

# 計測展2009

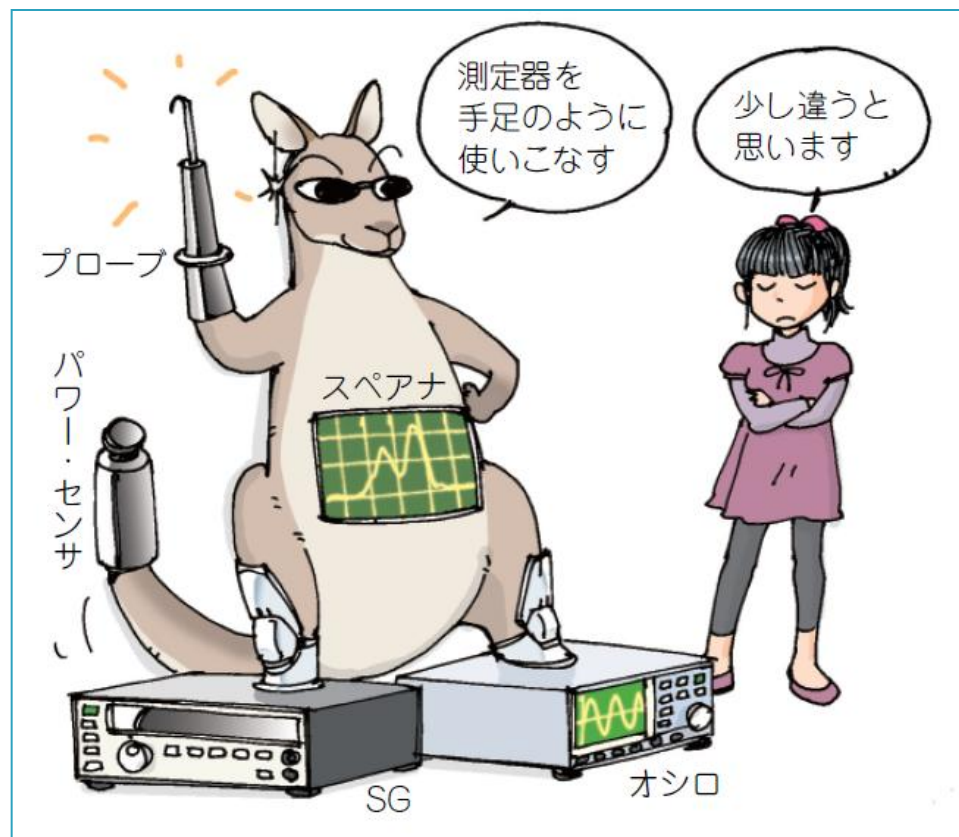
## チュートリアル

神奈川工科大学  
小室 貴紀

# はじめに

- ▶ 電子計測における基礎的な事柄を集めてみました。
- ▶ 基礎を知っていると、応用が効きます。
- ▶ 測定器を手足のように使いこなしてください。

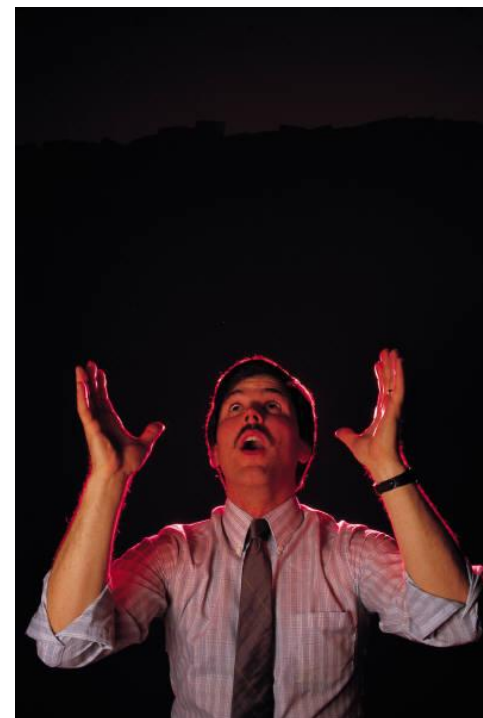
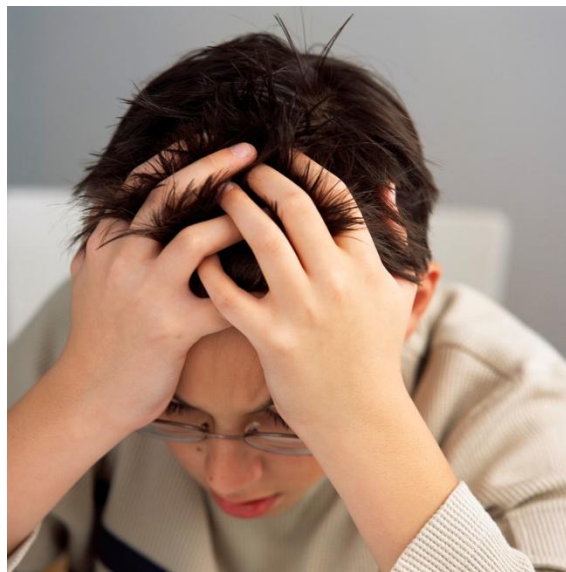
RFワールド No.5 P.9より 2009年 CQ出版社  
イラスト:神崎真理子



# 講演の内容

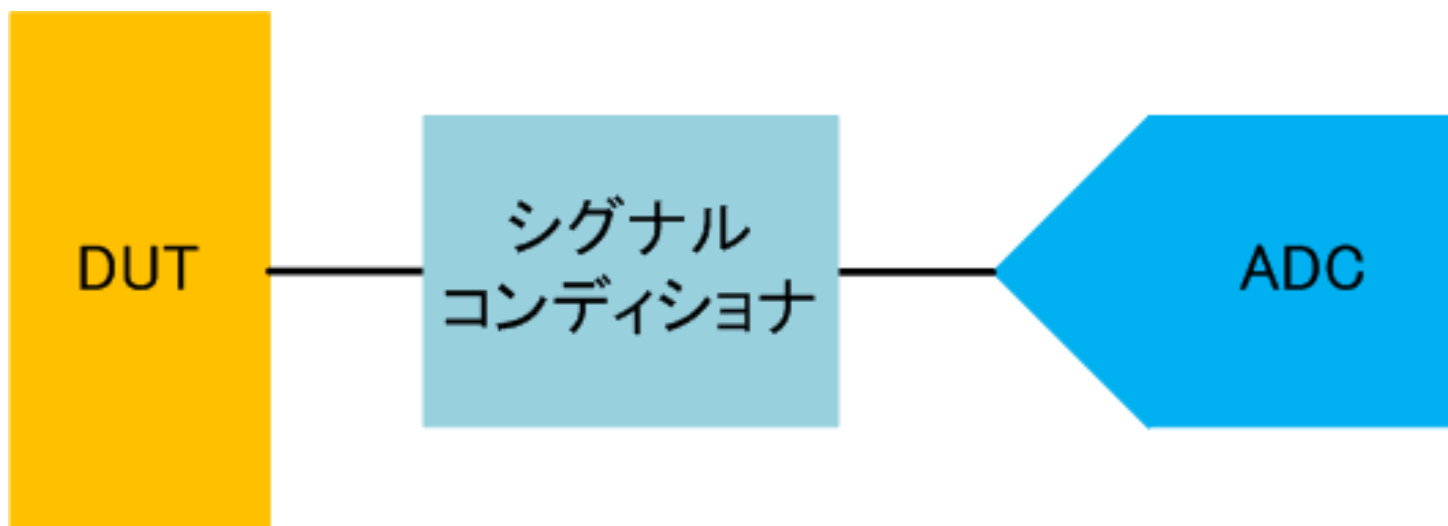
- ▶ AD変換器の前にあるのは・・・
- ▶ 直流の測定  
簡単な回路の電流、電圧、抵抗を測る

- ▶ 交流の測定
- ▶ RFの測定



# Big Picture !

このチュートリアルで取り上げるのは・・・

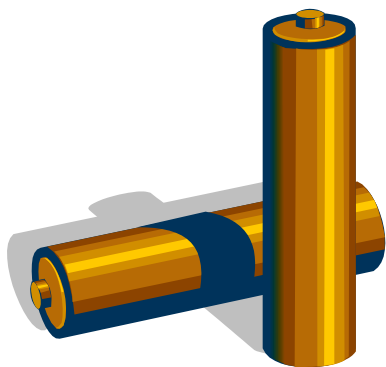


DUT: Device Under Test (被測定物)

