



17025計測環境で高抵抗計測の為、 デュアルソース技術と高分解能の計測器の活用

高抵抗の校正に使用するデュアルソース自動高抵抗ブリッジとNMIの現状を抵抗値 $10^6 \sim 10^{16}$ の範囲、電圧1kVで比較説明します。開発した計測装置はNMIで校正した標準抵抗と継続して実証比較校正しています。

比較校正した結果の説明に続いて、CLASのISO17025ブリッジの認証と続きます。実証検証は10GΩと100TΩで実施しています、要求される不確かさは10GΩで15ppm、100TΩで1000ppmになります。この報告ではブリッジの校正、校正対象の不確かさ分析の順序で説明します。



デュアルソースブリッジ実証

一部変更したホイーストストーンブリッジ

1 技術的課題

- 1) 改善したNMIの、 E_N を使った認証された不確かさ説明を含め、デュアルソース技術で従来からのテラオーム技術を置き換える

2 実証内容

- 1) 開発した計測器のダイレクトとブリッジの計測モード、ソース電源と電気計測器の校正、関連する不確かさ
- 2) 最良の不確かさで計測する為に、抵抗の電圧係数を求める。

3 技術的な進展

- 1) 自動化した高抵抗校正が校正作業を単純化
- 2) デュアルソースブリッジ、抵抗校正
- 3) 実証内容と結果
- 4) 公的認証の為に必要な書類

4 結果



技術的課題



抵抗値 $10^6 \Omega$ to $10^{16} \Omega$
改良した計測不確かさ

抵抗器は技術を校正するために使用します。
(代用の方法)

計測精度は我々の希望には不十分でした。

一部、変更したホイートストンブリッジです。これを抵抗校正に活用します。
(抵抗ビルドアップ、ビルドダウン、代用の方法、そして既存テラオームメータの置換です。)



NMI 不確かさ と 使われている技術

NMI国研機関: NPL (イギリス)

不確かさ: $0.4 \mu\Omega/\Omega$ at $100M\Omega$

技術: 高抵抗CCC

NMI国研機関: NIST (アメリカ)

不確かさ: 0.5 ppm at $100M\Omega$

技術: 高抵抗 CCC

不確かさ: $300 \mu\Omega/\Omega$ at $100T\Omega$

技術: 一部変更したホイートストーンブリッジ

NMI国研機関: METAS (スイス)

不確かさ: $300 \mu\Omega/\Omega$ at $100T\Omega$

技術: 一部変更したホイートストーンブリッジ

テラオームメータの技術

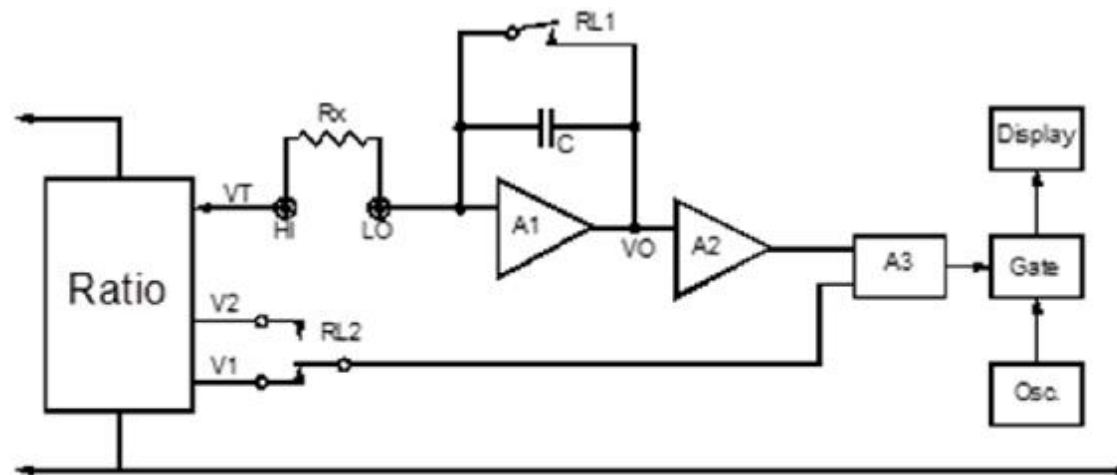


Figure 1 TeraOhmmeter

抵抗器 R_x の値は、アンプA1の出力電圧 V_o が V_1 から V_2 に変化する時間を dt とし、フィードバックコンデンサ C と試験電圧 V_t を使って、次の式で求めます。

$$R_x = \frac{V_t}{C} / \left(\frac{V_2 - V_1}{dt} \right)$$



MIL が調査した高抵抗校正の現状 (2013以前)

カナダの規格協会が校正不確かさ

1GΩ TO 10 GΩ	13 to 200 ppm	テラオームメータを使った校正不確かさ		
10 GΩ TO 100 GΩ	200 to 250 ppm			
100 GΩ TO 1 TΩ	250 to 500 ppm			
1 TΩ TO 10 TΩ	500 to 1000 ppm			
10 TΩ TO 100 TΩ	1000 to 5500 ppm			

因みにMIL 100M は不確かさ 2ppmで認証



E_N

$$\frac{|(NMI_{DFM} - MIL_{DFN})|}{(DSU_{UNC}^2 + NMI_{UNC})^{1/2}}$$

ここで NMI_{DFM} はNMIの公称値からのズレ

MIL_{DFN} はMI校正の公称値からのズレ

DSU_{UNC} は期待する不確かさ

NMI_{UNC} はNMI校正証明書に記載の不確かさ

この解析の技術主体はNRCCです。



デュアルソースブリッジの実験

(一部、変更を加えたホイートストンブリッジ)

