

計測展2007

チュートリアル Part2

小室 貴紀

はじめに

測定器は高機能で便利になっている

測定器は複雑化して、原理が見えにくくなっている

測定器がBlack Box化している

最も単純な例を中心に基本的な内容を解説する
抵抗1～2本の回路を
マルチ・メータで測定する

講演の概要

1) 測定器の持つ誤差と使い方による誤差

抵抗とマルチメータを中心として

2) 設計と測定の融合

PCを使うと、Black Box化しやすいが・・・

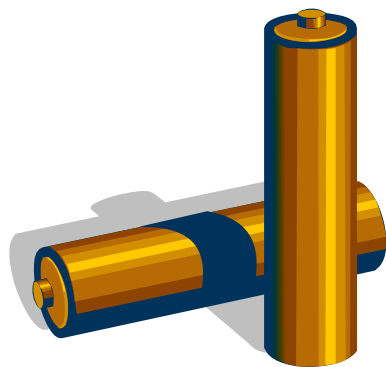
3) 新しい計測のヒント

複雑な計測の行き着くところ？

測定器の持つ誤差と使い方による誤差

電源と抵抗器だけの回路を例に

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：1k Ω
1 / 4W $\pm 5\%$



マルチ・メータ

測定器の持つ誤差と使い方による誤差

電源と抵抗器だけの回路を例に

$$V = I \times R$$

何が知りたいのか？

$$V = 1.5V$$

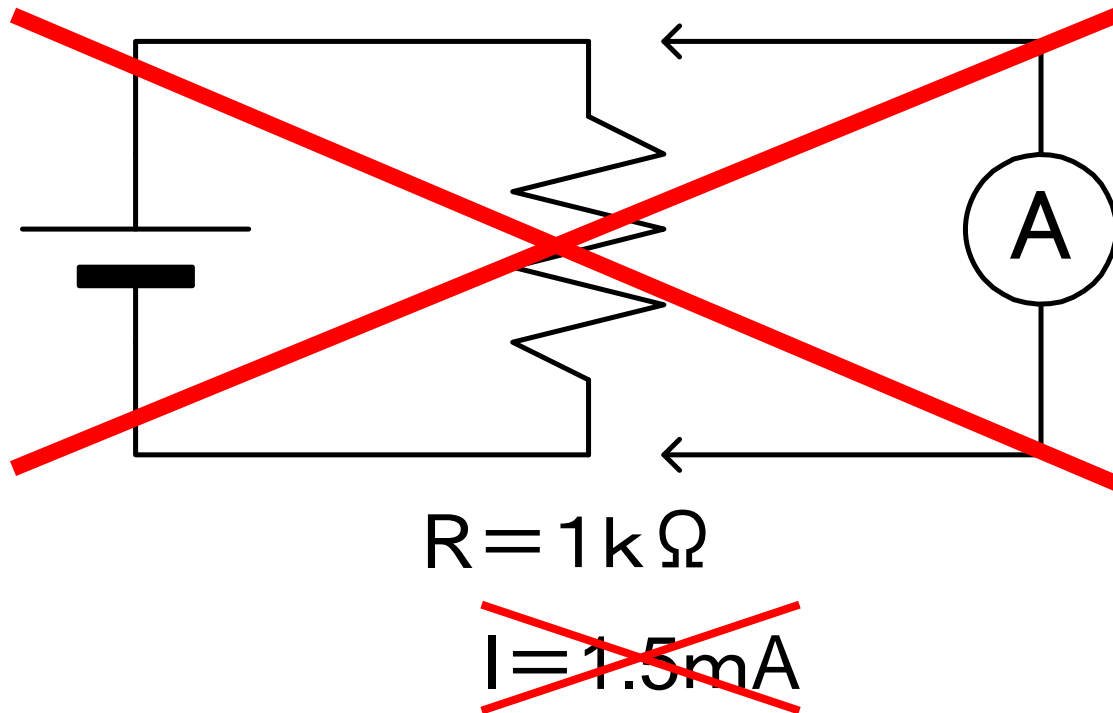
$$R = 1k\Omega$$

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

測定器の持つ誤差と使い方による誤差

電源と抵抗器だけの回路を例に

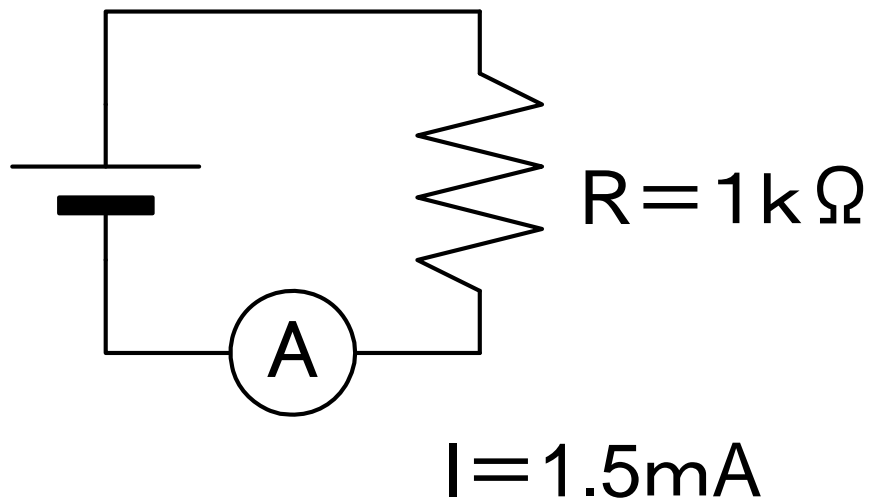
抵抗を流れる電流を測りたい？



測定器の持つ誤差と使い方による誤差

電源と抵抗器だけの回路を例に

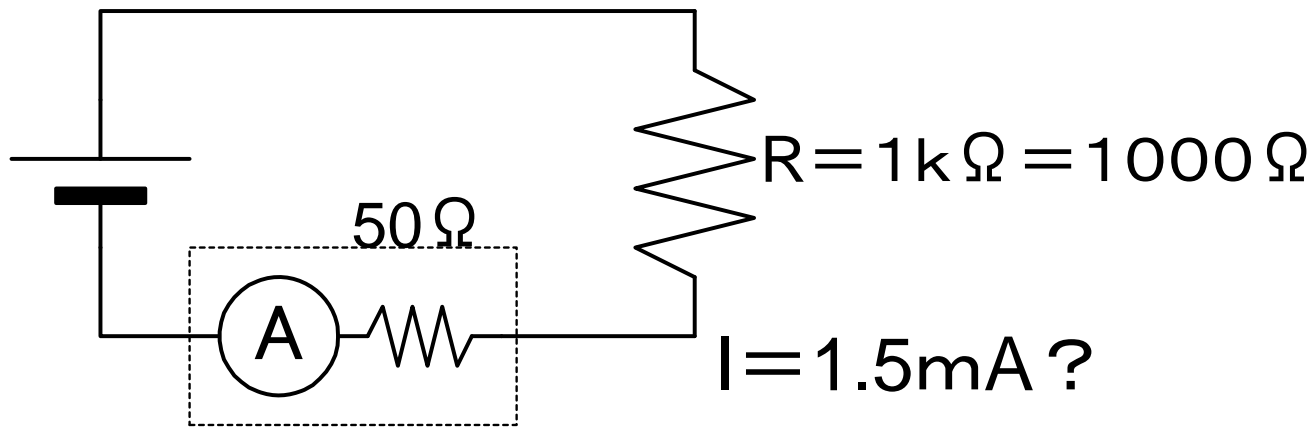
抵抗を流れる電流を測りたい？



測定器の持つ誤差と使い方による誤差

電源と抵抗器だけの回路を例に

抵抗を流れる電流を測りたい？



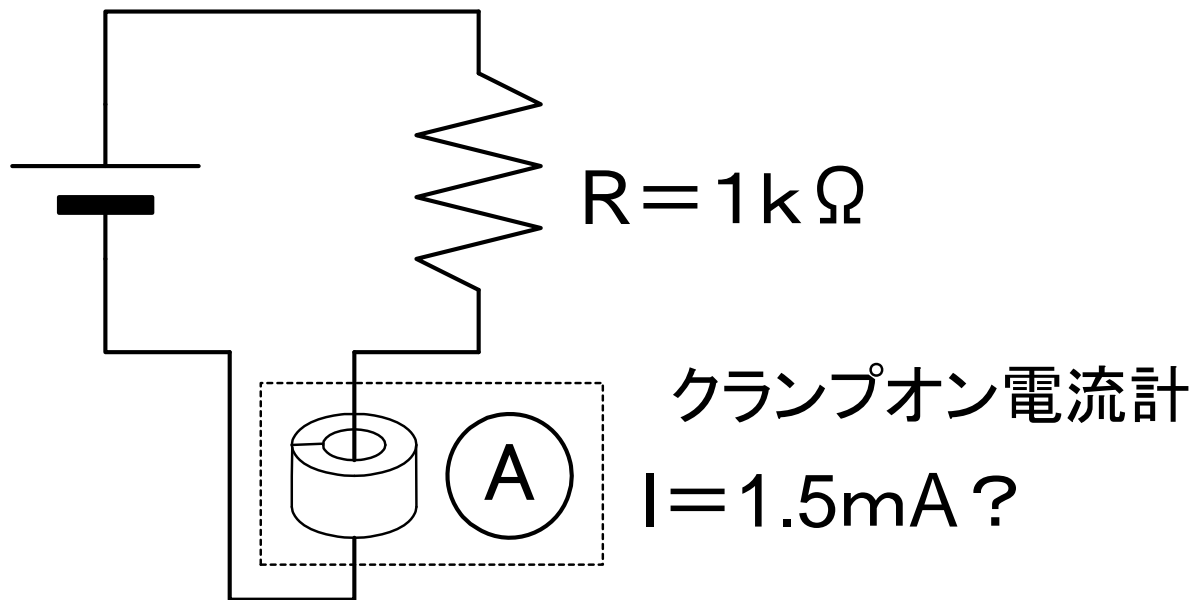
電流計モードでの等価抵抗の例: 10mAレンジで $50\ \Omega$
測定値が5%変わってしまう

<参考>シミュレータでは...