# 直流測定の場合

簡単な法則から始めましょう！

$$V[V] = I [A] \times R[\Omega]$$



単3乾電池: 1.5V



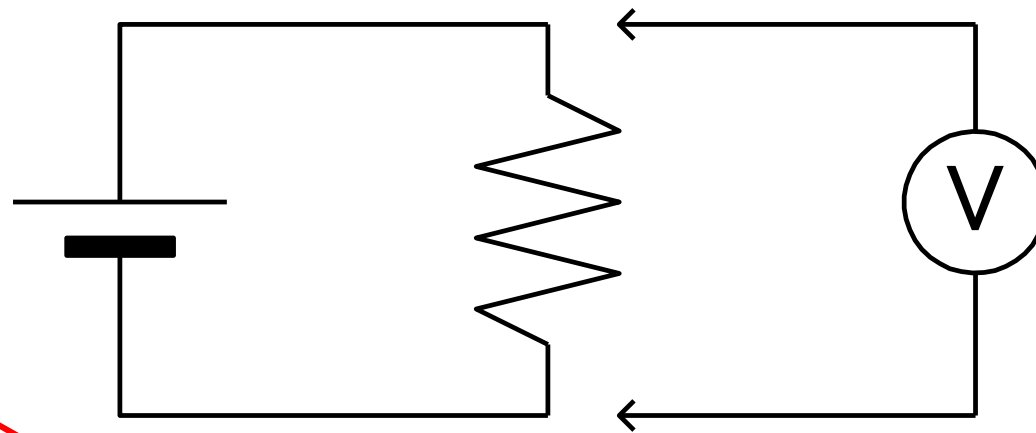
抵抗器: 1kΩ  
1/4W ±5%



マルチ・メータ

# オームの法則

- ▶ 未知数は何か？ 計算で？ 実測で？



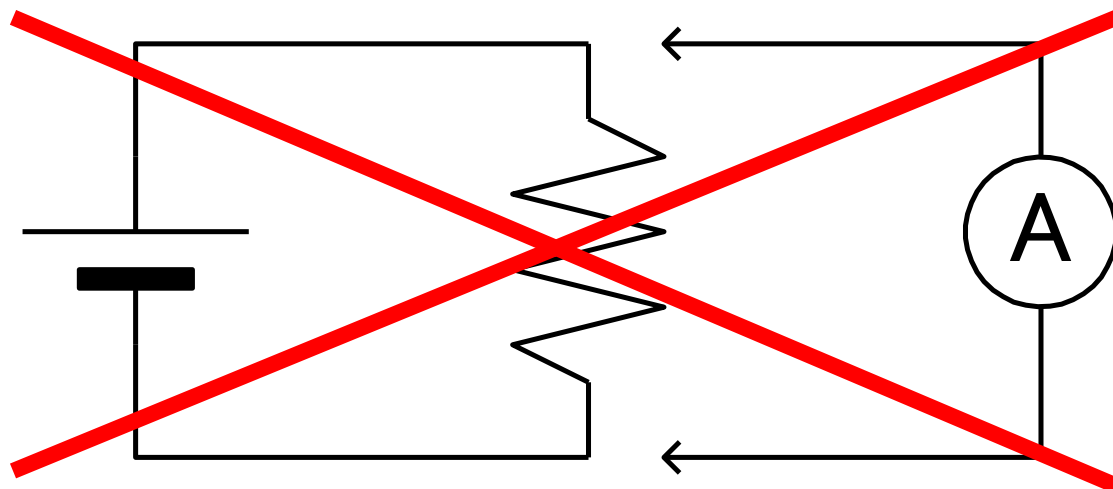
何が知りたいのか？

$$R = 1\text{k}\Omega$$

$$I = V / R = 1.5\text{mA}$$

# 電流の測定

抵抗を流れる電流を測りたい？



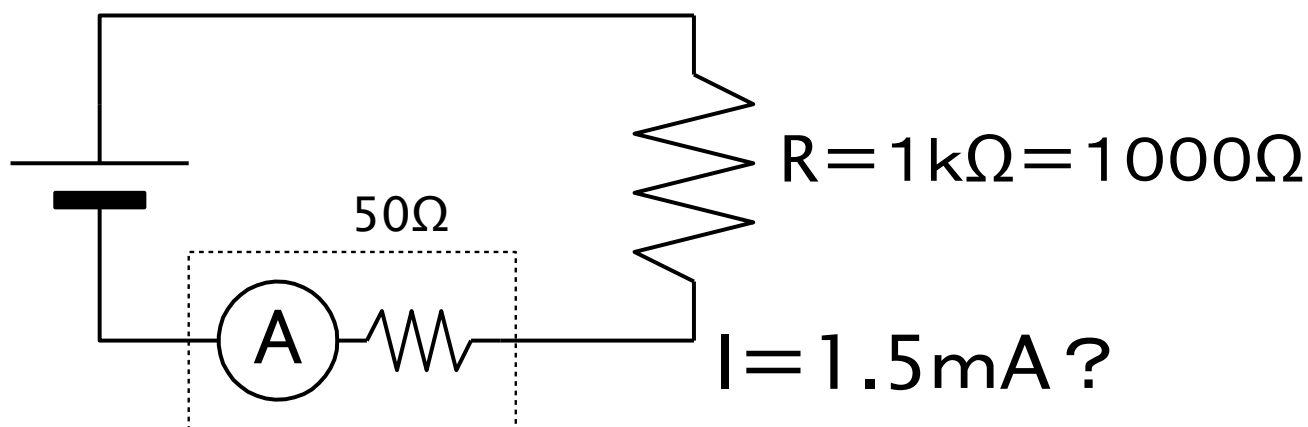
$$R = 1\text{ k}\Omega$$

$$I = 1.5\text{ mA}$$



# 電流の測定

抵抗を流れる電流を測りたい？



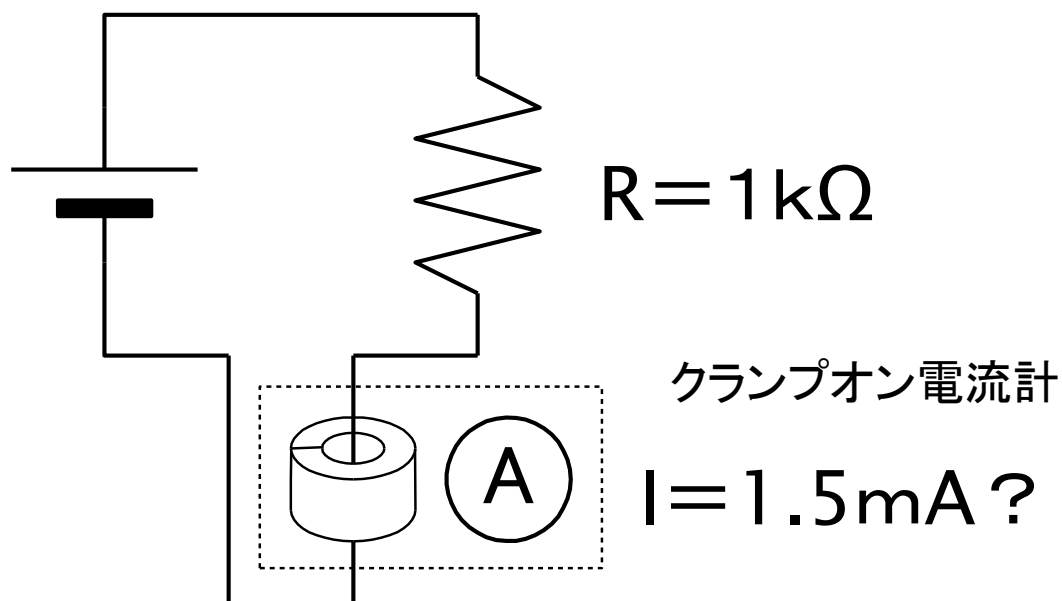
電流計モードでの等価抵抗の例: 10mAレンジで50Ω  
測定値が5%変わってしまう

<参考>シミュレータでは...



# 電流の測定

抵抗を流れる電流を測りたい？



# 電流の測定

## クランプオン電流計



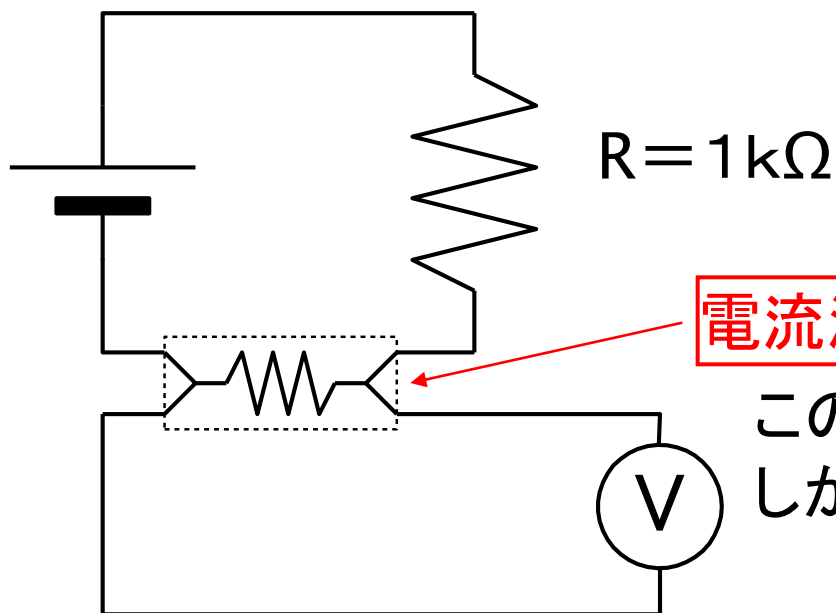
配線を切らずに電流測定可能  
AC用が多い AC/DC両用もある  
大電流の測定に適している  
(1A以下の測定に対応したものもある)

テストに取り付けるアダプターの例

$\pm 2\%$  of reading  $\pm 5\text{mA}$

# 電流の測定

抵抗と電圧計で電流を測りたい？

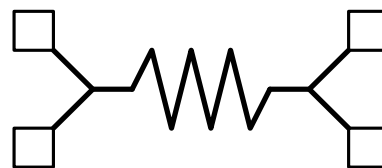


電流測定用精密抵抗

この値が小さいほど影響が小さくなる  
しかし、感度の高い電圧計が必要

# 電流の測定

## 電流測定用精密抵抗の例



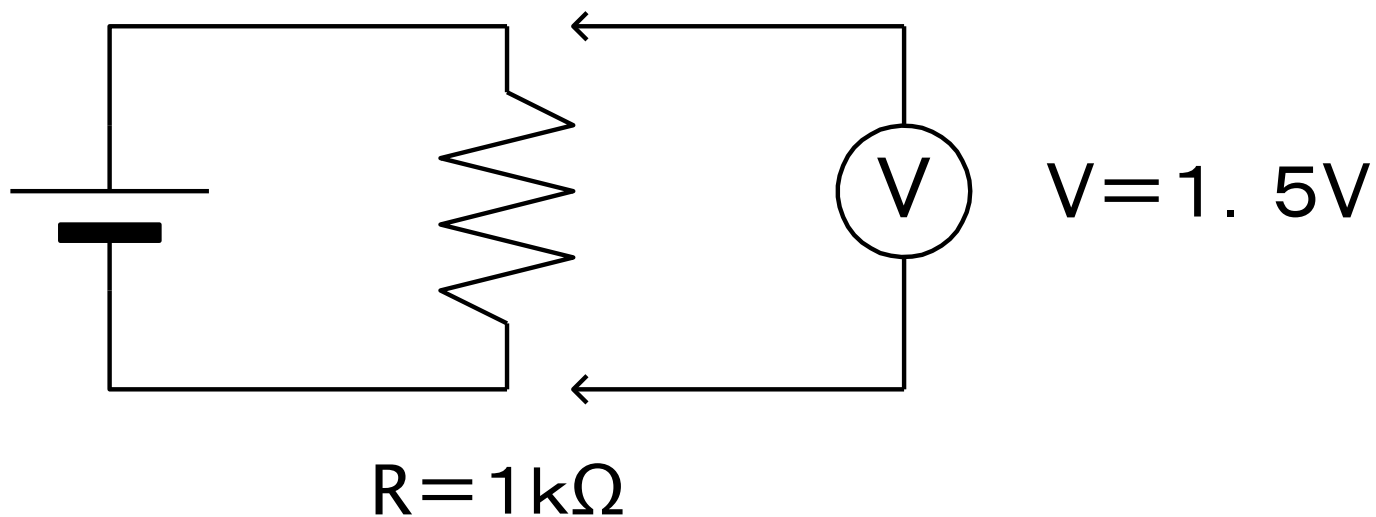
温度が1°C変わると、  
抵抗値が100万分の0.05変わる

- Low ohmic values: 0.01  $\Omega$  to 2.0  $\Omega$
- TCR: 0.05 ppm/ $^{\circ}\text{C}$  (0  $^{\circ}\text{C}$  to + 60  $^{\circ}\text{C}$ ) with Z-Foil technology
- Tolerance: to  $\pm 0.1$  %
- Power coefficient (PCR): 5 ppm at rated power