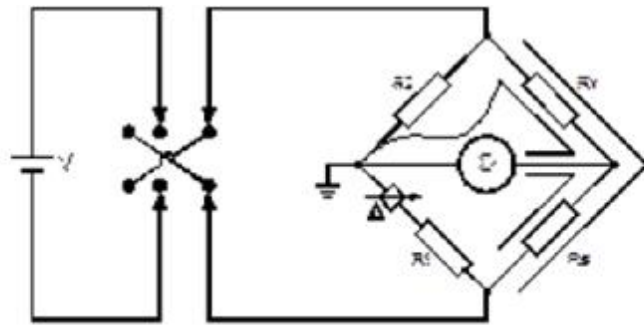


Figure 2 Wheatstone Bridge

ホイートストンブリッジ

$$\frac{R2}{R1+\Delta} = Rx/Rs$$

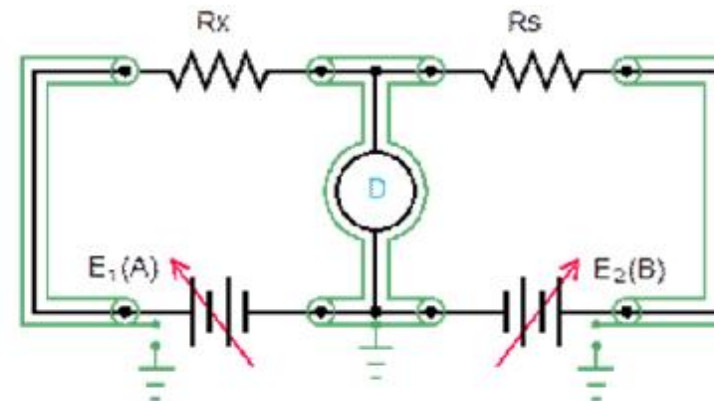


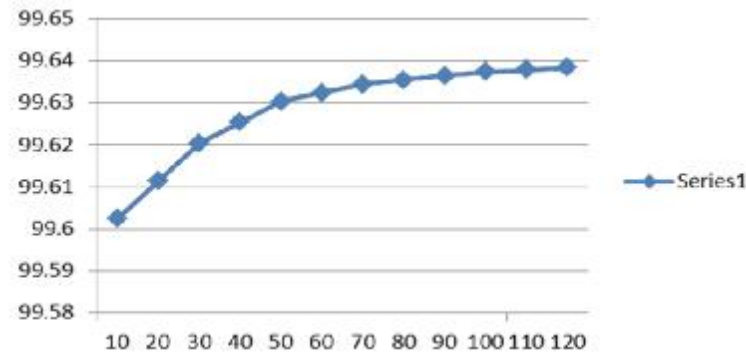
Figure 3 Dual Source Bridge

デュアルソースブリッジ

$$\frac{Vx}{Vs} = Rx/Rs$$



- $R = V/I$



- 高抵抗計測での主要な解決すべき内容
 - UUTの時定数(VIカーブ)を検証すること
 - 校正した印加電圧の値
 - **これが、高抵抗計測で最も重要な不確かさ要因になります。**



二つのモードで操作

1) 時定数と絶縁抵抗を計測するために

ダイレクトモードで運用

- 校正で使うために
 - 校正した電圧源
 - 校正したエレクトロメータ
 - 極性反転レートをコントロール
- 電圧源の極性は、そのオフセット誤差を削除するため極性反転。
- $R = V_{AVG} / I_{CAL}$