測定器の持つ誤差と使い方による誤差

電源と抵抗器だけの回路を例に

抵抗を流れる電流を測りたい？



測定器の持つ誤差と使い方による誤差

抵抗を流れる電流を測りたい？

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)

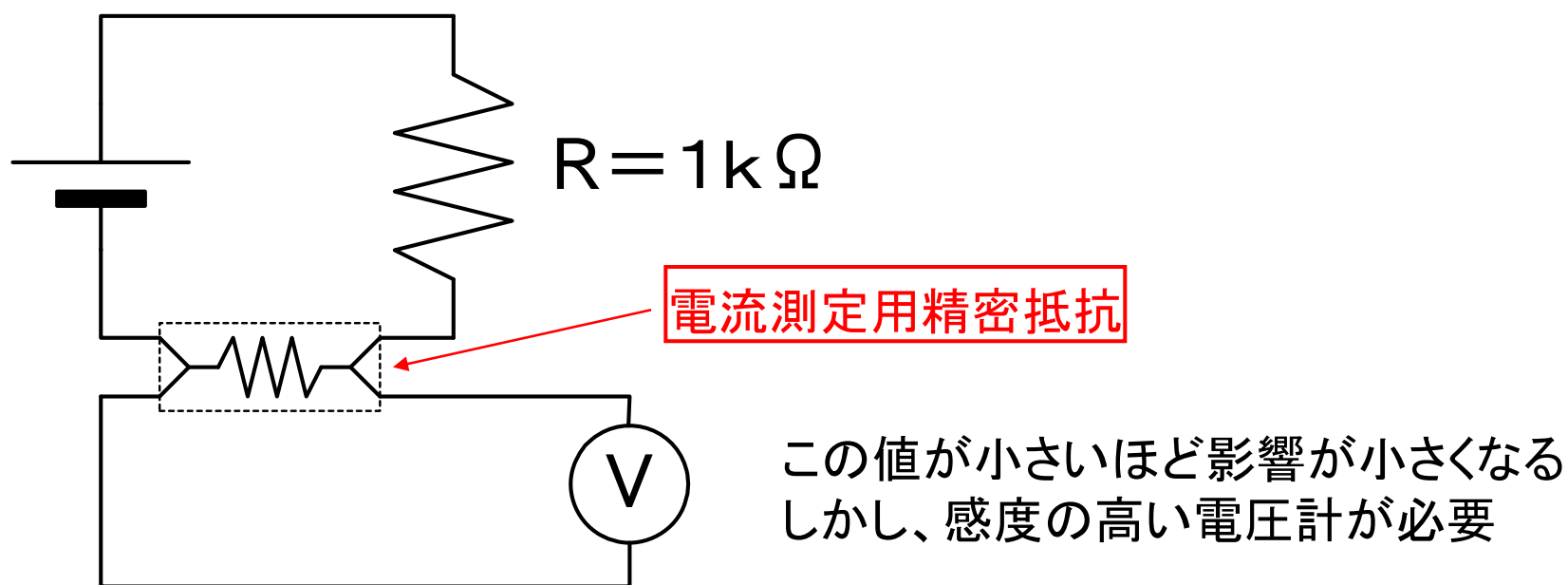
テストに取り付けるアダプターの例

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

測定器の持つ誤差と使い方による誤差

電源と抵抗器だけの回路を例に

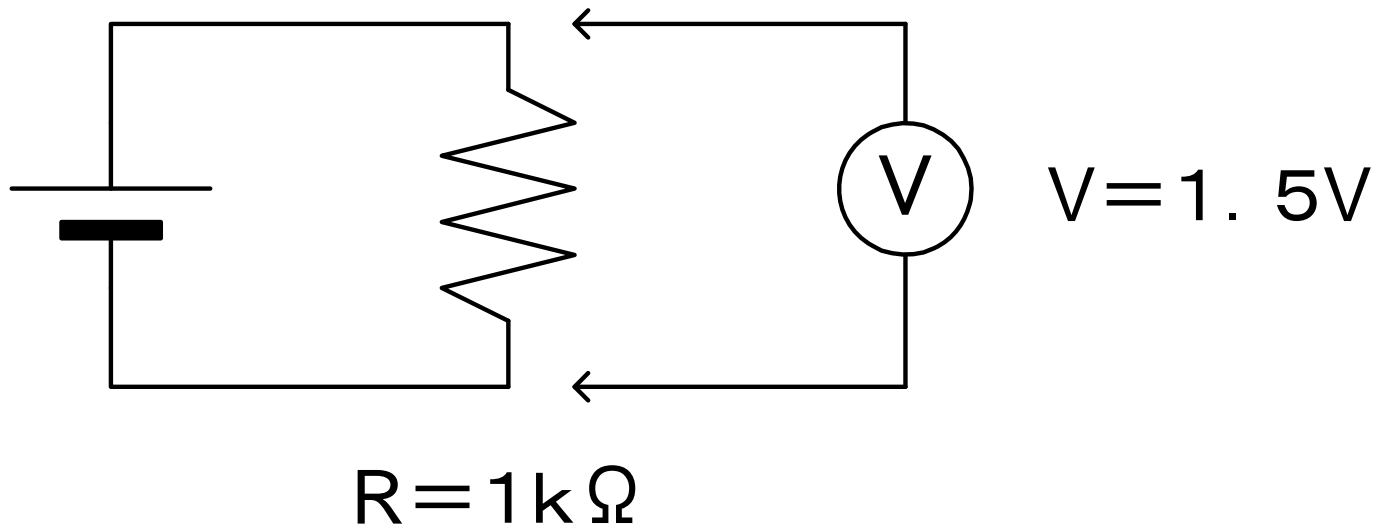
抵抗と電圧計で電流を測りたい？



測定器の持つ誤差と使い方による誤差

電源と抵抗器だけの回路を例に

抵抗負荷での電池の特性を測りたい？



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

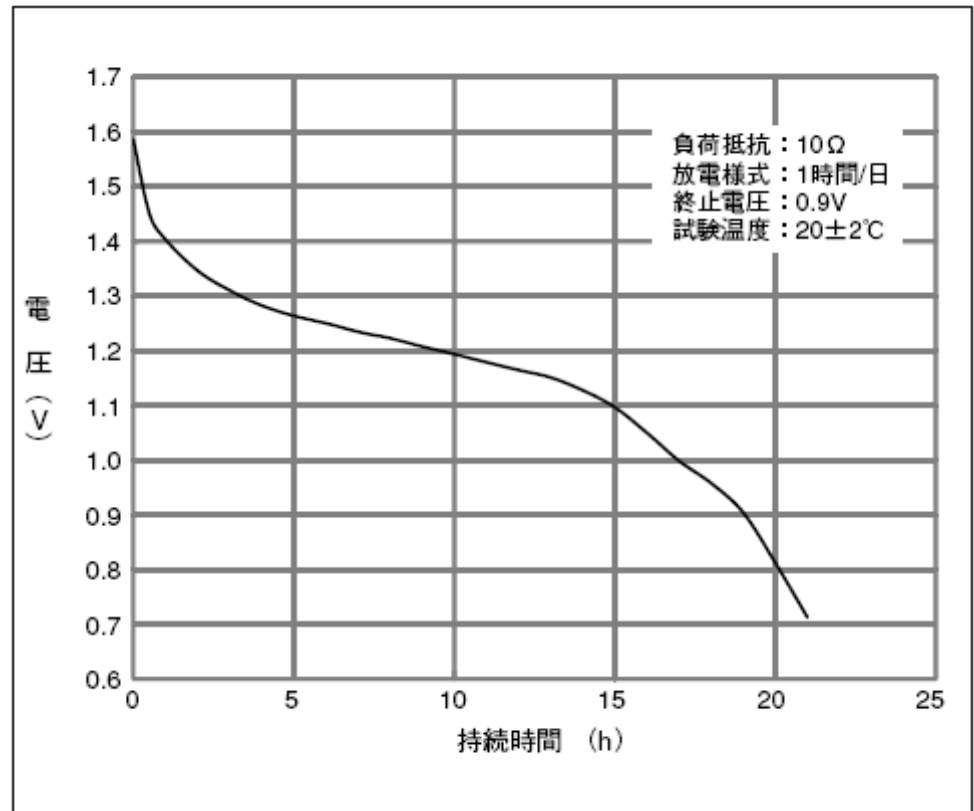
測定器の持つ誤差と使い方による誤差

抵抗負荷での電池の特性を測りたい？

LR6 (GW) OEM専用品



Panasonic社のカタログから引用



通電時間も測定したほうが良い・・・

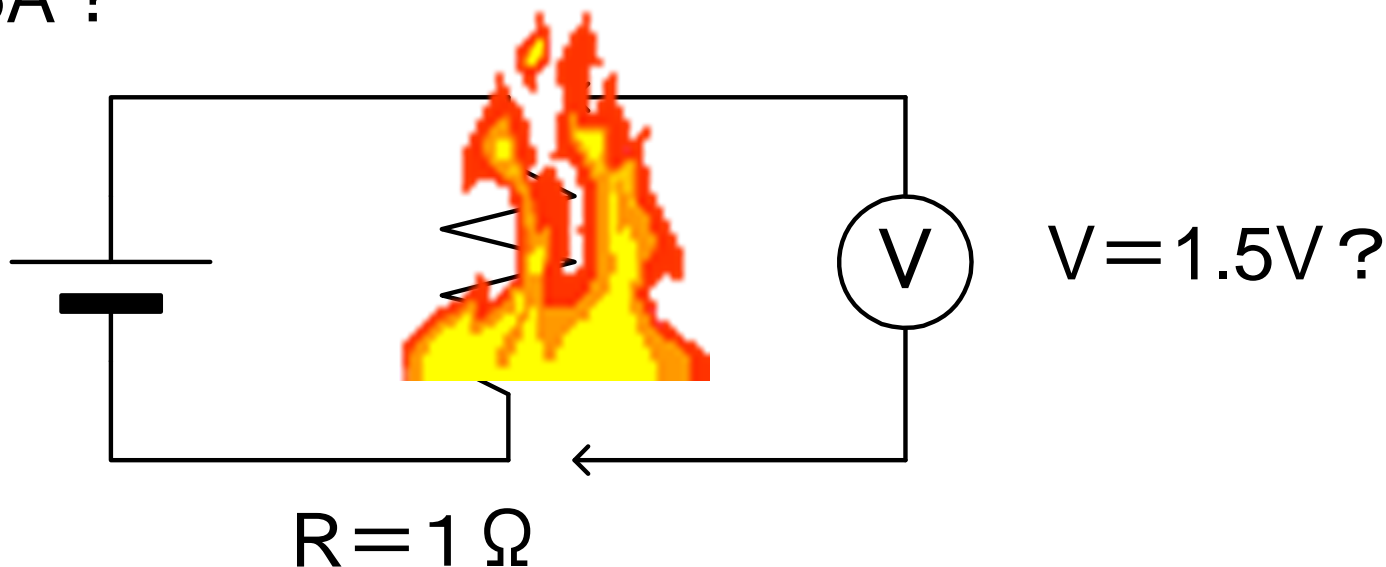
測定器の持つ誤差と使い方による誤差

電源と抵抗器だけの回路を例に

$$V = I \times R$$

$$P = I \times V = 2.25[\text{W}]$$

$$I = 1.5\text{A} ?$$



通電前に計算して、定量的に**予想**しておく！

測定器の持つ誤差と使い方による誤差

ここまでのまとめ

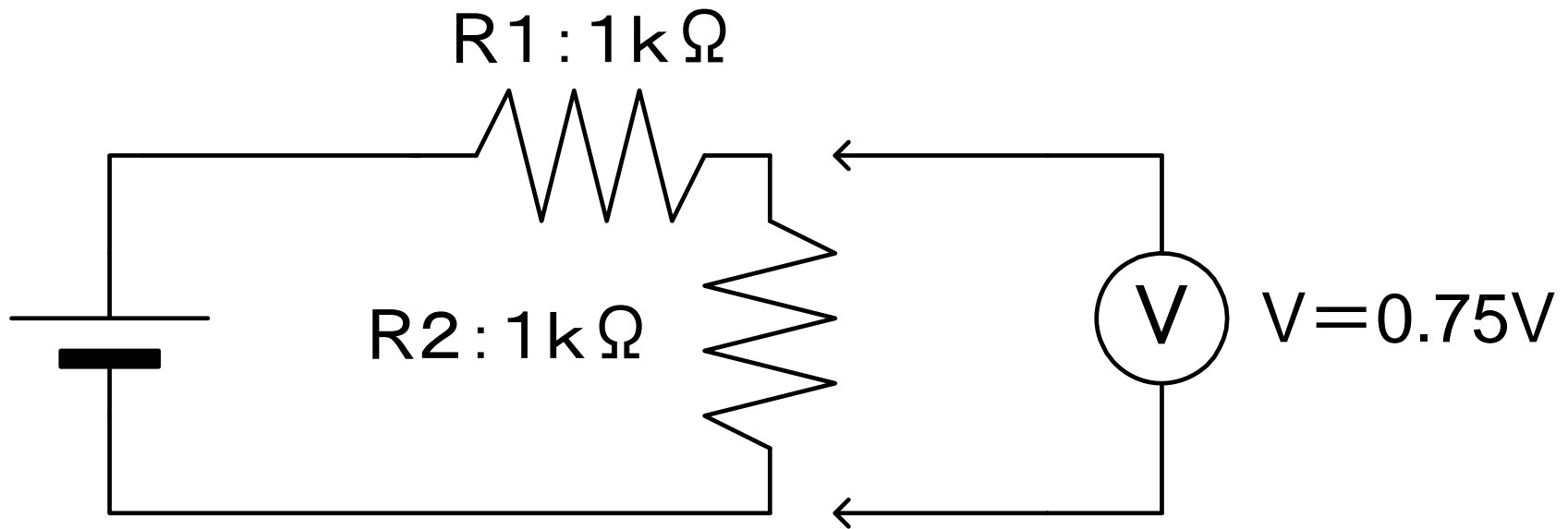
- 1) **何を知りたいのか？** を明確にする
どう測定するか？ はその次
- 2) 実験前に、**予想**を立てておく
正常な動作とは？
過去の経験(=失敗?)からの教訓