Vishay社のカタログより

# 電圧の測定

抵抗負荷での電池の特性を測りたい？



$$I = V / R = 1.5mA$$

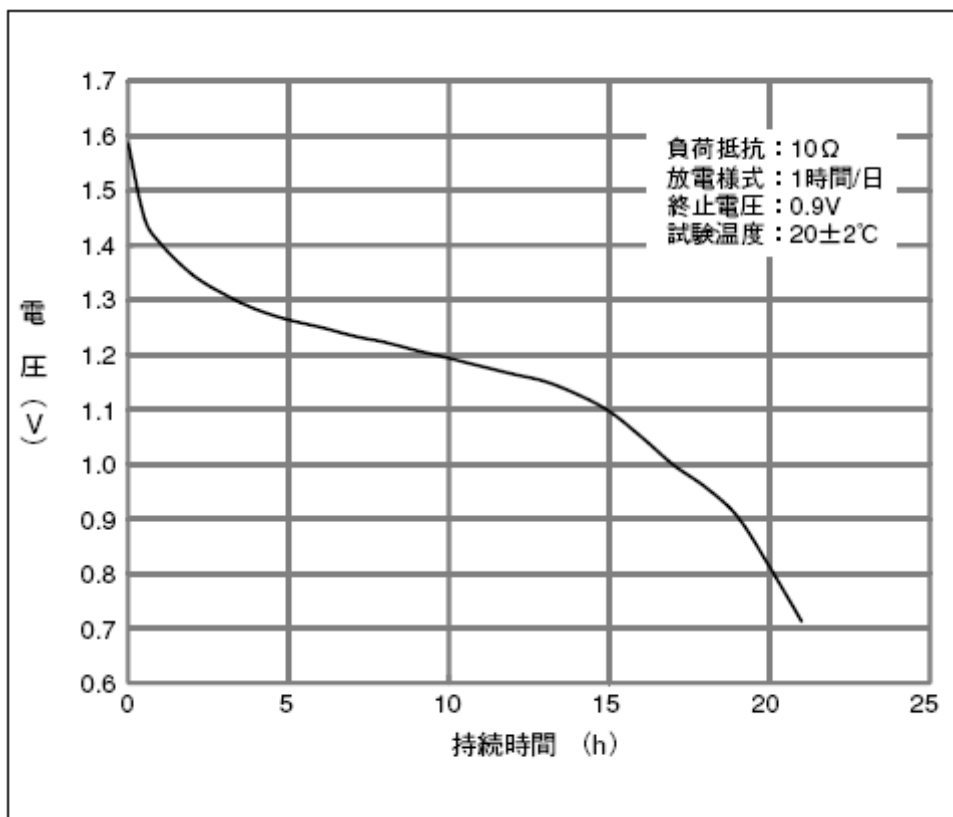
# 乾電池の負荷特性

通電時間も測定したほうが良い・・・

## LR6 (GW) OEM専用品



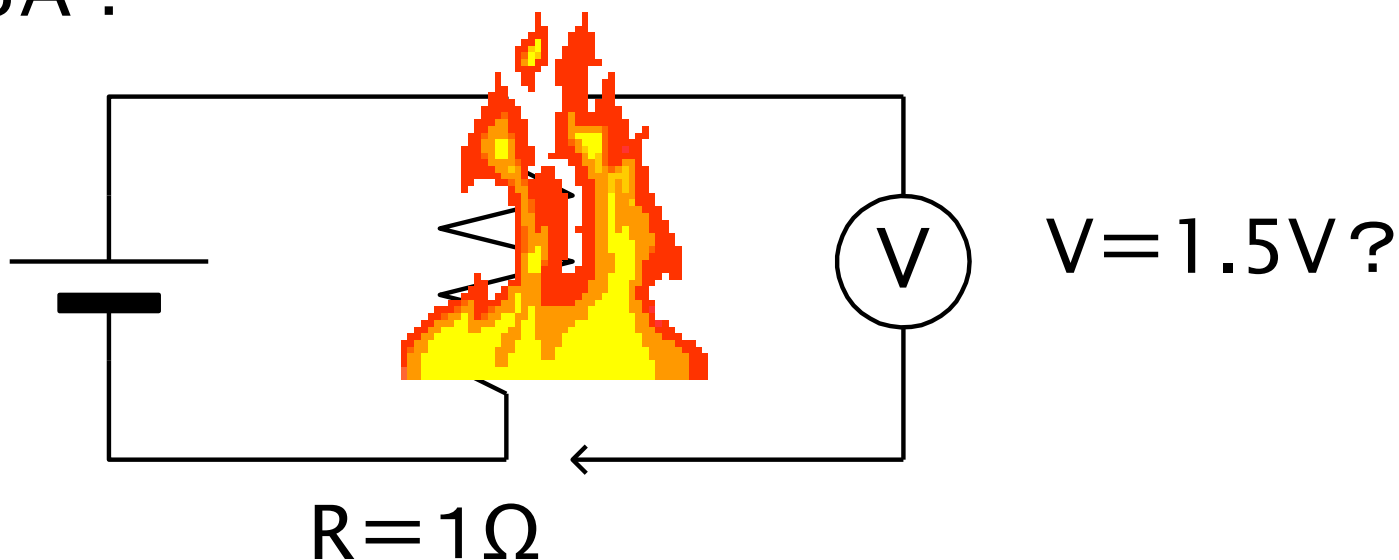
Panasonic社のカタログから引用



# 測定の前に

同じ回路図であっても・・・

$I = 1.5A$ ?



通電前に計算して、定量的に**予想**しておく！



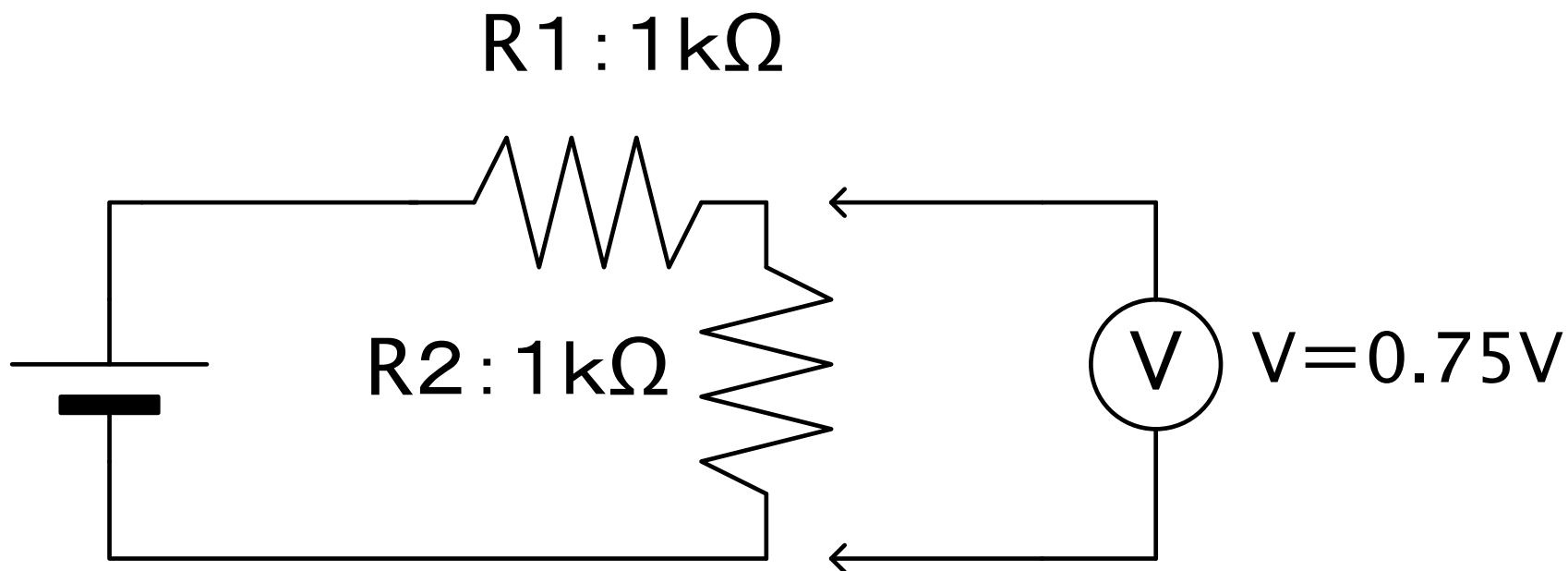
# ここまでのまとめ

- 1) **何を知りたいのか？** を明確にする  
どう測定するか？ はその次
- 2) 実験前に、**予想**を立てておく  
正常な動作とは？  
過去の経験(=失敗?)からの教訓