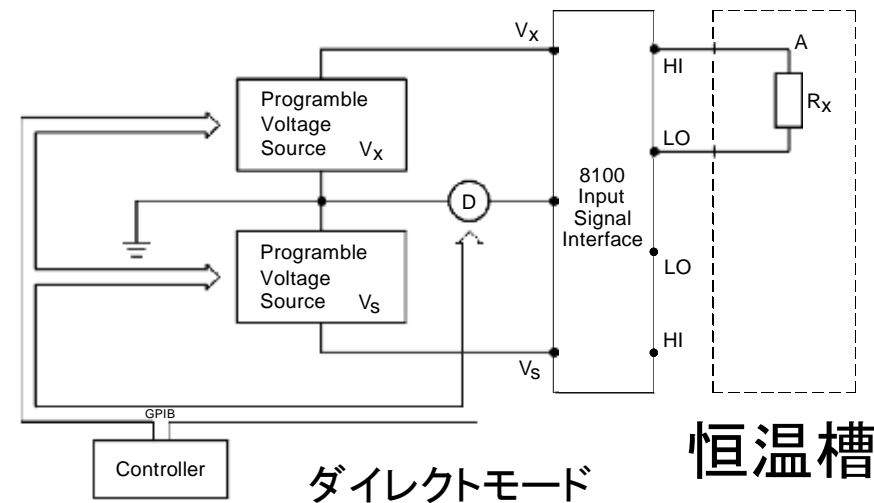


Fig 2

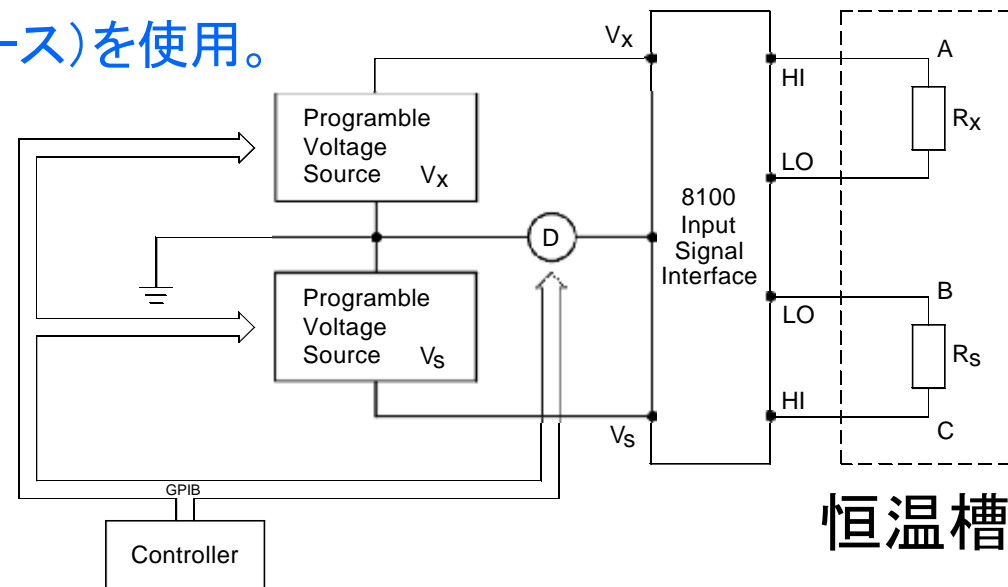


2) UUTを更に高精度に計測

ブリッジモードで操作

校正で使うために

1. ここでディテクタの低回路インピーダンスを使うと、個々の抵抗器に流れる電流は、各々に加わる電圧値で決定するということです。
2. 校正済みの電圧源(ソース)を使用。
3. ここで $V_x/V_s = R_x/R_s$ になります。





簡単化した校正作業

1) 特殊なシールド – 不要

- 絶縁抵抗はソース電源の低インピーダンスと並列です。
- シールドは接地しておきます。

2) システムの動作確認

- インターチェンジ技術 (比率誤差) を活用

3) ビルドアップあるいはビルドダウン技術

- 抵抗計測
- 100MΩ から 10GΩ あるいはそれ以上
- 比率: 10:1, 100:1 etc



システム校正

- カナダの規格協会での認証
- ソース(電圧源)の校正は

MIL 8000A バイナリーボルテージディバイダで 1000 vまで

100 mV to 10 V
10 V to 30 V
30 V to 300 V
300 V to 1000 V

2 ppm
2 ppm
2 ppm
2 ppm

電圧源(ソース)の校正
をツェナー電圧標準とバ
イナリーボルテージ
ディバイダ(BVD)を
使って実施。



ISO GUIDE TO THE EXPRESSION OF UNCERTAINTY IN MEASUREMENT

UNCERTAINTY BUDGET
Type I Service - 1000 V

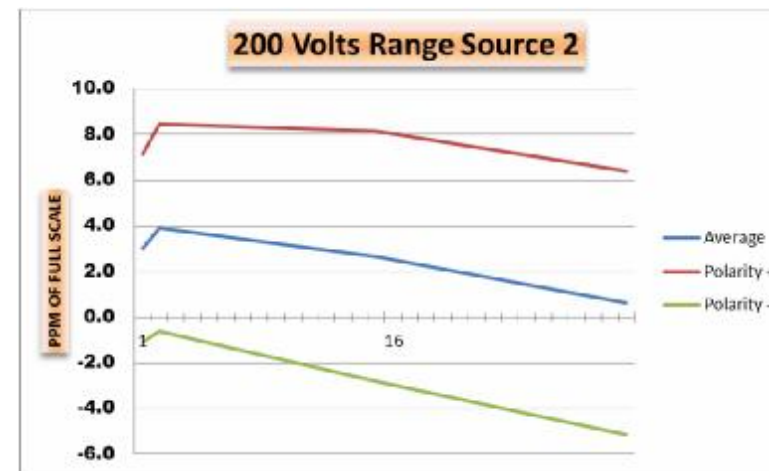
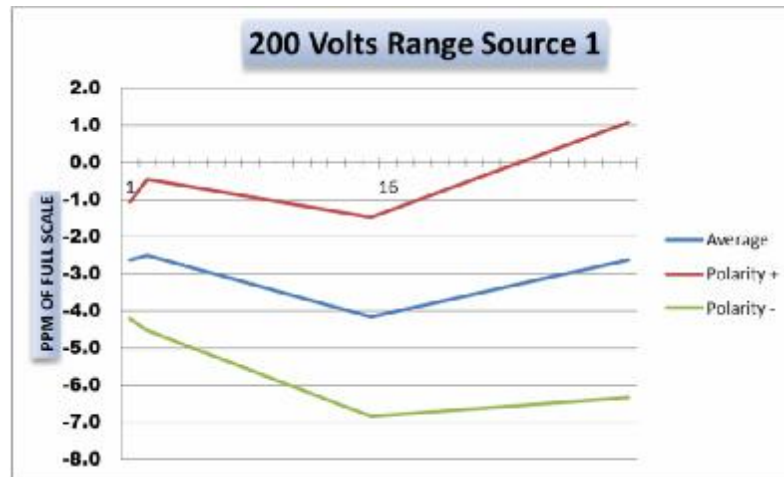
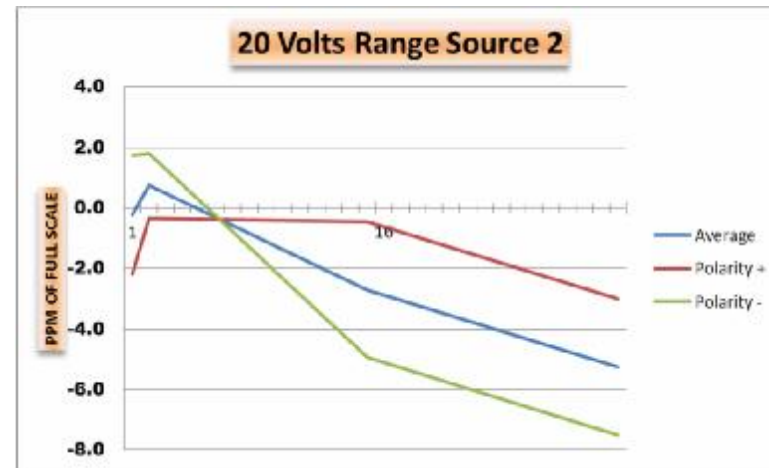
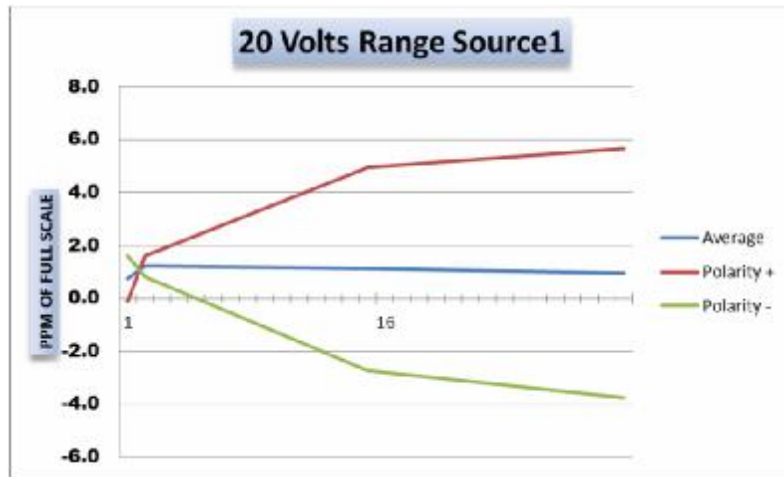
8000A/8001A/3458A