では、予想を立てる練習をしてみましよう！

測定器の持つ誤差と使い方による誤差

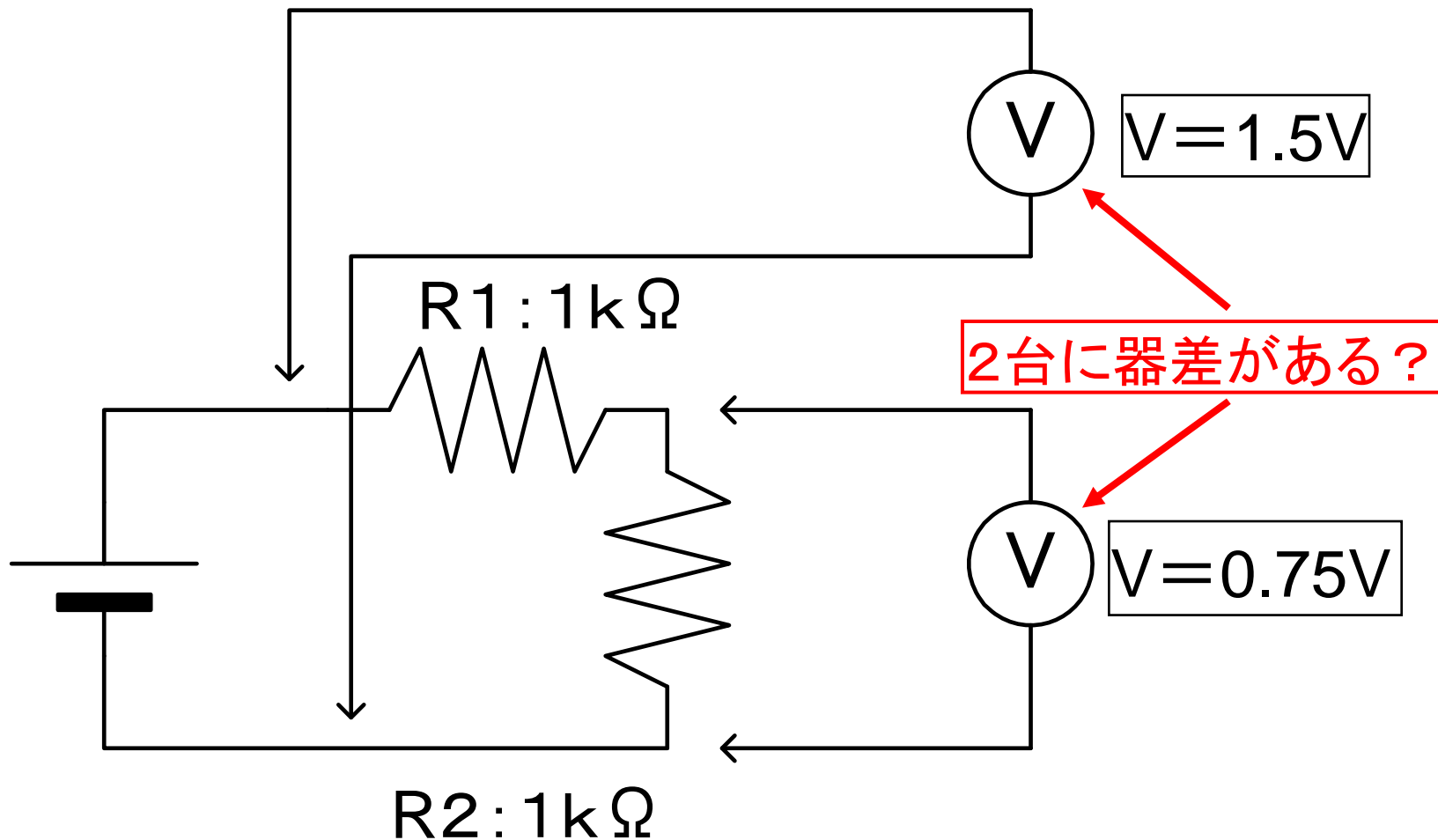
電源と抵抗器だけの回路を例に

分圧回路が正しくできているか？



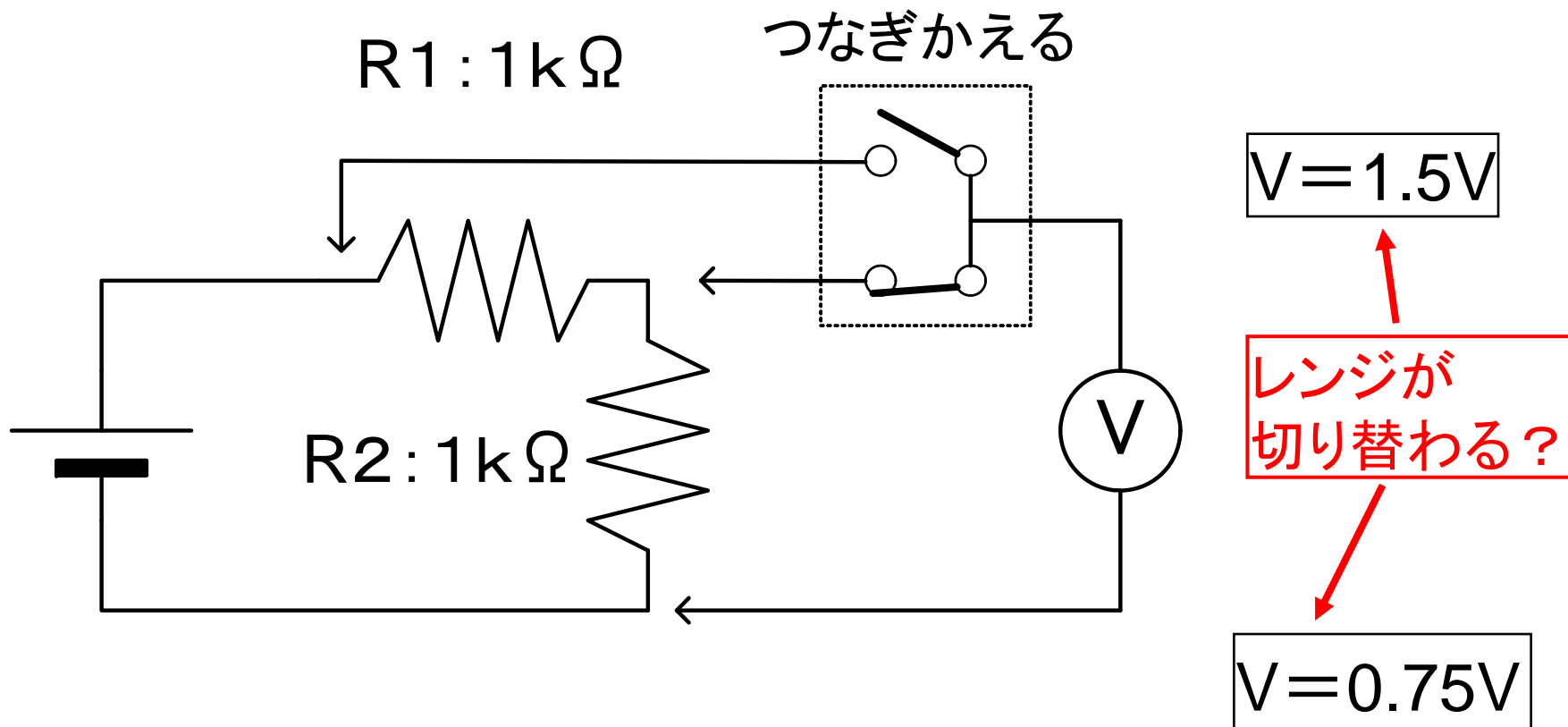
測定器の持つ誤差と使い方による誤差

電源と抵抗器だけの回路を例に



測定器の持つ誤差と使い方による誤差

電源と抵抗器だけの回路を例に



測定器の持つ誤差と使い方による誤差

マルチメータの性能表示

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

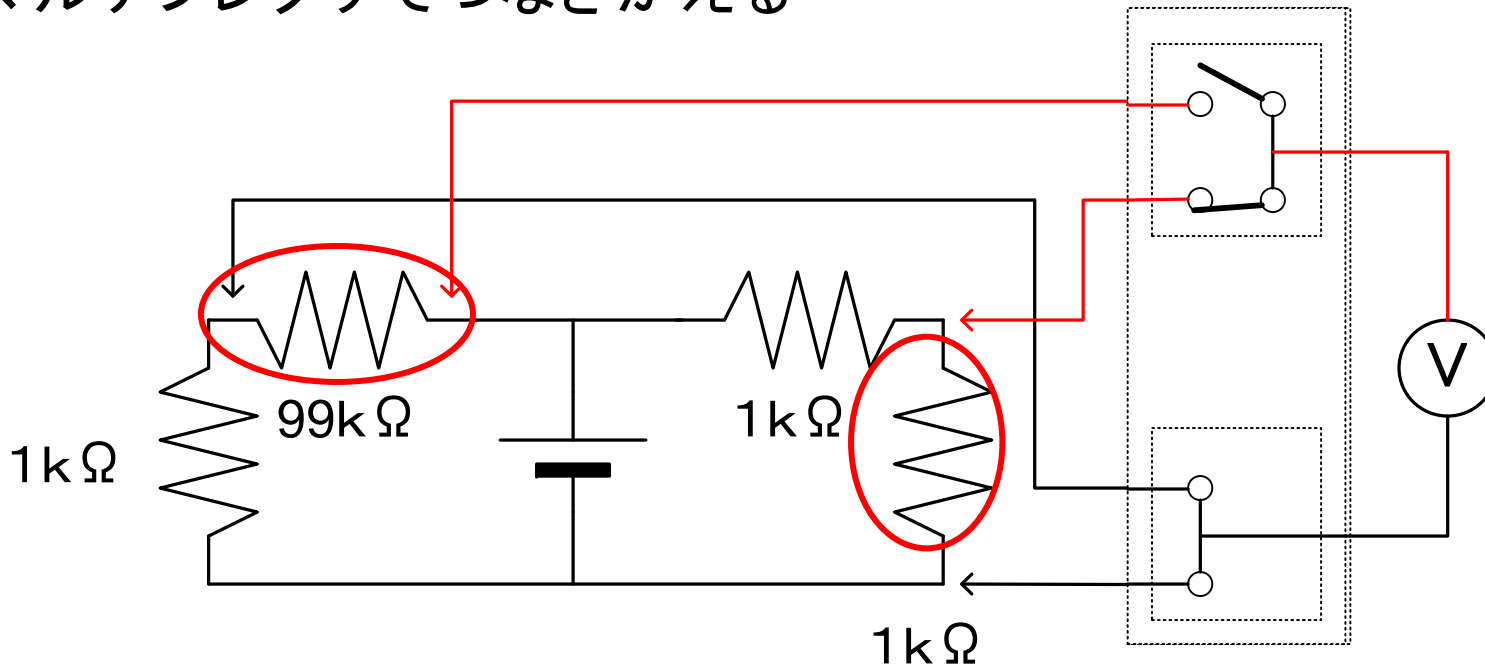
同じレンジを使うのであれば、1)の分は含まれない

測定器の持つ誤差と使い方による誤差

電源と抵抗器だけの回路を例に

片切マルチプレクサ

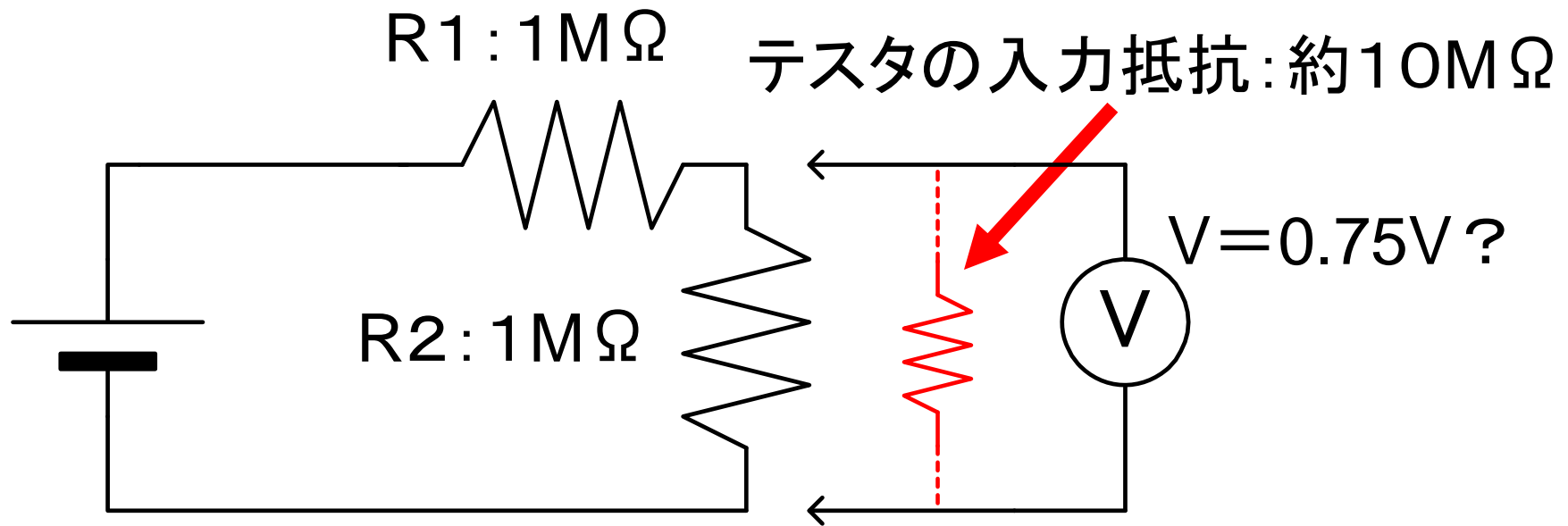
マルチプレクサでつなぎかえる



思わぬ場所が短絡される！

測定器の持つ誤差と使い方による誤差

電源と抵抗器だけの回路を例に



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・・・

測定器の持つ誤差と使い方による誤差

<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	精度、±(読み値の%+最下位桁の数)	
				U1241A	U1242A
電圧 ^[1]	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 μA	0.1 μA	<0.06 V (50 Ω)	0.1%+3	
	10000 μA	1 μA	<0.55 V (50 Ω)	0.1%+3	
	100.00 mA	0.01 mA	<0.18 V (0.5 Ω)	0.2%+3	
	400.0 mA ^[2]	0.1 mA	<0.9 V (0.5 Ω)	0.5%+3	
				+5	
抵抗 ^[4]	1000.0 Ω ^[5]	0.1 Ω	0.5 mA	0.3%+3	
	10.000 kΩ ^[5]	0.001 kΩ	50 μA		
	100.00 kΩ	0.01 kΩ	4.91 μA		
	1000.0 kΩ	0.1 kΩ	447 nA	0.8%+3	
	10.000 MΩ	0.001 MΩ	112 nA		
	100.00 MΩ ^[6]	0.01 MΩ	112 nA		
ダイオード・テスト ^[7]	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50Ωの抵抗が入る