**では、予想を立てる練習をしてみましょう！**

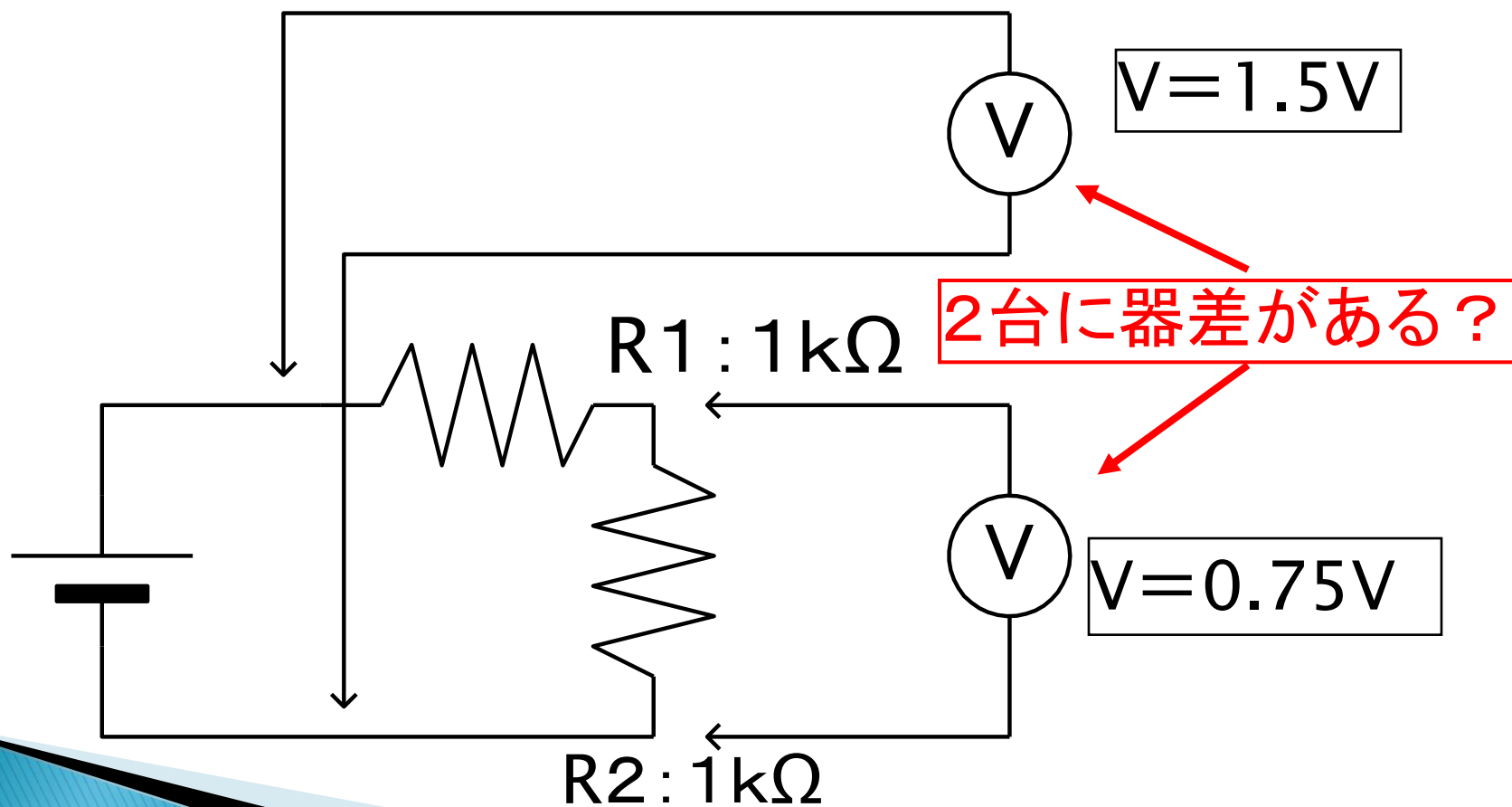
# 分圧回路の例

本当に電源電圧は1.5V?



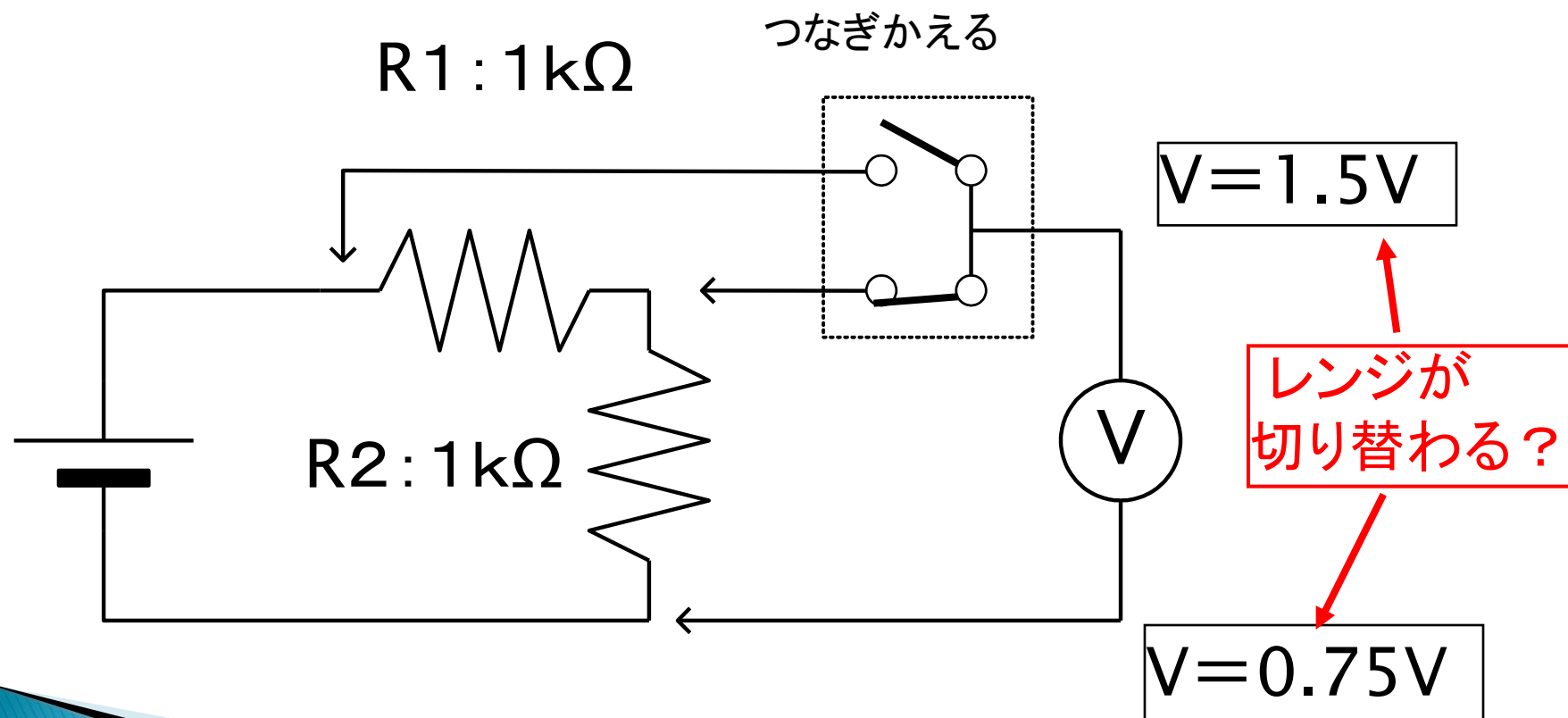
# 分圧回路の例

2ヶ所測定すればOK?