Effective Date: Jan 2000
 Quantity: DC Voltage
 Value or Range: 300 to 1000 V

Source of Uncertainty (all in ppm)	Dist code	Uncertainty or estimated +/- bounds	Value of Standard Uncertainty $u(x_i)$
1 Calibration of In-house Standard	b	1.000	0.500
2 Drift of in house standard	a	0.020	0.012
3 Temperature of In-house Standard	a	0.060	0.035
4 8000A/8001A System Uncertainty	b	1.000	0.500
5 Repeatability	c	0.100	0.041
6 EMF - leads, etc.	a	0.100	0.050
7 System Short term drift (24 hours)	a	0.100	0.058
8 Systematic error of meas system	a	0.100	0.041
Combined Standard Uncertainty(u_c):			0.71
拡張不確かさ	k=2	kuc	1.429



校正後 30日経過で、電圧源のドリフト@ 20V と 200V





電圧源(ソース)の校正結果

Test #	Source 1 Range	Source 1 Voltage	Source 1 Offset	U(2s) ppm	Source 2 Range	Source 2 Voltage	Source 2 Offset	U(2s) ppm
		s/n 1102672	ppm	Note 1		s/n 1102673	ppm	Note 1
1	-1	-0.99999062	-9.38	2	-1	-0.99999279	-7.21	2
2	1	1.00000675	6.75	2	1	1.00000241	2.41	2
3	-2	-1.99998835	-5.83	2	-2	-1.99999083	-4.58	2
4	2	2.00000089	0.44	2	2	1.99999795	-1.03	2
5	-5	-4.99996382	-7.24	2	-5	-4.99996478	-7.04	2
6	5	5.00000867	1.73	2	5	5.00001068	2.14	2
7	-10	-9.9999505	-4.95	2	-10	-9.9999354	-6.46	2
8	10	10.0000175	1.75	2	10	9.9999984	-0.16	2
9	-20	-19.9998294	-8.53	2	-20	-19.9998179	-9.11	2
10	20	19.9999591	-2.04	2	20	19.9999329	-3.35	2
11	-50	-49.9997113	-5.78	2	-50	-49.9998106	-3.79	2
12	50	50.0000941	1.88	2	50	50.0000198	0.4	2
13	-100	-100.000062	0.62	2	-100	-100.000111	1.11	2
14	100	100.000198	1.98	2	100	100.000127	1.27	2
15	-200	-200.001635	8.17	2	-200	-200.001318	6.59	2
16	200	200.001725	8.63	2	200	200.001355	6.78	2
17	-500	-500.005894	11.79	2	-500	-500.004786	9.57	2
18	500	500.006927	13.85	2	500	500.004219	8.44	2
19	-1000	-1000.01225	12.25	2	-1000	-1000.01041	10.41	2
20	1000	1000.00320	3.19	2	1000	1000.01107	11.07	2

オフセット値は保存します。



エレクトロメータの校正

MI 17025 Scope Uncertainties 2013

Current DC		Source: For the calibration of current shunts and current sources.
1 mA to 10 mA	5 to 10 ppm	
10 mA to 100 A	3 to 13 ppm	
100 A to 400 A	13 to 50 ppm	
10 pA to 1 mA	560 to 5 ppm	Source: for the calibration of current measuring devices.