[1] 入力インピーダンス: 10MΩ (公称値)。

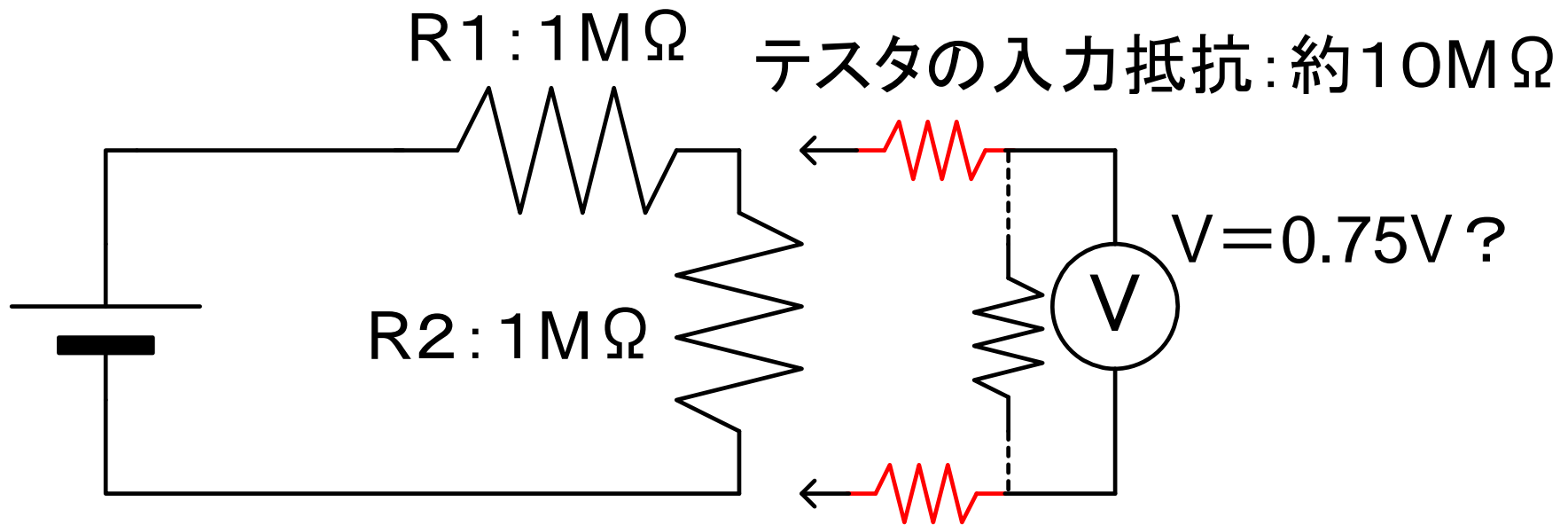
1MΩ級の高出力抵抗点の電圧を測るには低い



測定器の持つ誤差と使い方による誤差

電源と抵抗器だけの回路を例に

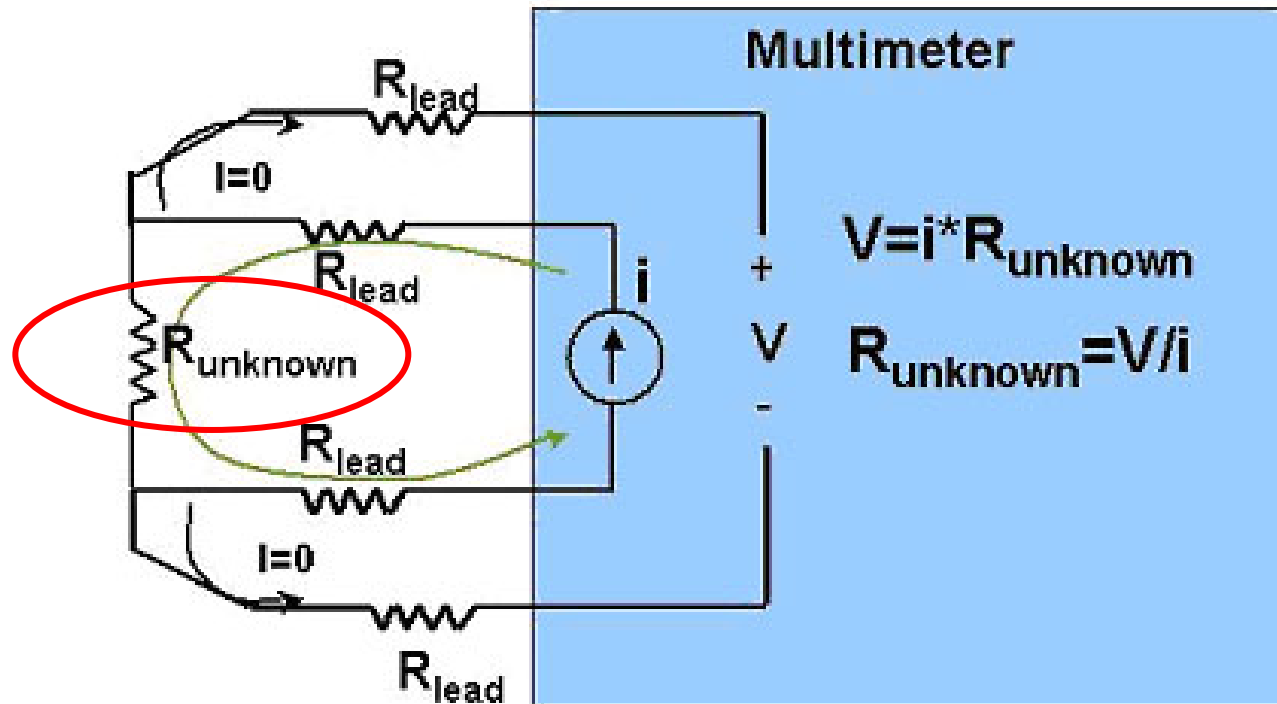
1 Ω 程度の配線抵抗



この場合、1 Ω 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

測定器の持つ誤差と使い方による誤差

<参考> 4端子による抵抗の測定



接続リード線の持つ抵抗の影響を受けない

測定器の持つ誤差と使い方による誤差

＜参考＞4端子抵抗測定機能を持つマルチメータの例

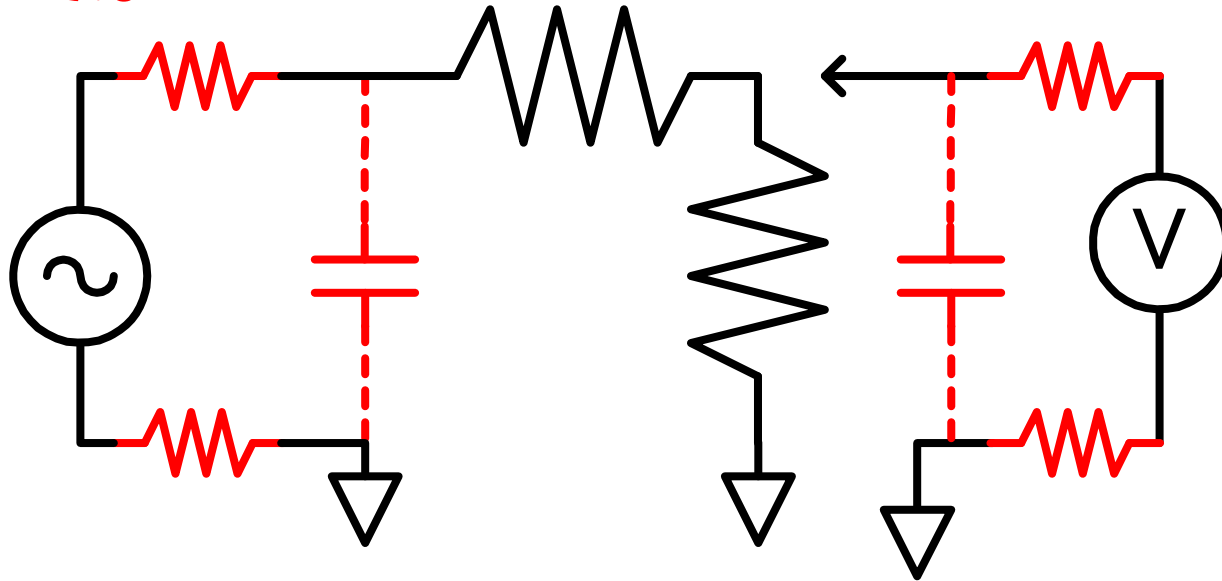


4端子抵抗測定用端子

次に抵抗の
自己発熱を追加

測定器の持つ誤差と使い方による誤差

RFでは？



抵抗はインピーダンスに
信号には周波数・位相などの要素も加わる
ケーブルも分布定数回路として振舞う

複雑化していく

測定器の持つ誤差と使い方による誤差

RF(高周波)測定では？ RF測定器のいろいろ

1) 信号源

2) パワーメータ

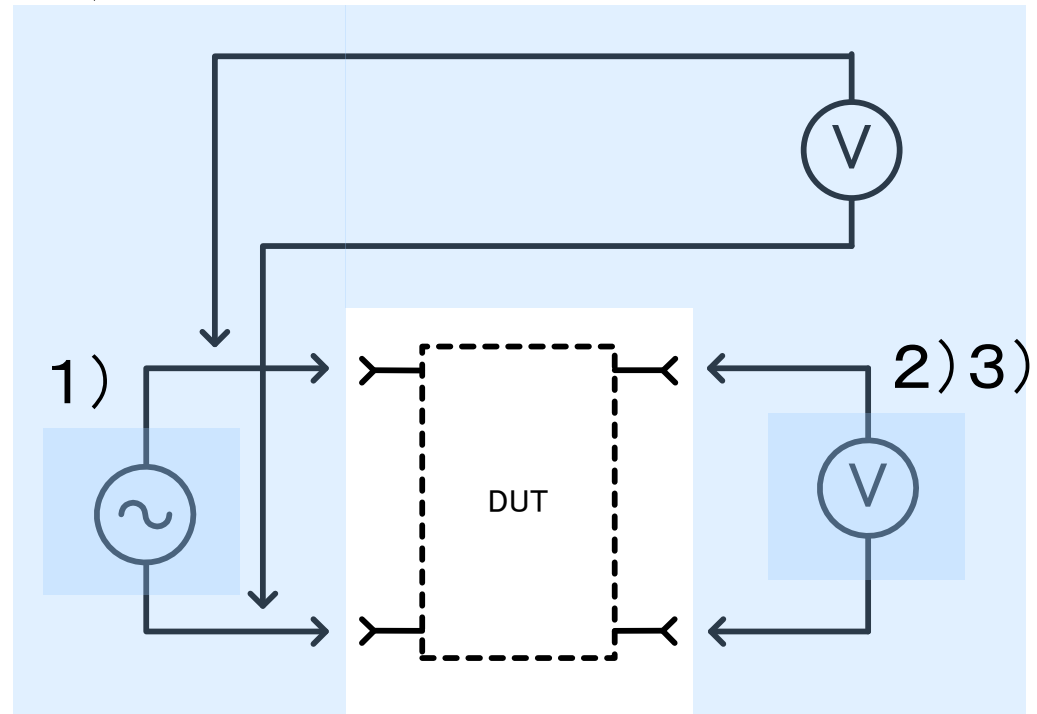
3) スペクトラム・アナライザ

4) ネットワーク・アナライザ

5) その他

NFメータ、周波数カウンタetc.