# 分圧回路の例

電圧計が1台ならば大丈夫？



# デジタルマルチメータの確度

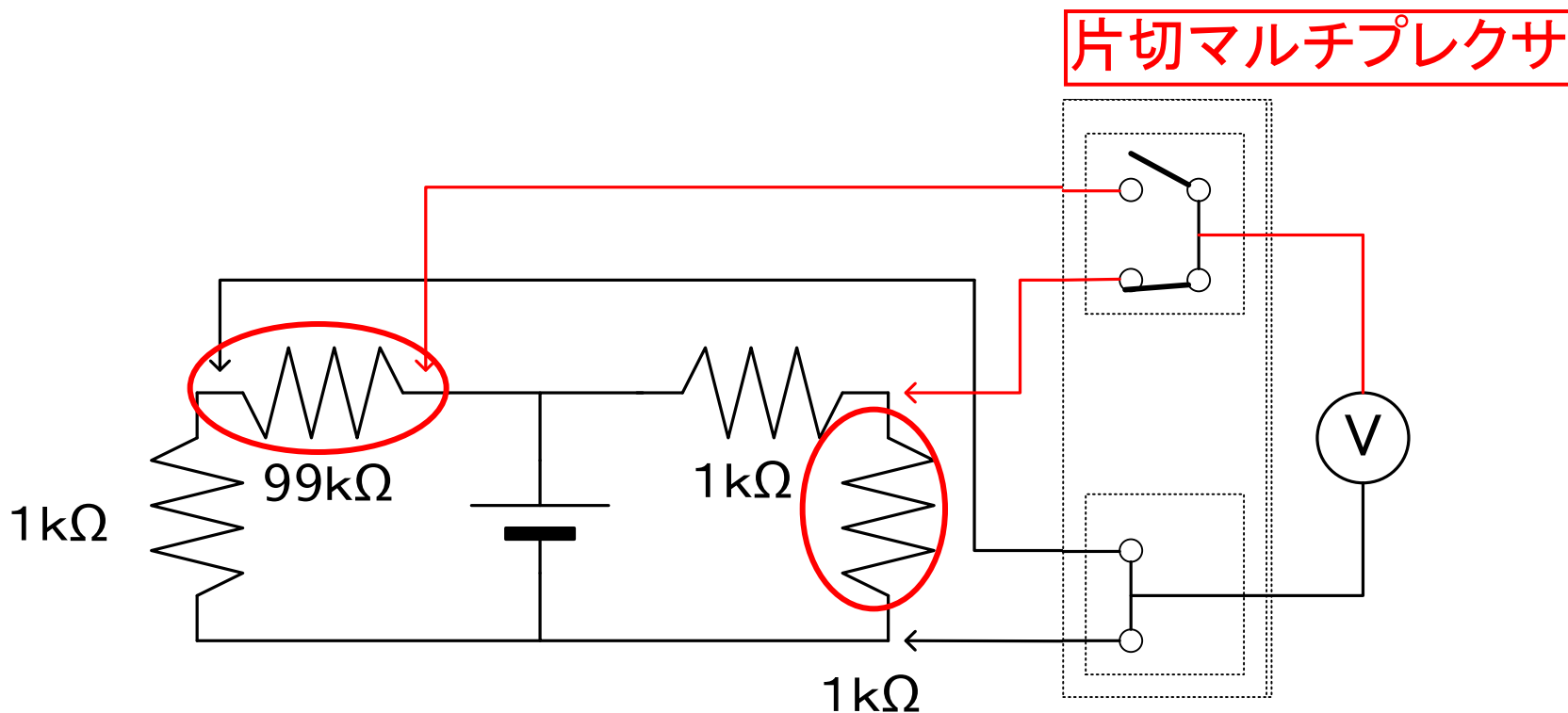
確度は、以下の誤差要因を全て考慮している

- 1) レンジ切り替えの誤差
- 2) AD変換器の誤差
- 3) 校正誤差
- 4) (校正からの)経時変化
- 5) 量産時のバラツキ
- 6) その他

同じレンジを使うのであれば、1)の分は含まれない

# 回路を切り替えるにも...

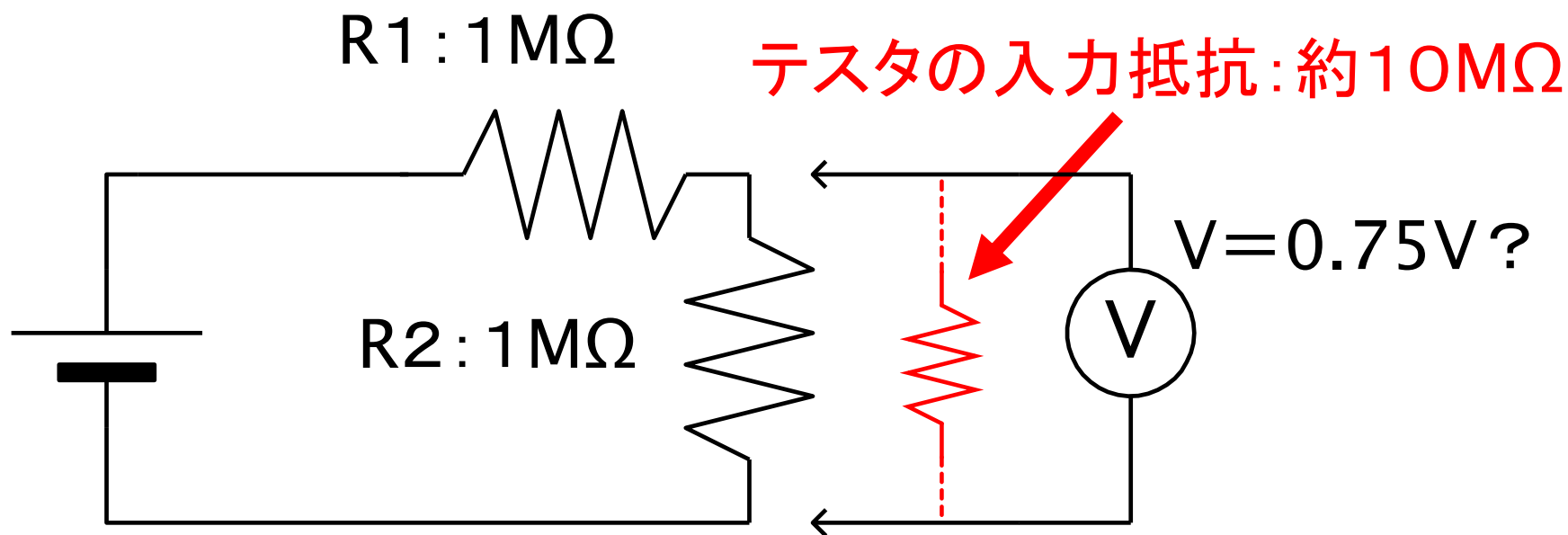
マルチプレクサで繋ぎかえる



思わぬ場所が短絡される！

# 分圧回路の例

回路図は同じでも・・・



本来 $R2$ にのみ流れる電流が、テスタにも10%程度流れる

＜参考＞シミュレータでは・・・



# <参考> マルチメータの仕様の例

DC仕様

機能	レンジ	分解能	テスト電流/負荷電圧	確度、± (読み値の%+最下位桁の数)			
				U1241A	U1242A		
電圧 <sup>[1]</sup>	1000.0 mV			0.09 % + 2			
	10.000 V						
	100.00 V	0.01 V	-				
	1000.0 V	0.1 V	-	0.15 % + 5			
電流	1000.0 $\mu$ A	0.1 $\mu$ A	<0.06 V (50 $\Omega$ )	0.1 % + 3			
	10000 $\mu$ A	1 $\mu$ A	<0.55 V (50 $\Omega$ )	0.1 % + 3			
	100.00 mA	0.01 mA	<0.18 V (0.5 $\Omega$ )	0.2 % + 3			
	400.0 mA <sup>[2]</sup>	0.1 mA	<0.8 V (0.5 $\Omega$ )	0.5 % + 3			
				+5			
抵抗 <sup>[4]</sup>	1000.0 $\Omega$ <sup>[5]</sup>	0.1 $\Omega$	0.5 mA	0.3 % + 3			
	10.000 k $\Omega$ <sup>[5]</sup>	0.001 k $\Omega$	50 $\mu$ A				
	100.00 k $\Omega$	0.01 k $\Omega$	4.91 $\mu$ A				
	1000.0 k $\Omega$	0.1 k $\Omega$	447 nA				
	10.000 M $\Omega$	0.001 M $\Omega$	112 nA			0.8 % + 3	
	100.00 M $\Omega$ <sup>[6]</sup>	0.01 M $\Omega$	112 nA			1.5 % + 3	
ダイオードテスト <sup>[7]</sup>	1 V	0.001 V	約0.5 mA	0.3 % + 2			