エレクトロメータの校正

ダイレクトモードの校正

Number of Detector Readings:		6					
Voltage Applied	Resistor Value	Calculated Current (A)	Measured Current (A)	Offset (A)	Offset (%)	Unc. (%)	
1	9.993760E+11	1.000624E-12	1.002183E-12	1.558E-15	0.156	0.131	
-1	9.993760E+11	-1.000624E-12	-1.001691E-12	-1.067E-15	0.107	0.064	
1	9.963840E+10	1.003629E-11	1.002829E-11	-8.003E-15	-0.080	0.056	
-1	9.963840E+10	-1.003629E-11	-1.001090E-11	2.539E-14	-0.253	0.056	
10	9.963840E+10	1.003629E-10	1.003965E-10	3.357E-14	0.033	0.03	
-10	9.963840E+10	-1.003629E-10	-1.003874E-10	-2.447E-14	0.024	0.03	
100	9.963840E+10	1.003629E-09	1.003626E-09	-3.456E-15	0.000	0.015	
-100	9.963840E+10	-1.003629E-09	-1.003548E-09	8.162E-14	-0.008	0.015	
10	1.000024E+09	9.999757E-09	1.000119E-08	1.428E-12	0.014	0.01	
-10	1.000024E+09	-9.999757E-09	-1.000102E-08	-1.260E-12	0.013	0.01	
100	1.000024E+09	9.999757E-08	1.000846E-07	8.701E-11	0.087	0.005	
-100	1.000024E+09	-9.999757E-08	-1.000831E-07	-8.556E-11	0.086	0.005	
10	9.999954E+06	1.000005E-06	9.999008E-07	-1.039E-10	-0.010	0.0015	
-10	9.999954E+06	-1.000005E-06	-9.999497E-07	5.495E-11	-0.005	0.0015	
100	9.999954E+06	1.000005E-05	9.998684E-06	-1.363E-09	-0.014	0.0015	
-100	9.999954E+06	-1.000005E-05	-9.998596E-06	1.451E-09	-0.015	0.0015	

ディテクタの校正は既知の電圧値と既知の抵抗器から求め、オフセット値と計測した電流値で校正値を求めます。



エレクトロメータのバランスウィンドウ と & 不確かさ ブリッジモード

Range	Rx Nominal Value (Ohms)	Voltage applied to Rx	Electrom Burden	Threshold Current	Unbalance Window	Electrom Unc (% of Window)
		Volts	uV	(nA)	ppm	
100K to 1 M	1.00E+06	10	2.00E-05	1	10	1
100K to 1 M	1.00E+06	20	2.00E-05	2	10	1
100K to 1 M	1.00E+06	50	2.00E-05	5	10	1
100K to 1 M	1.00E+06	100	2.00E-05	10	10	1
1M to 10M	1.00E+07	10	2.00E-05	0.1	10	1
1M to 10M	1.00E+07	20	2.00E-05	0.2	10	1
1M to 10M	1.00E+07	50	2.00E-05	0.5	10	1
1M to 10M	1.00E+07	100	2.00E-05	1	10	1
10M to 100M	1.00E+08	10	2.00E-05	0.01	10	1
10M to 100M	1.00E+08	20	2.00E-05	0.02	10	1
10M to 100M	1.00E+08	50	2.00E-05	0.05	10	1
10M to 100M	1.00E+08	100	2.00E-05	0.1	10	1
100M to 1G	1.00E+09	20	2.00E-05	0.002	10	1
100M to 1G	1.00E+09	50	2.00E-05	0.005	10	1
100M to 1G	1.00E+09	100	2.00E-05	0.01	10	1
100M to 1G	1.00E+09	250	2.00E-05	0.025	10	1
1G to 10G	1.00E+10	100	2.00E-05	0.001	10	1
1G to 10G	1.00E+10	250	2.00E-05	0.0025	10	1
1G to 10G	1.00E+10	500	2.00E-05	0.005	10	1
1G to 10G	1.00E+10	1000	2.00E-05	0.01	10	1
10G to 100G	1.00E+11	100	2.00E-05	0.0001	10	1
10G to 100G	1.00E+11	250	2.00E-05	0.00025	10	1
10G to 100G	1.00E+11	500	2.00E-05	0.0005	10	1
10G to 100G	1.00E+11	1000	2.00E-05	0.001	10	1



エレクトロメータのバランスウィンドウ と & 不確かさ ブリッジモード

Range	Rx Nominal Value (Ohms)	Voltage applied to Rx	Electrom Burden	Threshold Current	Unbalance Window	Electrom Unc (% of Window)
		Volts	uV	(nA)	ppm	
100G to 1T	1.00E+12	100	2.00E-05	0.00001	10	1
100G to 1T	1.00E+12	250	2.00E-05	0.000025	10	1
100G to 1T	1.00E+12	500	2.00E-05	0.00005	10	1
100G to 1T	1.00E+12	1000	2.00E-05	0.0001	10	1
1T to 10T	1.00E+13	100	2.00E-05	0.00001	100	1
1T to 10T	1.00E+13	250	2.00E-05	0.00001	40	1
1T to 10T	1.00E+13	500	2.00E-05	0.00001	20	1
1T to 10T	1.00E+13	1000	2.00E-05	0.00001	10	1
10T to 100T	1.00E+14	100	2.00E-05	0.00001	1000	1
10T to 100T	1.00E+14	250	2.00E-05	0.00001	400	1
10T to 100T	1.00E+14	500	2.00E-05	0.00001	200	1
10T to 100T	1.00E+14	1000	2.00E-05	0.00001	100	1
100T to 1P	1.00E+15	100	2.00E-05	0.00001	10000	1
100T to 1P	1.00E+15	250	2.00E-05	0.00001	4000	1
100T to 1P	1.00E+15	500	2.00E-05	0.00001	2000	1
100T to 1P	1.00E+15	1000	2.00E-05	0.00001	1000	1



