 120MHz)
    - ・ THDP0200型 高電圧差動プローブ (1500V 200MHz)
    - ・ デスキュ・フィクスチャ (067-1686-xx)



## PFC付き電源解析用途の場合は

- THDP0200型 × 1本を追加（合計2本）
  - ゲート信号へのプロービング用



## 参考：パワー解析用推奨構成 ー 2

### オシロスコープ

- MDO/DPO/MSO4000シリーズ + DPO4PWR
  - 周波数帯域：350MHz、500MHz、1GHz
    - 最高サンプル・レート：5GS/s
  - レコード長：4ch同時 20M
  - パワー解析モジュール DPO4PWR



### 電流プローブ

- TCP0030A型 × 1本
  - 最大電流：30Arms 波数帯域：DC～120MHz

### 高電圧差動プローブ

- THDP0200型 × 2本
  - 耐圧：差動1500V、対地1000Vrms
  - 周波数帯域：200MHz



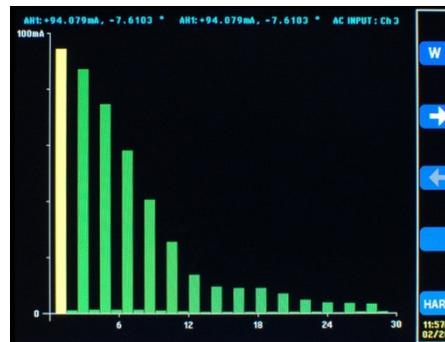
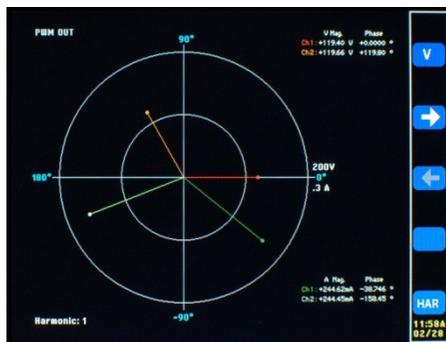
### デスクュ・フィクスチャ

- デスクュ・フィクスチャ(067-1686-xx)、TEK-DPG型(ジェネレータ)

# 高確度パワー・アナライザ PA4000型



- 業界初のスパイラル・シャント技術 (Spiral Shunt™) (特許申請中)
  - 広範な電流レベル、周波数、環境温度に対して安定した測定を実現
- $\mu\text{W}$ からkWまで、標準で広い測定レンジをカバー
  - 待機電力から大電力まで1台で
- クレストファクタ10でも高い測定確度
- 基本測定確度 0.04%
- 高調波測定、モーター解析機能は標準装備
- 三相、单相、DCの変換効率測定



Ch1	PBM OUT	Sum	AC INPUT	
	Ch2		Ch3	
Batt	22.755 W	3.5988 W	26.354 W	Vrms 255.96 V
Vrms	138.85 V	139.03 V	138.94 V	VArms 169.39 mA
Arms	241.63 mA	241.03 mA	371.33 mA	Batt 23.853 W
VA	33.551 VA	33.569 VA	89.364 VA	WAr 18.417 W
VAr	24.654 VA	33.375 VA	85.389 VA	WAr 774.53 mW
Freq	26.449 Hz	26.449 Hz	----	VAr 43.356 VA
PF	0.6782	0.1072	0.2949	VAr 36.205 VA
Vcl	2.2337	2.2066	----	Freq 60.011 Hz
dcl	1.3584	1.4328	----	PF 0.5502
Vltd	1.9678 %	1.8139 %	----	Alm 95.403 mA
Altd	3.3732 %	2.9895 %	----	Alp -7.7309 °
				Alm 1.1083 mA

# Tektronixのパワー解析ソリューションの特長

- 広帯域高電圧差動プローブ/高電圧プローブにより高効率回路に対応
  - 業界唯一 周波数帯域200MHz 1.5kV 高CMRRの高電圧差動プローブ
  - 業界唯一 2.5kV 800MHzのTPP0850型、2.5kV 500MHzのP5100A型
- 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
- 微小電流から大電流まで、広いダイナミック・レンジをカバー
  - 広帯域かつ高感度により、確度の高い測定が可能
  - TCP0030A型:120MHz、1mA/div ~ TCP0150型:20MHz、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)
- スwitchング損失だけでなくSOAのマスク・テストにより、信頼性向上
- 磁気部品の電力損失測定
  - 高効率電源にとって、磁気部品の電力損失は無視できない
- 放射ノイズと時間軸波形との相関を特定 (MDO4000シリーズ)
- 高確度パワー・アナライザにより、変換効率、システム・レベルの評価に対応



本テキストの無断複製・転載を禁じます。テクトロニクス/ケースレーインストルメンツ  
Copyright © Tektronix, Keithley Instruments. All rights reserved.

[www.tektronix.com/ja](http://www.tektronix.com/ja)  
[www.keithley.jp/](http://www.keithley.jp/)

 **Twitter** [@tektronix\\_jp](https://twitter.com/tektronix_jp)  
 **Facebook** <http://www.facebook.com/tektronix.jp>