1.5Vと0.75Vではレンジが切り替わる

10mAレンジでは50 $\Omega$ の抵抗が入る

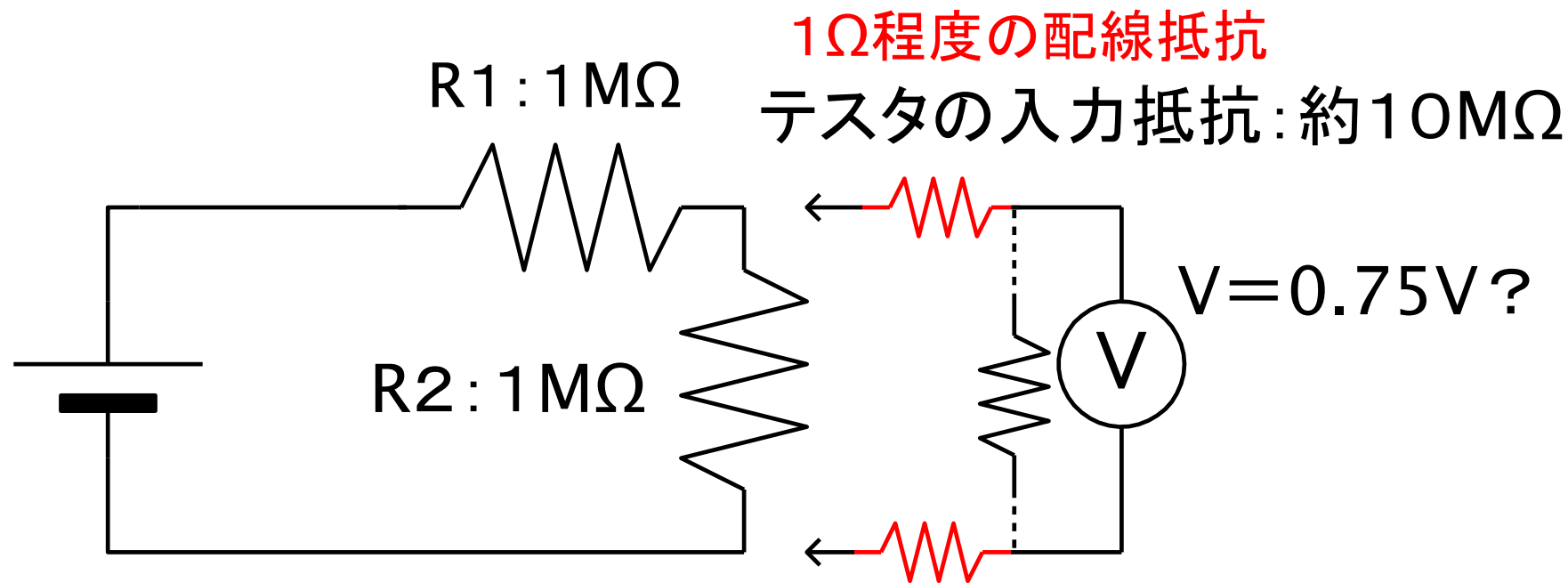


[1] 入力インピーダンス: 10 M $\Omega$  (公称値)。

1 M $\Omega$ 級の高出力抵抗点の電圧を測るには低い

# 分圧回路の例

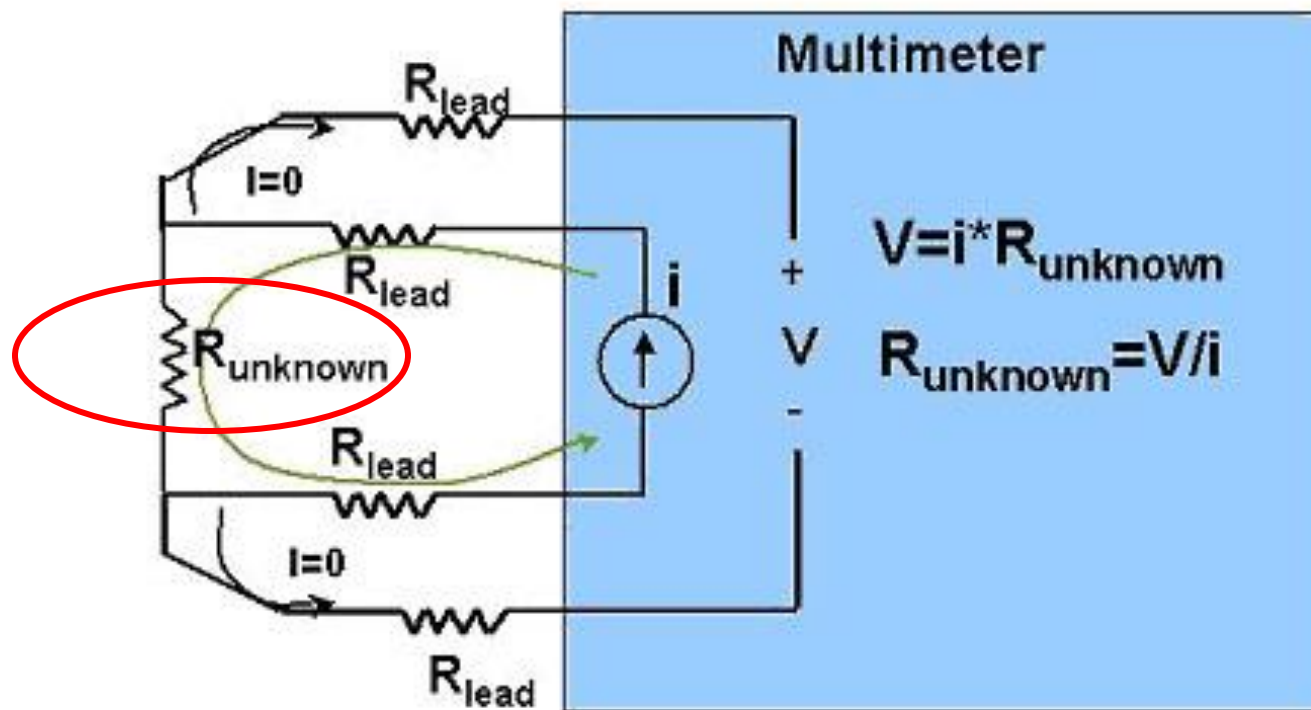
寄生素子はどこまで気にするべきか？



この場合、1Ω程度の配線抵抗は、測定結果に影響しない  
全ての寄生素子の影響を等しく受けるわけではない

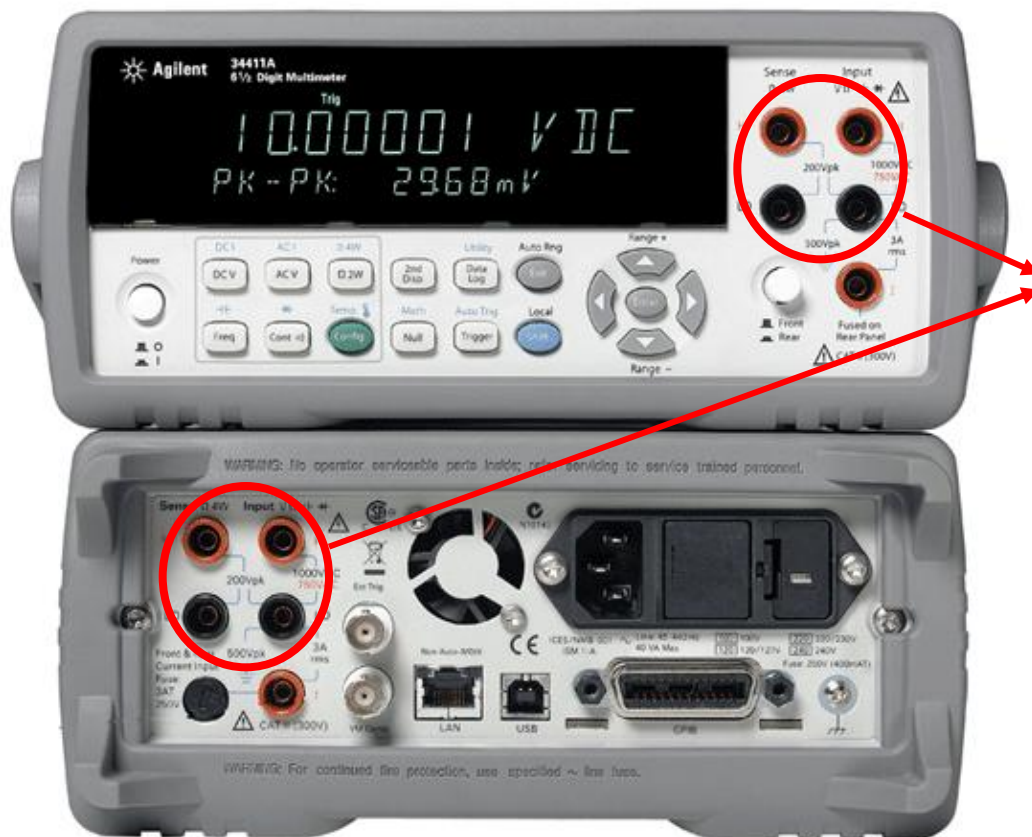
# 抵抗の測定

## 4端子法による抵抗測定



接続リード線の持つ抵抗の影響を受けない

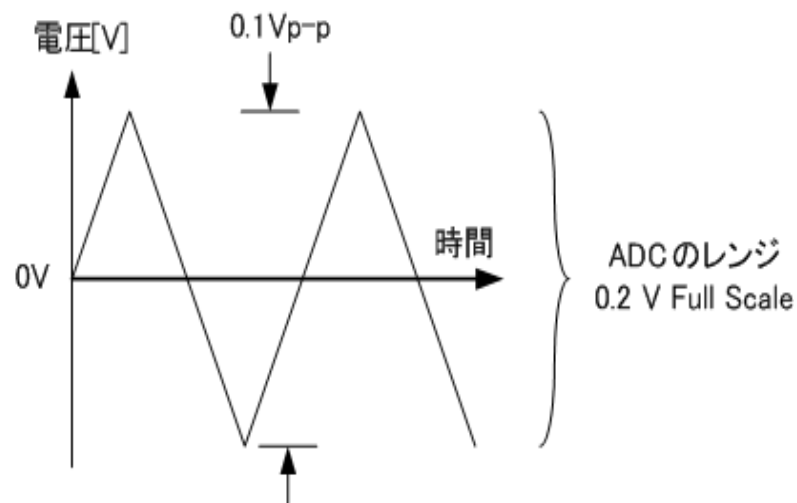
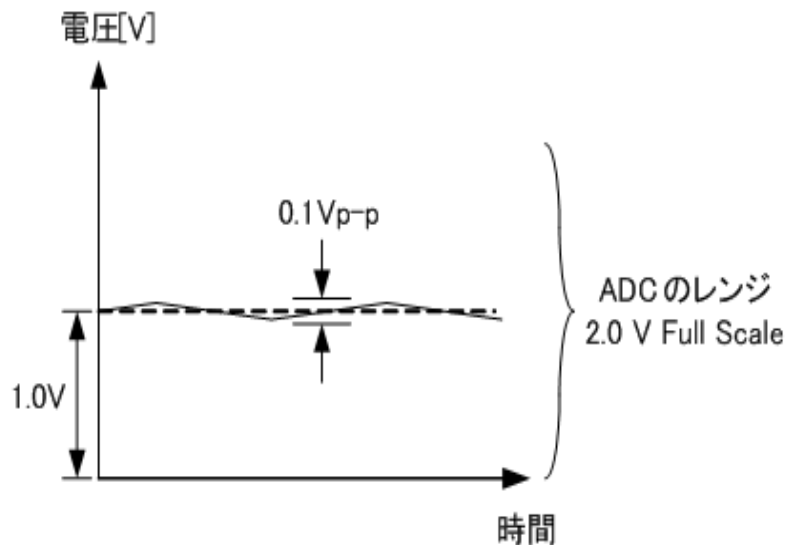
# <参考> 4端子抵抗測定機能を持つマルチメータの例



4端子抵抗測定用端子

# 交流の測定

## 直流が重畳している交流

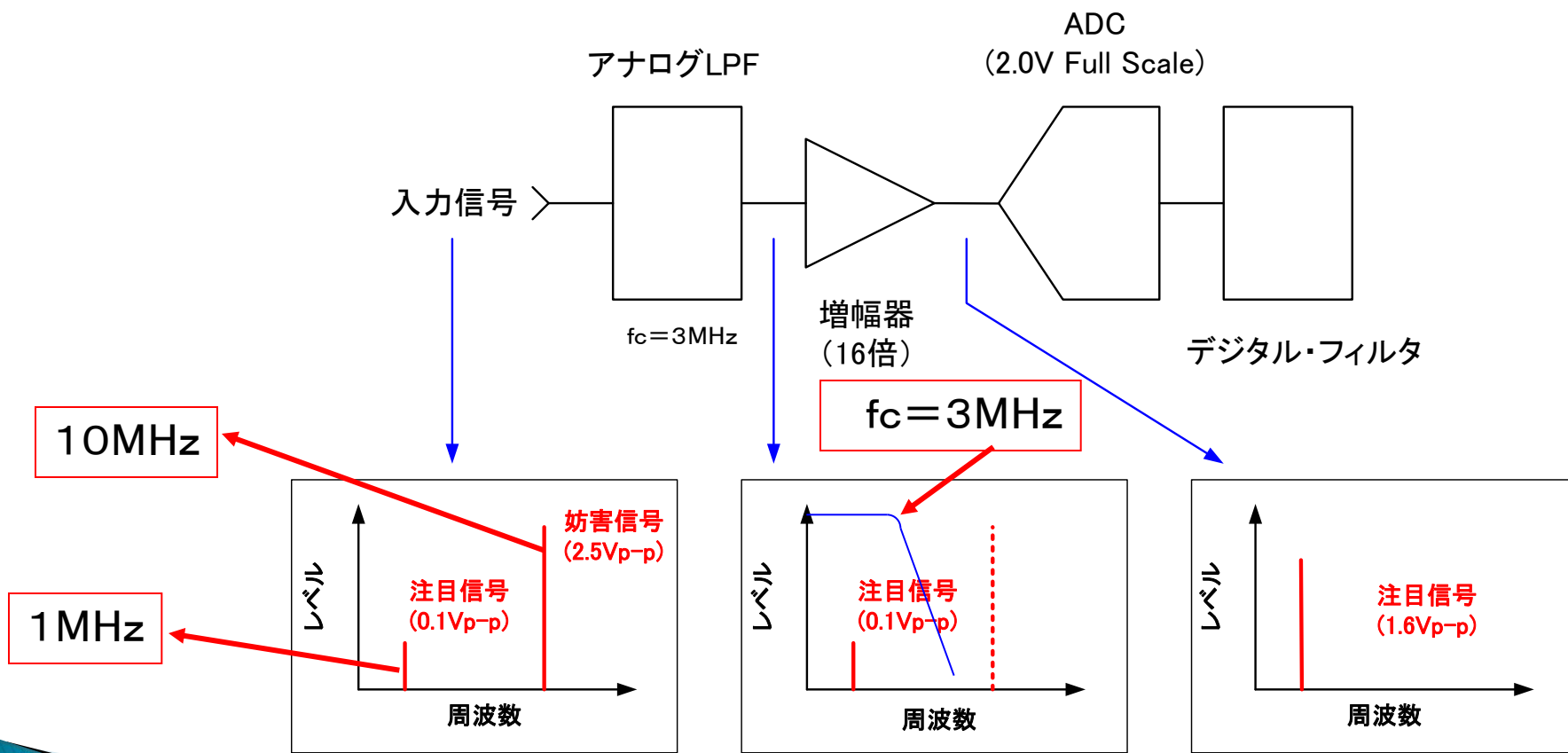


・直流と交流を一度に測る(図左)