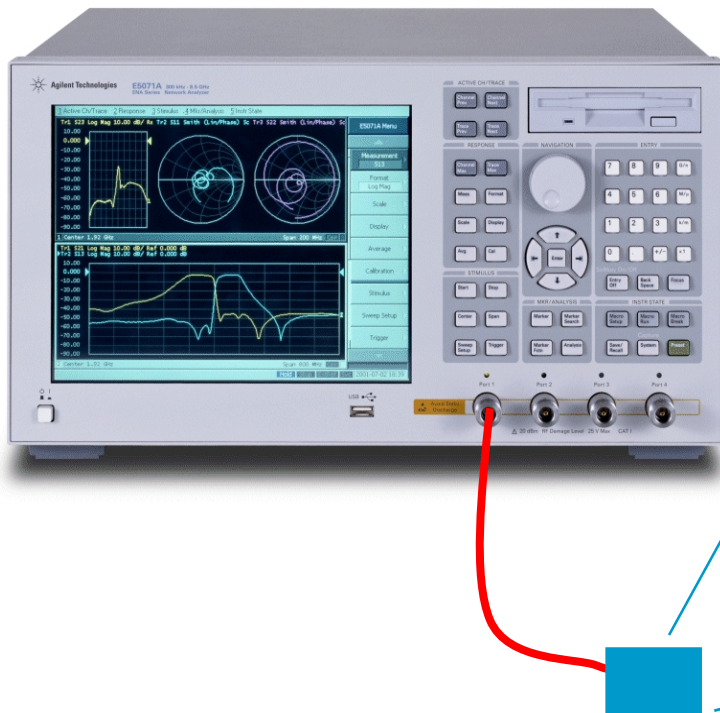
4)



DUT (Device Under Test)

測定器の持つ誤差と使い方による誤差

ネットワーク・アナライザで抵抗測定！



DUTは抵抗1本
(Device Under Test)

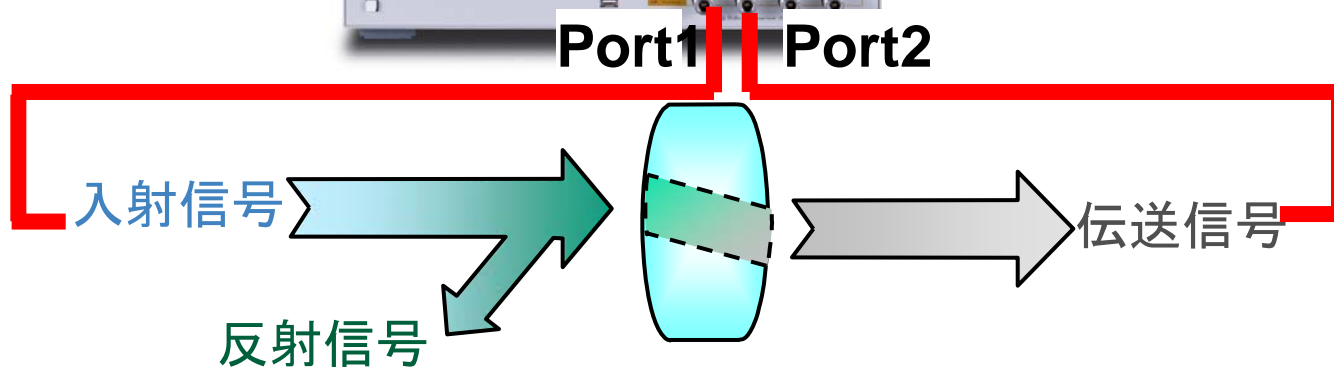
単純な例で、測定器を理解する

測定器の持つ誤差と使い方による誤差

RFでは？ ネットワーク・アナライザ



DUTまでのケーブルの影響も校正により取り除く



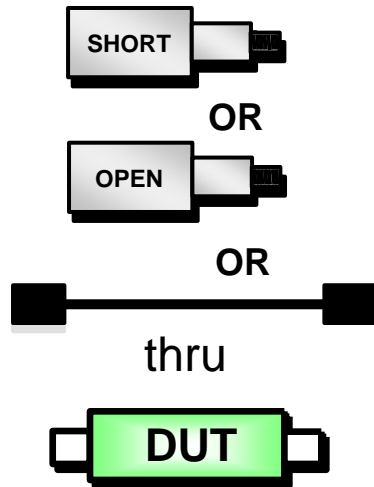
DUT (Device Under Test): 被測定物

- ・入射信号に対する反射信号の位相と振幅の変化を測定
- ・入射信号に対する伝送信号の位相と振幅の変化を測定
- ・これらのデータをもとに、様々な表現方法でDUTの特性を表示する

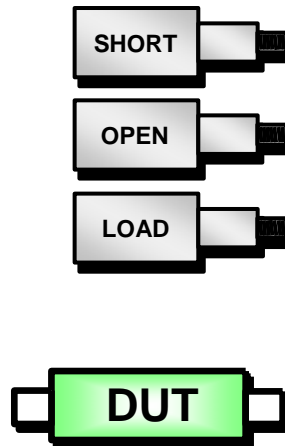
測定器の持つ誤差と使い方による誤差

ネットワーク・アナライザの校正の例

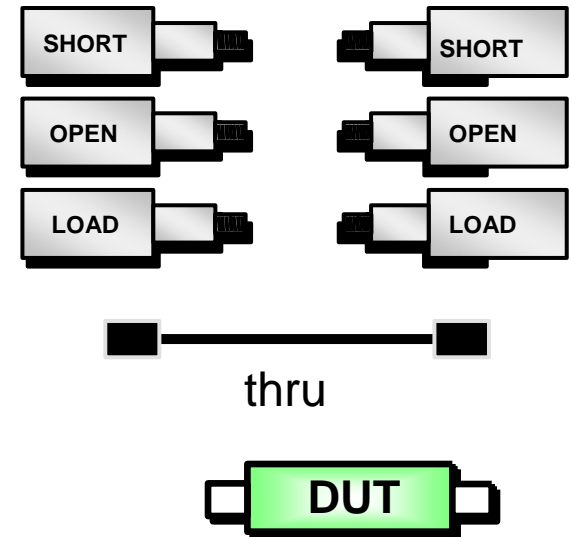
レスポンス校正



1ポート校正



フル2ポート校正



- ◎測定用ケーブルに標準器を取り付け校正を行う
- ◎フル2ポート校正は、最高の確度が得られる
(必要とされる確度によっては、軽便な校正で済む場合もある)