MIL – METAS 比較校正 1GΩ から100TΩ

公称値	試験電圧	Cal 値	Cal Unc.	Cal. Lab	MI 値	データ収集時間 (s)	Avg. Ratio Std Dev	MI To METASの差
1G	20	1.0000243	13	MI	1.00001662	45	0.50	-7.68
10G	50	9.99725	29	METAS	9.99713898	45	0.928	-11.11
10G	250	9.99719	22	METAS	9.99712851	45	0.285	-6.15
100G	50	99.6384	44	METAS	99.6382931	90	1.860	-1.07
100G	100	99.6385	40	METAS	99.6383328	90	3.515	-1.68
100G	250	99.6376	41	METAS	99.6375644	90	3.478	-0.36
1T	100	0.999376	40	METAS	0.99938943	150	14.330	13.44
1T	250	0.999371	40	METAS	0.9993912	150	11.105	20.21
1T	500	0.999366	40	METAS	0.99937947	150	4.666	13.48
10T	100	9.9800	400	METAS	9.97999469	900	303.764	-0.53
10T	500	9.9599	200	METAS	9.95955008	900	24.762	-35.13
100T	750	92.9140	400	METAS	92.88545	2000	184.360	-307.27

- ここで、データ収集時間はNMI校正証明書の記載から転記
- 毎年3月、抵抗器はMETASに校正しています。



抵抗計測

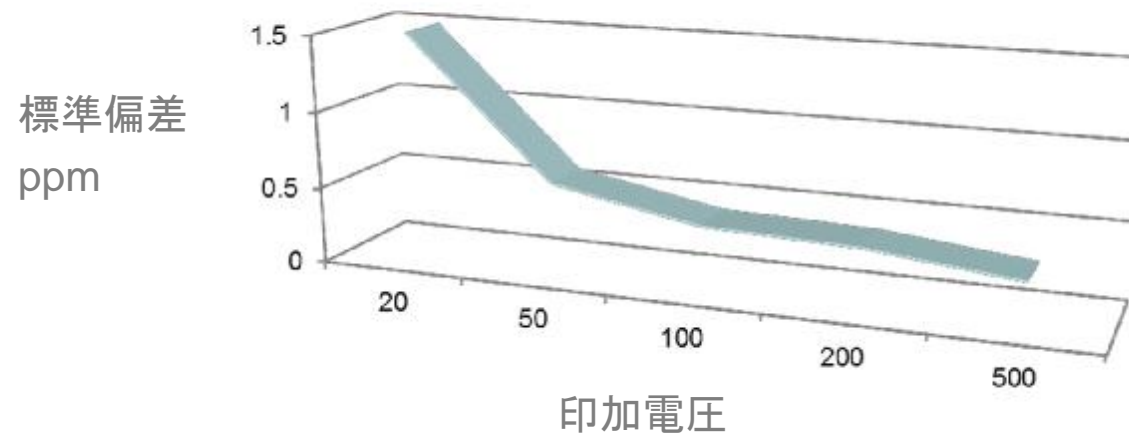
UUT Volt.	ΔI (nA)	データ 収集時間 (s)	Mmts/S tat	Ratio	Ratio Std Dev. ppm	Resistance Gohm	Resist. Uncert. ppm	Room Temp.	Room Hum.
20.00	0.0005	45	10/5	9.99698258	1.50	9.9971485	13.04	22.21	20.56
50.00	0.0005	45	10/5	9.99696044	0.59	9.9971264	13.01	22.37	20.29
100.00	0.0010	45	10/5	9.99697622	0.41	9.9971422	13.00	22.42	19.82
200.00	0.00200	45	10/5	9.99696222	0.38	9.9971282	13.00	22.65	18.80
500.00	0.0050	45	10/5	9.99694629	0.28	9.9971122	13.00	22.49	19.85

- 電圧係数計測
 - 要求により校正回路を組み上げる。
 - 10G Ω UUT を R_s に。(次の計測)
 - 10G Ω 適用電圧 = 200V to 20V
 - 計測には1V以上の電圧を加える。