・直流分を取り除き、  
交流分のみを拡大して図る(図右)  
AC結合 or 逆極性のDCを加算

# 交流の測定

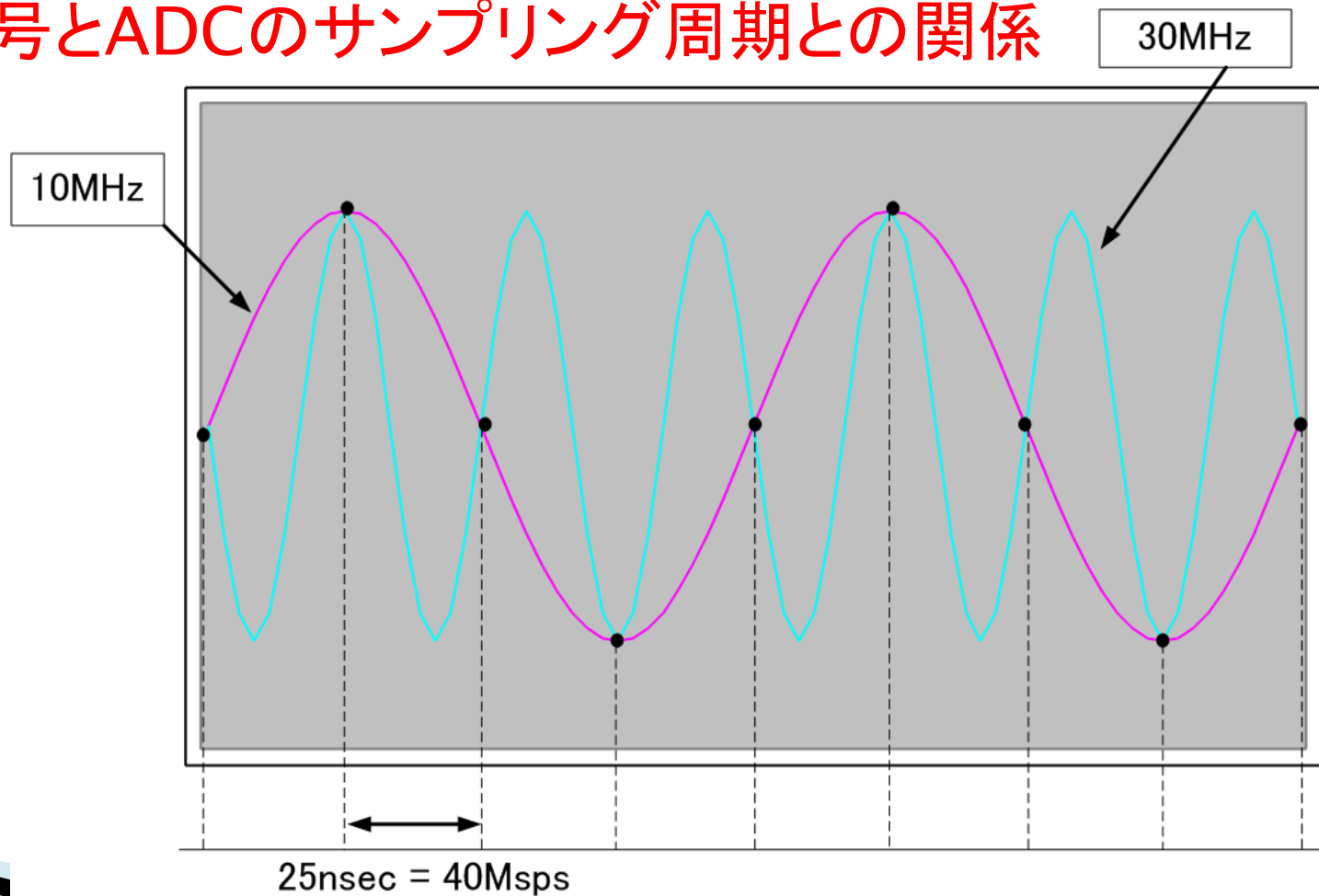
## アナログフィルタによる帯域外のイズの抑圧



# 交流の測定

エリアジング

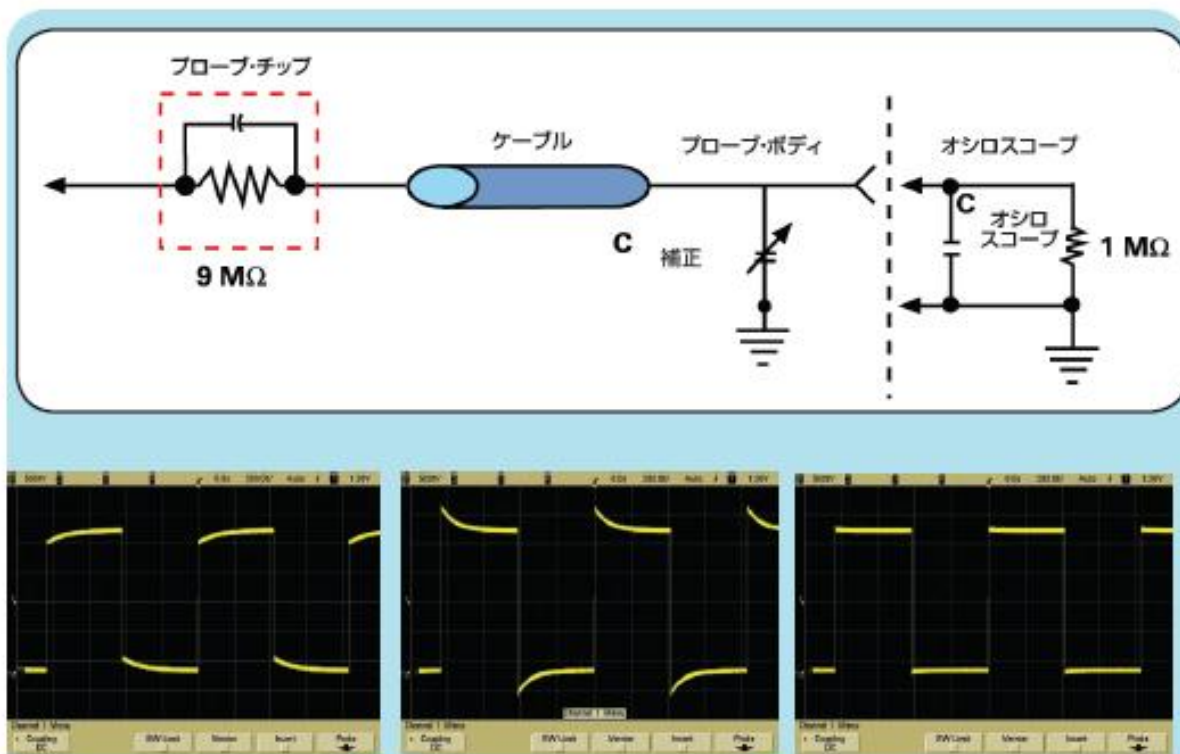
入力信号とADCのサンプリング周期との関係





# 交流の測定

## オシロスコープのプローブの補正

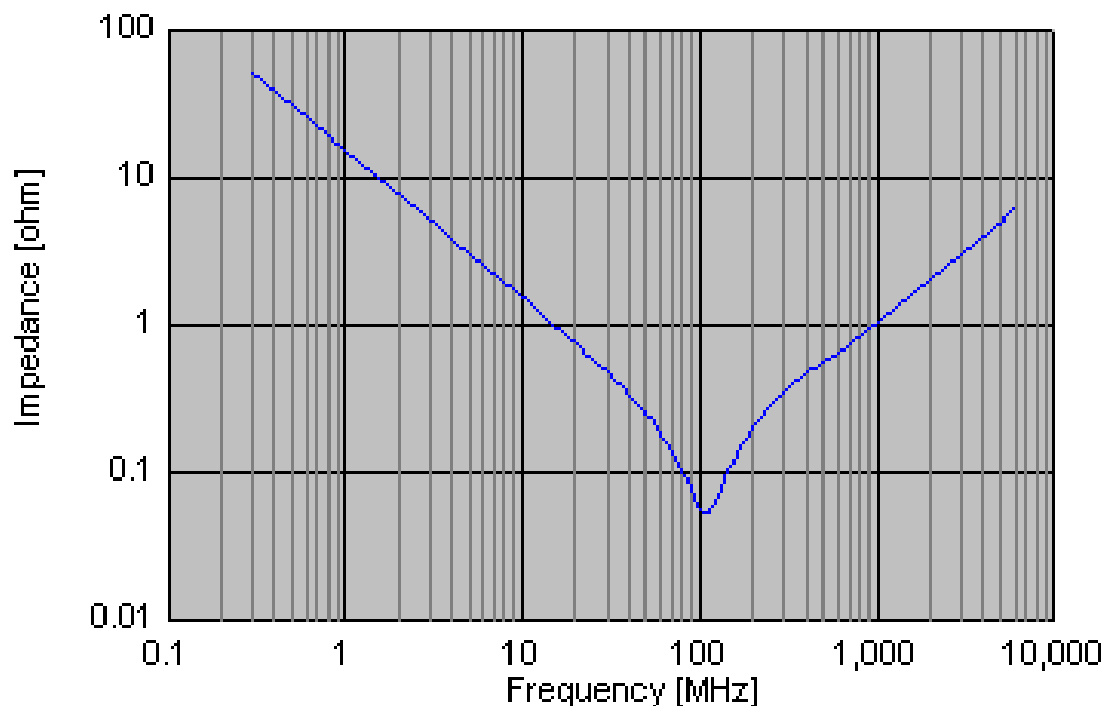


◎基準方形波を用いて、可変Cを調整する  
この手法が有効なのは高々100MHzまで

# <参考> 部品の使用限界

## チップ・コンデンサの例

Murata Chip S-Parameter & Impedance Library  
を使用して描画