測定器の持つ誤差と使い方による誤差

<参考> 誤差の種類

(1) システマティック誤差

測定器とセットアップの不完全による誤差
時間応答性を持たないと仮定(予測可能)
校正により定量化され、計算により除去される

(2) ドリフト誤差

校正後の測定システムの状態変化による誤差
再校正によって除去可能
主な原因: 温度変動

(3) ランダム誤差

時間応答特性を持つランダム変動(予測不可)
校正によって**除去不可能**
主な原因: 雑音、再現性の無い接続など

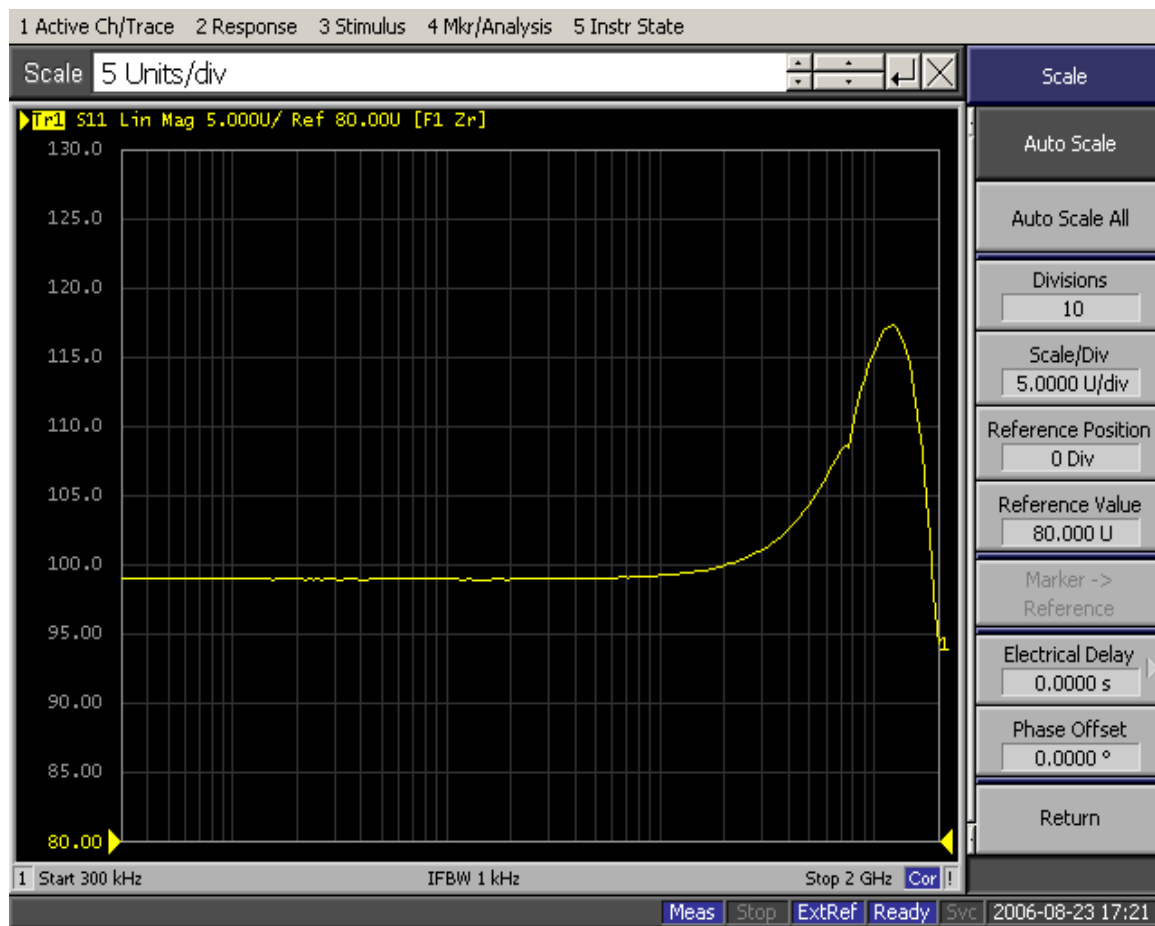
測定器の持つ誤差と使い方による誤差

ネットワーク・アナライザによる測定



抵抗1本

縦軸はインピーダンス表示
横軸は300kHz~2GHz(log)



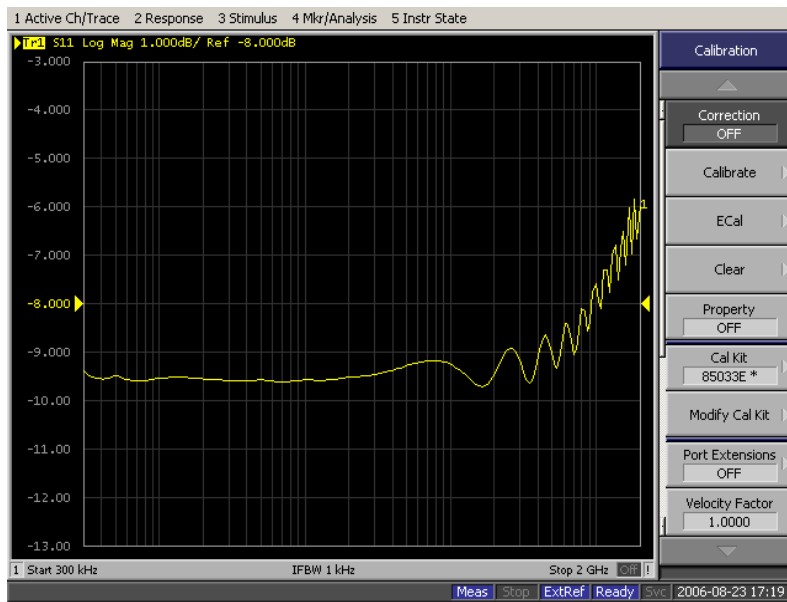
測定器の持つ誤差と使い方による誤差

ネットワークアナライザの校正の効果

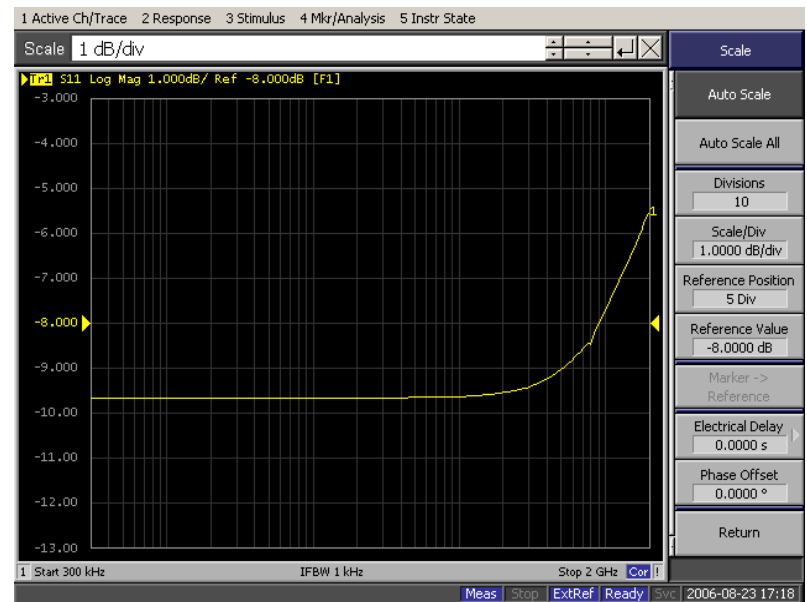
抵抗1本



縦軸はS11
横軸は300kHz~2GHz(log)



校正前



校正後

測定器の持つ誤差と使い方による誤差

ネットワーク・アナライザの原理を理解して活用するために

◎原理を理解している人に教わる

一例: ネットワーク・アナライザの基礎(2日間コース)

◎単純なものを測定して、原理を確認する

・抵抗1本 ・アッテネータ ・増幅器

◎一部の機能のみを使って自分の予想と比較する

・信号源だけ ・スペクトラム・アナライザとして
・反射計測のみ ・伝送特性を測る

◎シミュレータを併用して理解する

~~Black Box~~

測定器の持つ誤差と使い方による誤差 まとめ

◎測定の**目的**は何ですか？

◎何が起こるかを**予想**しておき実際の測定で確認する

- ・回路図は同じでも、現象が異なる場合がある
- ・回路に測定器を付けただけで、動作が変わる場合がある
- ・**誤差**・**誤動作**・**破壊**に至る場合がある
- ・全ての寄生素子が影響がある訳ではない

◎回路が**複雑**になると、関係するパラメータも増えていく

実は、測定器そのものの誤差が問題となるケースは比較的稀
むしろ、接続方法により問題が発生することが多い

設計と測定の融合 あるいは、コンピュータと計測

予想するには、**経験**が必要
地道に行くしかない！

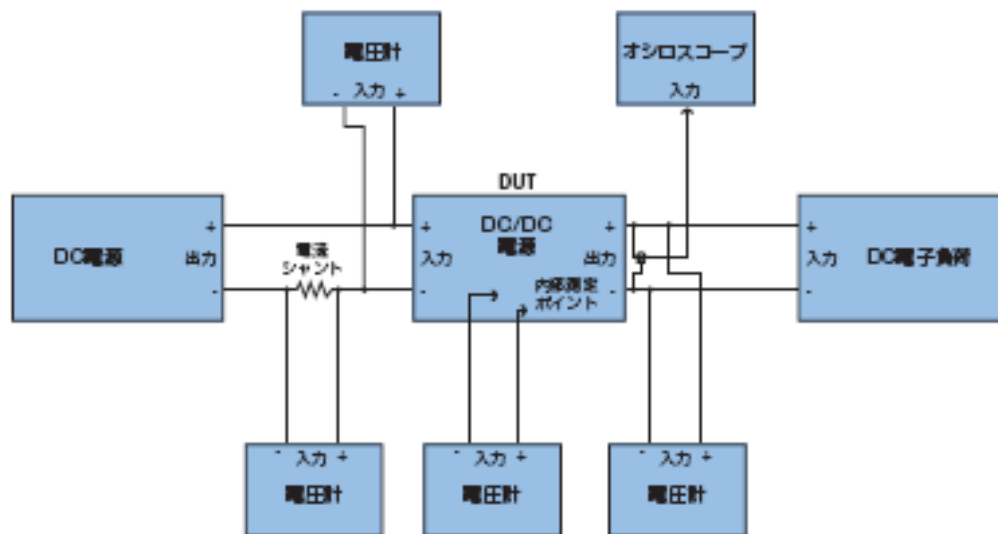
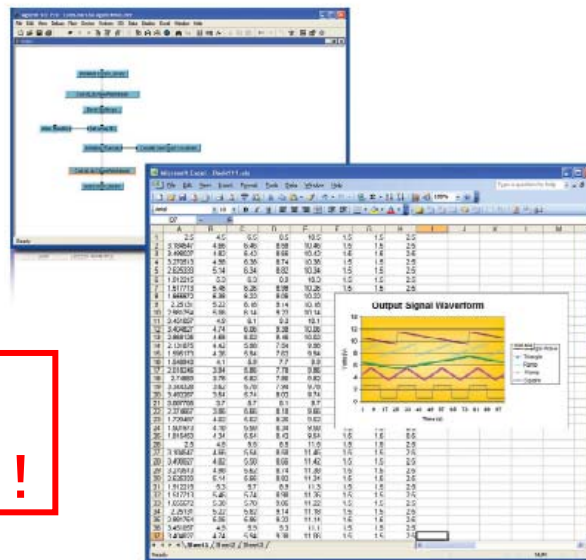
複雑さに対応するために
コンピュータの力を借りる