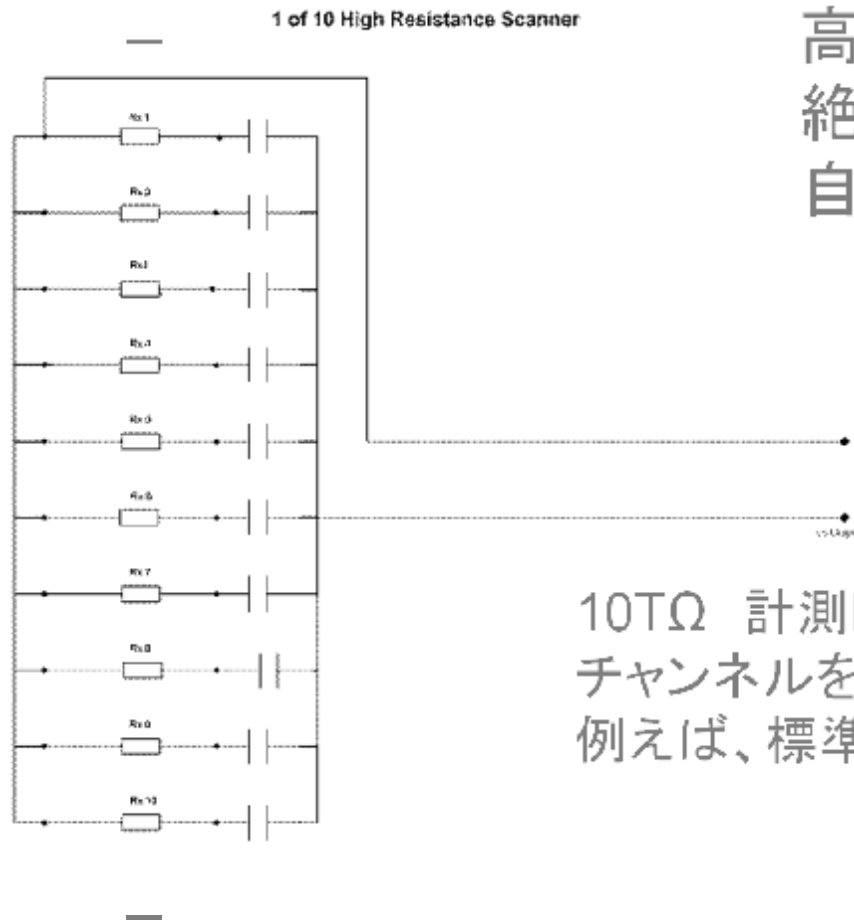
電圧係数

Voltage Coefficient vs Standard Deviation 10GΩ





抵抗自動校正



高抵抗スキャナー
絶縁抵抗 $>10^{17}$
自動抵抗校正

範囲: 10^6 から 10^{16}

10TΩ 計測時
チャンネルを変えて、計測値の差は見えない。
例えば、標準偏差が30ppm以上になるとか。



ブリッジモードの不確かさ (2s)

$$(S1^2 + S2^2 + Elec_{WIN}^2 + Elec_{BUR}^2)^{1/2}$$

ダイレクトモードの不確かさ

$$(S1^2 + S2^2 + Elec_{UNC}^2)^{1/2}$$

ここで

$Elec_{WIN}$ は: ソース電圧のバランス状態を表示する電気メータが計測しているが、その表示ウィンドウの不確かさ

$Elec_{bur}$: 電気メータの入力負荷

$Elec_{unc}$: 電気メータの総合不確かさ、校正証明書に記載



比率不確かさ 1MΩ ~ 100GΩ

Range	Rx Nominal Value (Ohms)	Voltage applied to Rx	Source # 1 Unc (+/- ppm)	Source # 2 Unc (+/- ppm)	Electrom Burden	Threshold Current	Unbalance Window	Electrom Unc (% of Window)	Ratio Uncertainty 1:1 ratio	Ratio Uncertainty 10:1 ratio
		Volts			uV	(nA)	ppm			
100K to 1 M	1.00E+06	10	2.5	2.6	2.00E-05	1	10	1	3.5	21.1
100K to 1 M	1.00E+06	20	4.1	2.5	2.00E-05	2	10	1	5.8	11.5
100K to 1 M	1.00E+06	50	4.1	2.5	2.00E-05	5	10	1	5.8	6.4
100K to 1 M	1.00E+06	100	4.1	2.5	2.00E-05	10	10	1	5.8	5.2
1M to 10M	1.00E+07	10	2.5	2.6	2.00E-05	0.1	10	1	3.5	21.1
1M to 10M	1.00E+07	20	2.5	2.6	2.00E-05	0.2	10	1	3.5	11.0
1M to 10M	1.00E+07	50	2.5	2.6	2.00E-05	0.5	10	1	3.5	5.5
1M to 10M	1.00E+07	100	4.1	2.5	2.00E-05	1	10	1	5.8	5.2
10M to 100M	1.00E+08	10	2.5	2.6	2.00E-05	0.01	10	1	3.5	21.1
10M to 100M	1.00E+08	20	2.5	2.6	2.00E-05	0.02	10	1	3.5	11.0
10M to 100M	1.00E+08	50	2.5	2.6	2.00E-05	0.05	10	1	3.5	5.5
10M to 100M	1.00E+08	100	4.1	2.5	2.00E-05	0.1	10	1	5.8	5.2
100M to 1G	1.00E+09	20	4.1	2.5	2.00E-05	0.002	10	1	5.8	11.5
100M to 1G	1.00E+09	50	4.1	2.5	2.00E-05	0.005	10	1	5.8	6.4
100M to 1G	1.00E+09	100	6.1	4.1	2.00E-05	0.01	10	1	8.6	7.6
100M to 1G	1.00E+09	250	6.1	4.1	2.00E-05	0.025	10	1	8.6	7.4
1G to 10G	1.00E+10	100	4.1	2.5	2.00E-05	0.001	10	1	5.8	5.2
1G to 10G	1.00E+10	250	6.1	4.1	2.00E-05	0.0025	10	1	8.6	7.4
1G to 10G	1.00E+10	500	6.1	4.1	2.00E-05	0.005	10	1	8.6	7.4
1G to 10G	1.00E+10	1000	6.1	4.1	2.00E-05	0.01	10	1	8.6	7.4
10G to 100G	1.00E+11	100	4.1	2.5	2.00E-05	0.0001	10	1	5.8	5.2
10G to 100G	1.00E+11	250	6.1	4.1	2.00E-05	0.00025	10	1	8.6	7.4
10G to 100G	1.00E+11	500	6.1	4.1	2.00E-05	0.0005	10	1	8.6	7.4
10G to 100G	1.00E+11	1000	6.1	4.1	2.00E-05	0.001	10	1	8.6	7.4