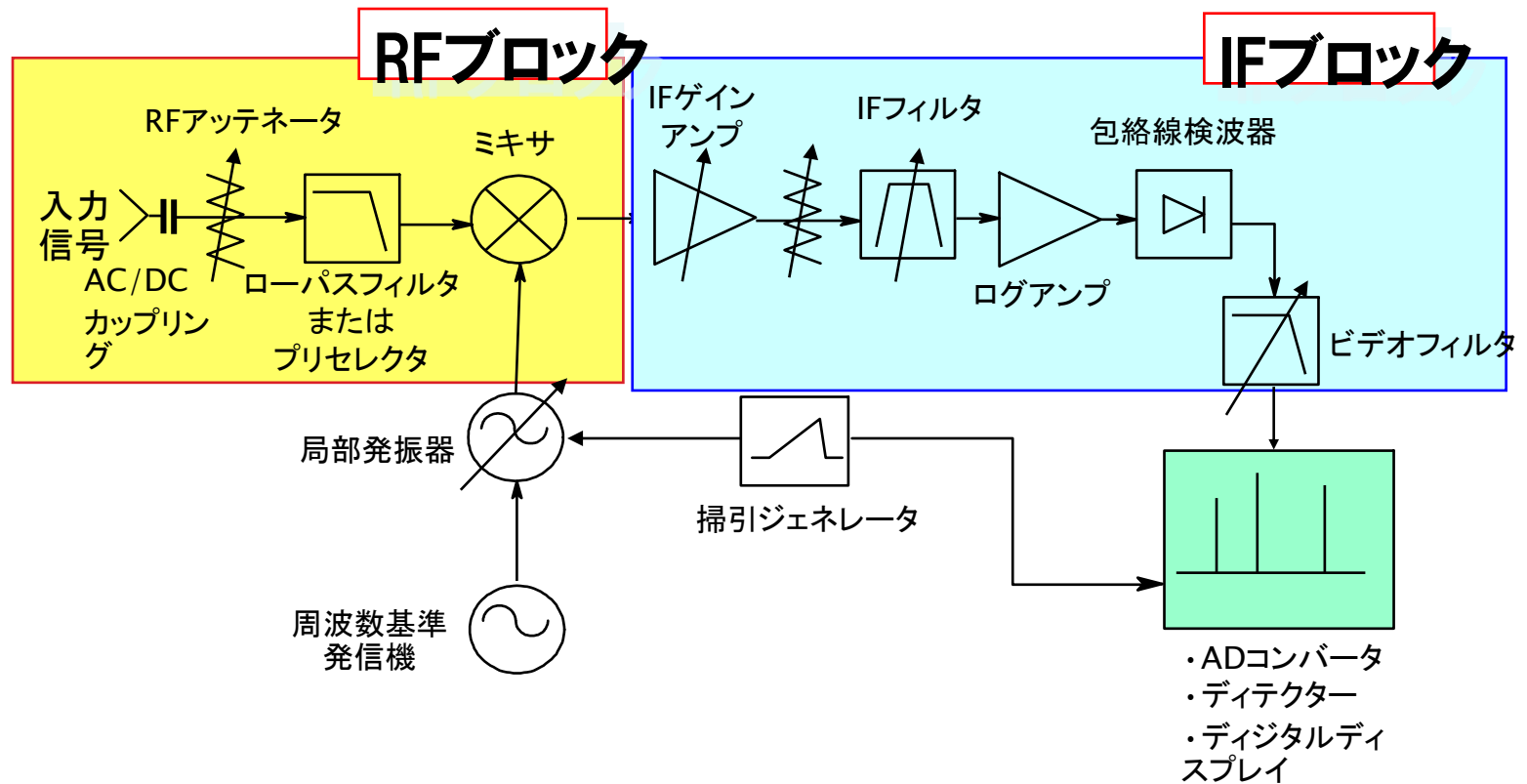


村田製作所：LLL317R71H103MA01（10nF、50V）

100MHz付近で共振、それ以上ではインダクタ！

# RFの測定

## スペクトラム・アナライザ

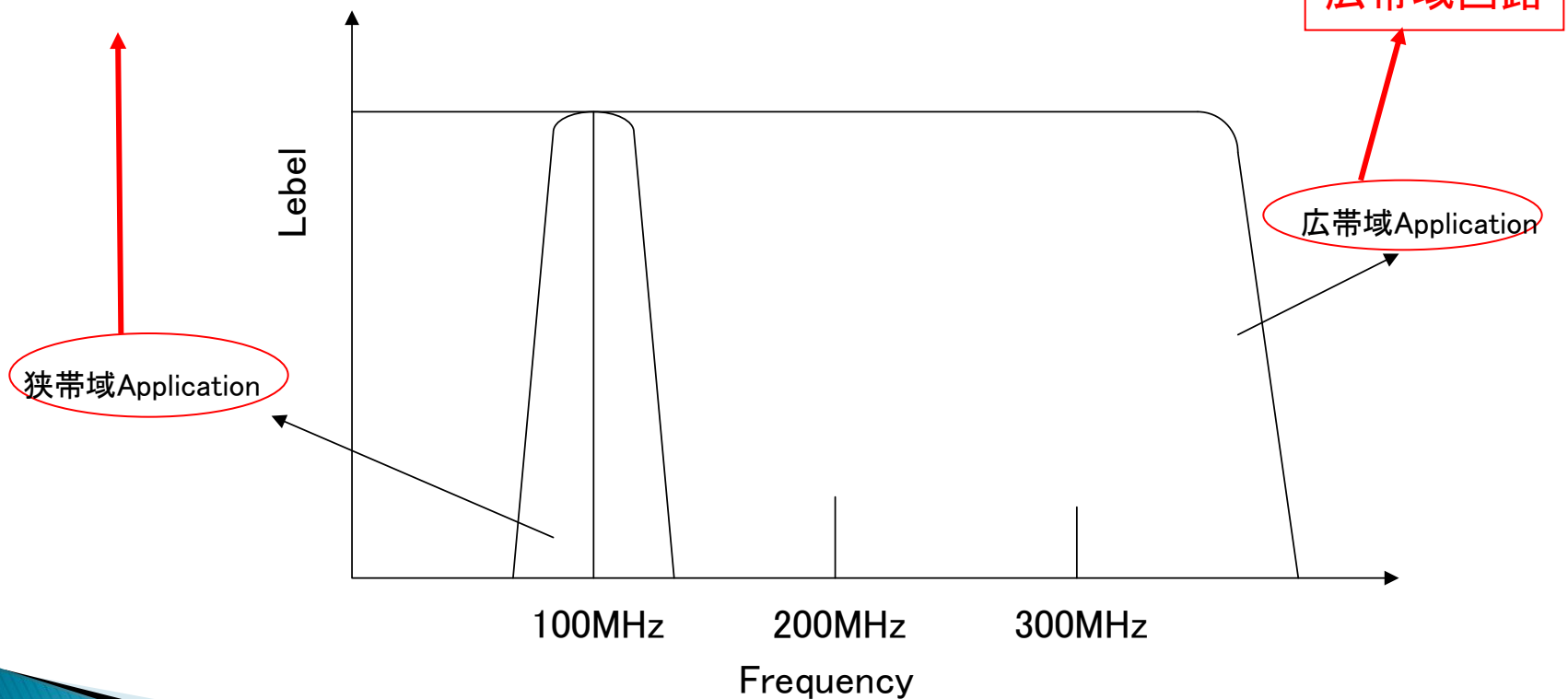


RFの測定を連続した直流測定に置き換えている

# RFの測定

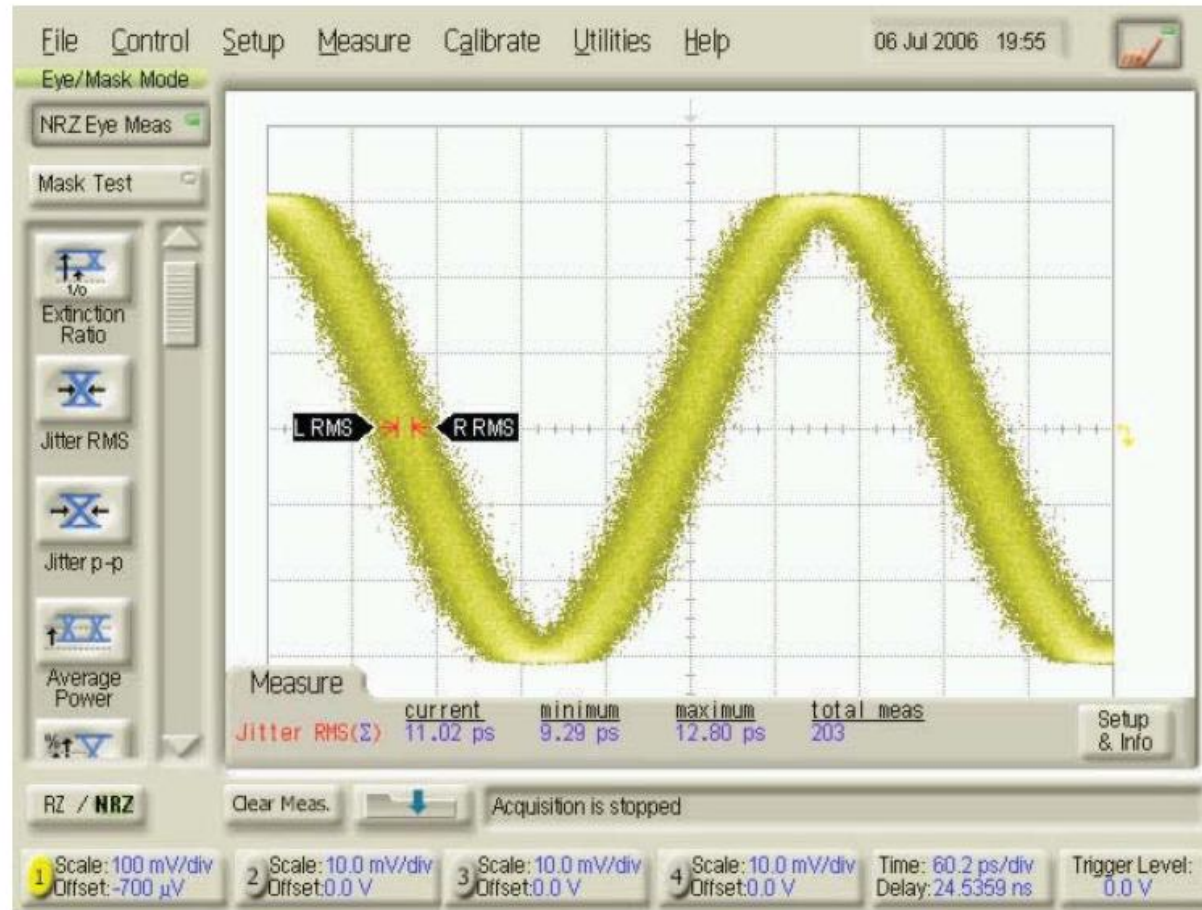
## 広帯域と高周波

ヘテロダインを前提とした回路の注目帯域



# RFの測定

## 位相雑音



# まとめ

- ▶ 電子計測における基礎的な事柄を集めてみました
- ▶ 何を測りたいのか？  
これは測定器が決めてはくれません。
- ▶ 結果を定量的に予測しておき、事故を防ぐ  
間違った使い方では、高性能測定器が台無し！  
間違いは、アナログ部分で起きやすい
- ▶ 予測には、知識も経験も必要です