設計と測定の融合 あるいは コンピュータと計測

コンピュータと計測

- 1) データ処理
- 2) 測定器の制御

単なる
1 + 1ではない！



設計と測定の融合

あるいは コンピュータと計測

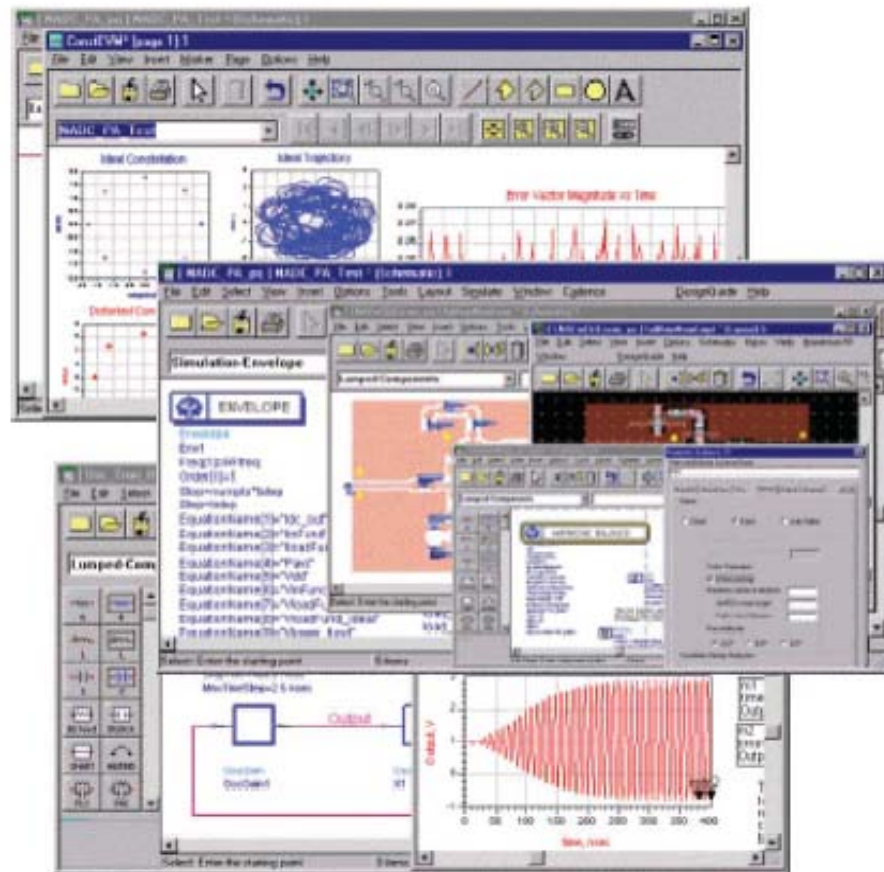
コンピュータを設計に用いる

1) CAD

回路図、レイアウト図etc.

2) シミュレーション

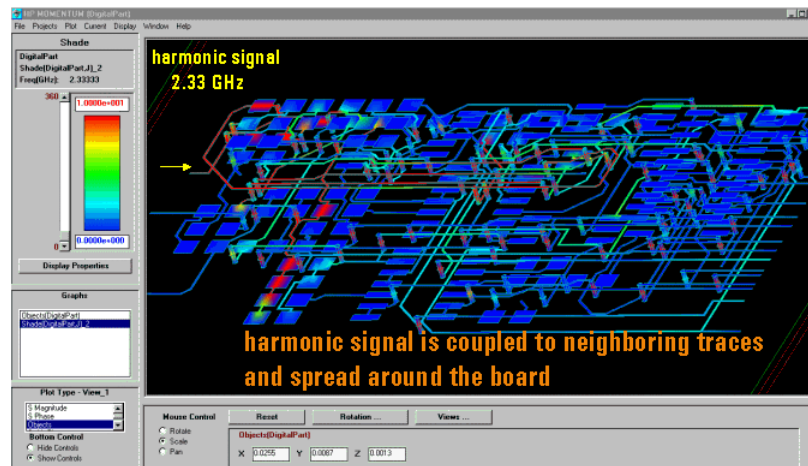
単なる
1+1ではない！



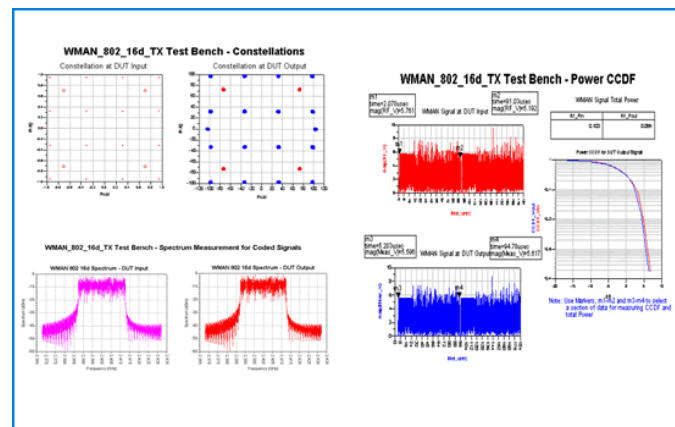
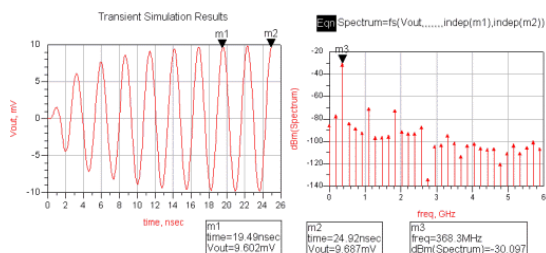
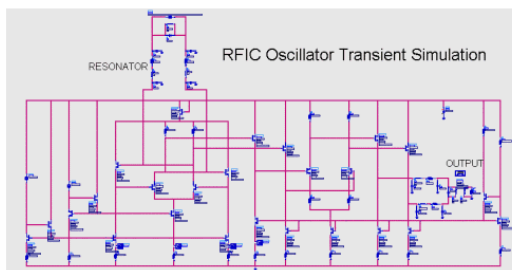
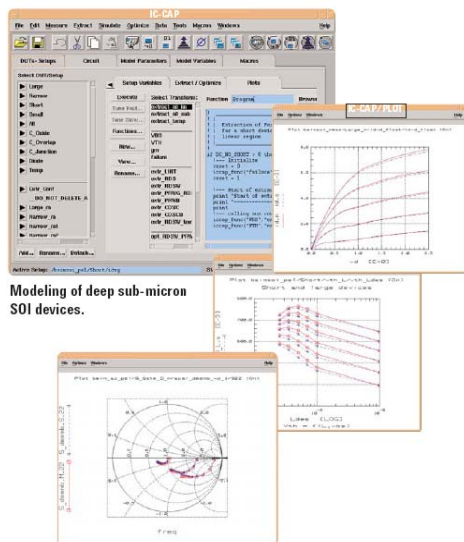
設計と測定の融合 あるいは コンピュータと計測

いろいろなシミュレータ

Digital Board Interconnect



電磁界シミュレーション



パラメータ抽出

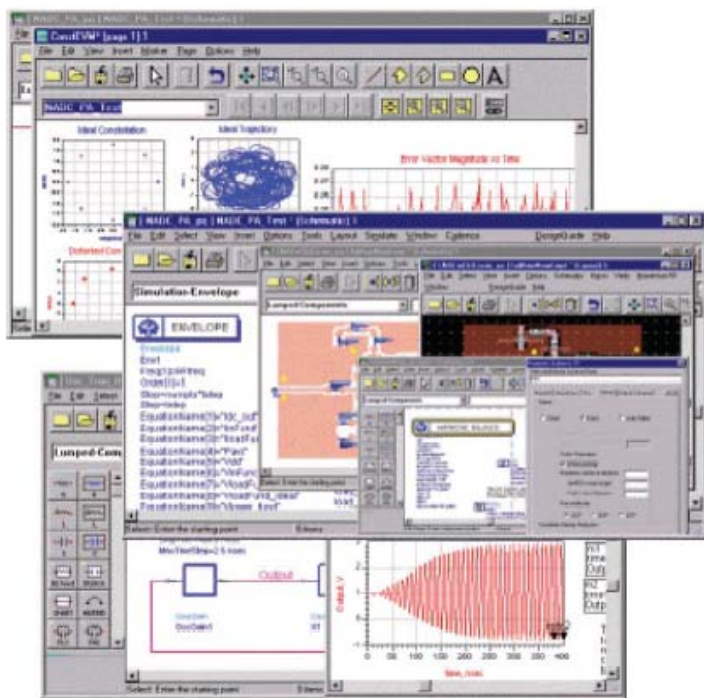
回路シミュレーション

システム・シミュレーション

設計と測定の融合

あるいは コンピュータと計測

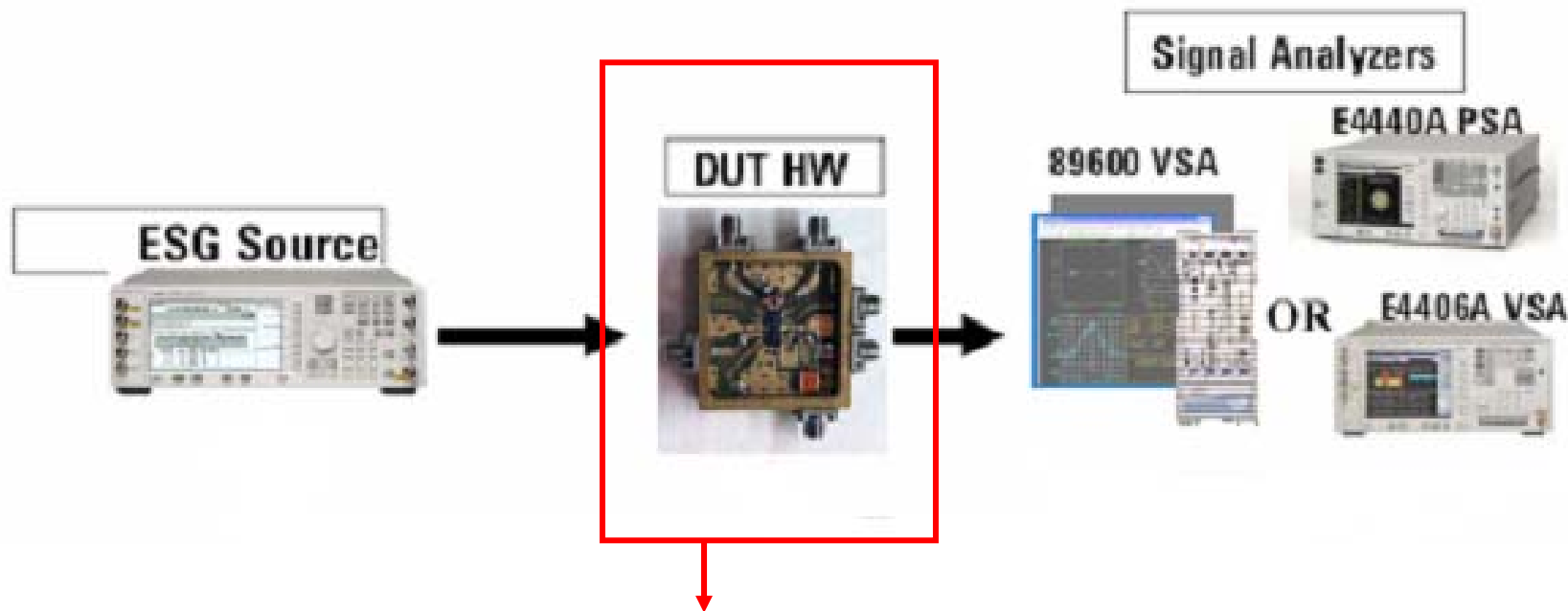
統合環境：シミュレーションと実測が一体となる、さらに・・・



設計と測定の融合

あるいは コンピュータと計測

測定器を用いて、実測: 全てリアル



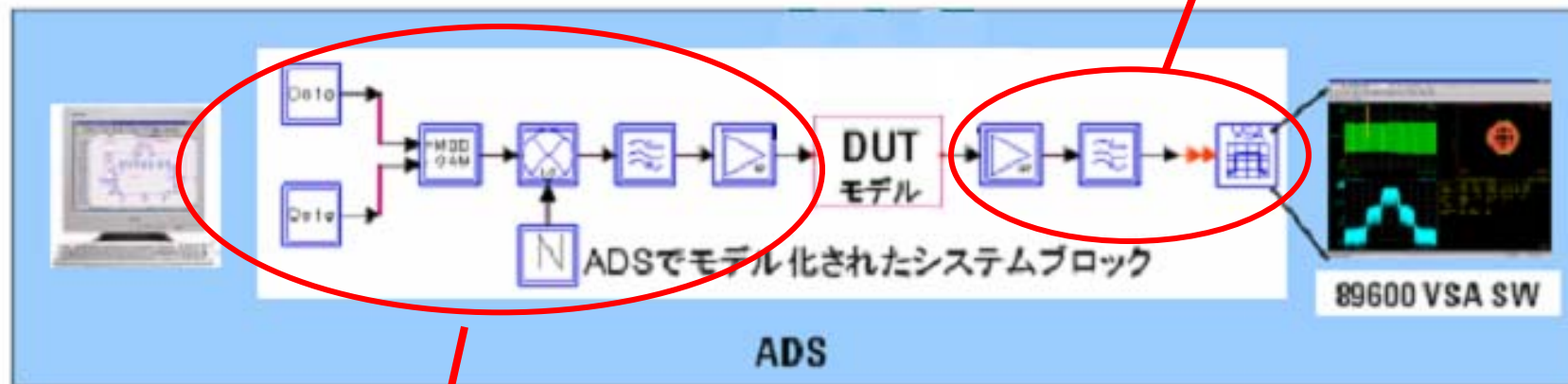
携帯電話の要素部品の開発例

設計と測定の融合

あるいは コンピュータと計測

シミュレータ上で、動作を記述: 全てバーチャル

信号処理をシミュレータ上で実現

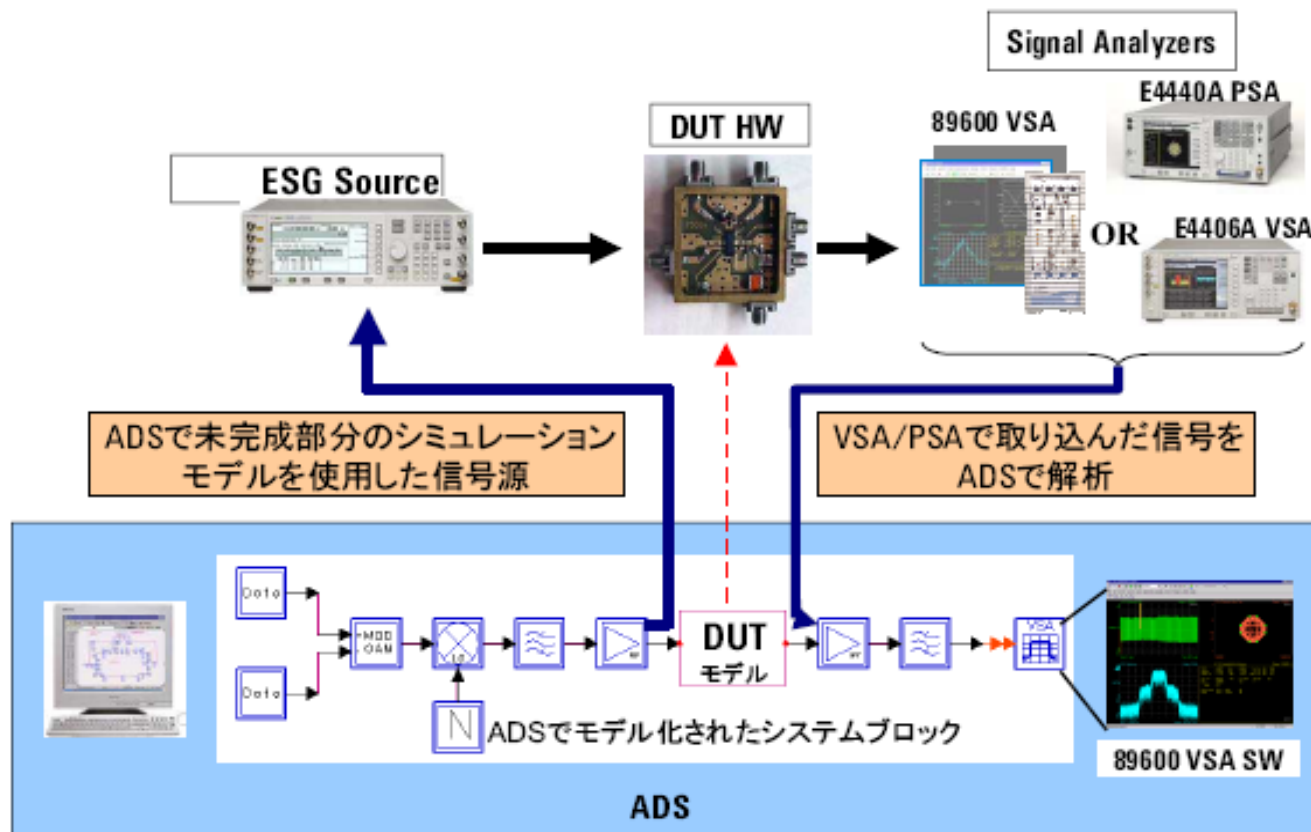


信号源をシミュレータ上で表現

設計と測定の融合

あるいは コンピュータと計測

システムの任意の部分を「実物」or「シミュレーション」で



設計と測定の融合

あるいは コンピュータと計測 まとめ

◎開発対象はどんどん複雑化している

◎複雑化に対応するために、コンピュータの力を借りる

- ・設計と計測の統合環境を使いこなす
- ・もちろん基本的な現実世界(リアル)の理解は重要
- ・ソフトウェアの知識も必要

◎シミュレータを使って計測器に対する理解を深める

- ・理想化は単純化でもある

新しい計測のヒント

Black Box化の
果てにあるもの？

Interoperability？

新しい計測のヒント Interoperability



Wi-Fi CERTIFIED™ MAKES IT Wi-Fi
An Overview of the Wi-Fi Alliance Approach to Certification



www.wi-fi.orgより

無線LANの試験

無線部の設計最終試験・QA向け(GS-8600)
/量産向け(GS-8300) 総合試験システム

GS-8600



GS-8300



対応予定測定項目

IEEE規格試験

TELEC認証試験

オプション

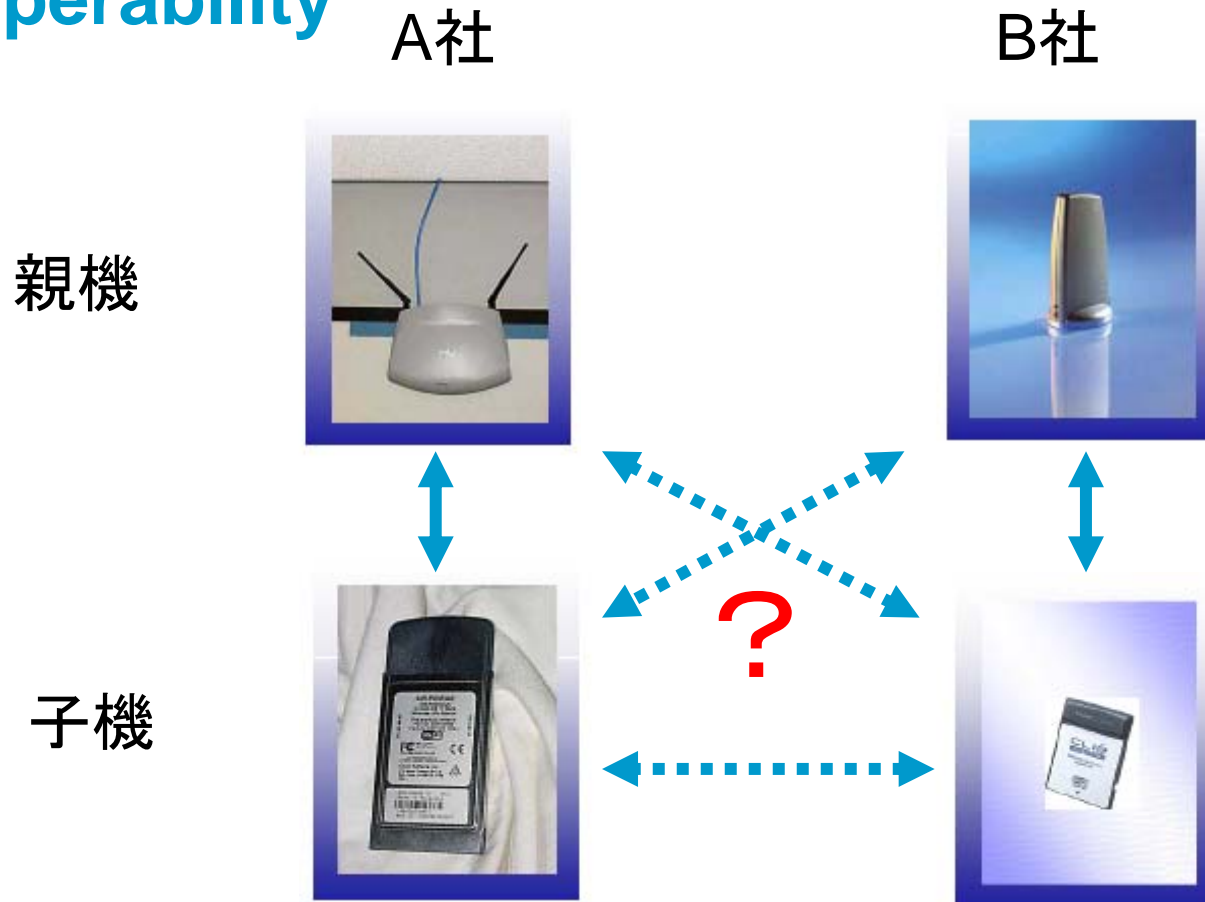
被測定物のコントロール

海外対応(FCCなど)

(2003年6月の資料)

無線LAN製品の性能を細かく検査する

新しい計測のヒント Interoperability



新しい計測のヒント

Interoperability

ICL: Interoperability Certification Labs



標準機器を所有

持ち込まれた機器と標準機器との接続を試験

→ 最後はシンプルな試験？

まとめ

現象を予想して実測で確認する
予想には経験が必要
開発対象は複雑化していく
支援してくれるもの PC
設計と計測の融合

再び計測について

目的は？ 手段は？