比率不確かさ 1TΩ ~ 100TΩ

Range	Rx Nominal Value (Ohms)	Voltage applied to Rx	Source # 1 Unc (+/- ppm)	Source # 2 Unc (+/- ppm)	Electrom Burden	Threshold Current	Unbalance Window	Electrom Unc (% of Window)	Ratio Uncertainty 1:1 ratio	Ratio Uncertainty 10:1 ratio
		Volts			uV	(nA)	ppm			
100G to 1T	1.00E+12	100	4.1	2.5	2.00E-05	0.00001	10	1	5.8	5.2
100G to 1T	1.00E+12	250	6.1	4.1	2.00E-05	0.000025	10	1	8.6	7.4
100G to 1T	1.00E+12	500	6.1	4.1	2.00E-05	0.00005	10	1	8.6	7.4
100G to 1T	1.00E+12	1000	6.1	4.1	2.00E-05	0.0001	10	1	8.6	7.4
1T to 10T	1.00E+13	100	4.1	2.5	2.00E-05	0.00001	100	1	5.9	5.4
1T to 10T	1.00E+13	250	6.1	4.1	2.00E-05	0.00001	40	1	8.6	7.4
1T to 10T	1.00E+13	500	6.1	4.1	2.00E-05	0.00001	20	1	8.6	7.4
1T to 10T	1.00E+13	1000	6.1	4.1	2.00E-05	0.00001	10	1	8.6	7.4
10T to 100T	1.00E+14	100	4.1	2.5	2.00E-05	0.00001	1000	1	12.9	12.7
10T to 100T	1.00E+14	250	6.1	4.1	2.00E-05	0.00001	400	1	9.8	8.7
10T to 100T	1.00E+14	500	6.1	4.1	2.00E-05	0.00001	200	1	8.9	7.7
10T to 100T	1.00E+14	1000	6.1	4.1	2.00E-05	0.00001	100	1	8.7	7.4
100T to 1P	1.00E+15	100	4.1	2.5	2.00E-05	0.00001	10000	1	115.8	115.7
100T to 1P	1.00E+15	250	6.1	4.1	2.00E-05	0.00001	4000	1	47.0	46.8
100T to 1P	1.00E+15	500	6.1	4.1	2.00E-05	0.00001	2000	1	24.7	24.3
100T to 1P	1.00E+15	1000	6.1	4.1	2.00E-05	0.00001	1000	1	14.4	13.7



CLAS 文書

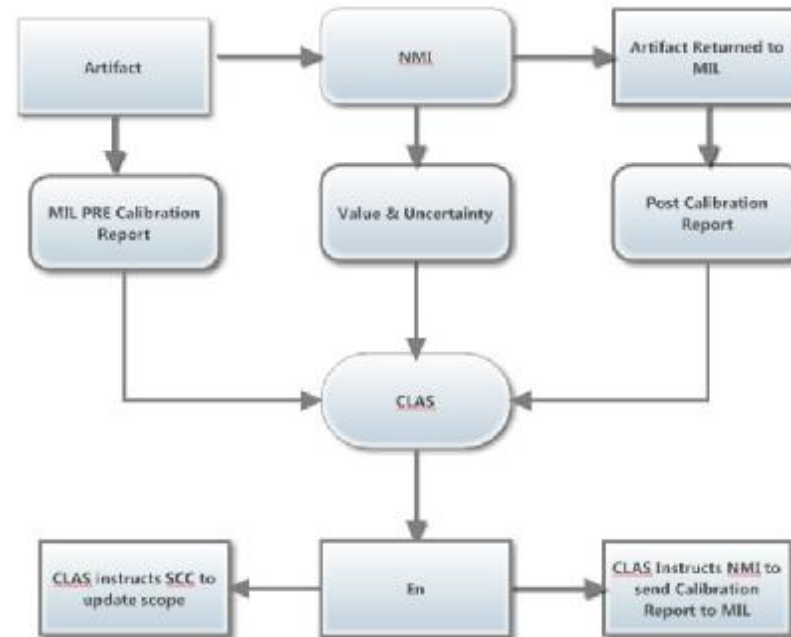
- 1) デュアルソース計測器の操作マニュアル
- 2) 計測不確かさの規定
- 3) デュアルソースブリッジのメンテナンスマニュアル
- 4) デュアルソースブリッジの校正マニュアル
- 5) 抵抗メンテナンスマニュアル 10GΩ ~ 1PΩ

CLAS 提出

(計測結果ワークシートと ISOTAGS, a 1" バインダー)



SCC 認証 どのように取得するか？



CLAS – カナダ標準校正サービス – NRCC (技術主体)

SCC – カナダ標準研 (標準室マネジメント)

NMI – 国研機関



PT 実証試験

- CLAS が指導
 - NMIと一緒に、PT実証試験を行う。
 - 独立した抵抗器を使用
- En計算のため、CLAS はこの情報を使用
 - 納入前 と後の計測結果を得ることは、出荷作業で影響がなかったことを示すデータになります。
- デュアルソースブリッジでは、PTの実証試験は10GΩと100TΩで行っています。



PT 実証試験の結果

From CLAS

Preliminary numbers from MI for 6600A system certification											
Model Number	Date	Measured Value	units	Deviation from nominal (ppm)	Desired Scope Uncertainty (PPM)	Voltage	Difference between 2 Tests	Measresult (at same voltages)	Deviation from nominal (ppm)	Uncertainty (PPM)	En
10G	August 13, 12	9999778	G _{ohm}	-222	15	50		999987	-13	29	0.28
10T	August 20, 12	1003533	T _{ohm}	3533	1000	750		100378	3780	300	0.24
10G	October 18, 12	1000001	G _{ohm}	0.1	15	50	223	999987	-13	29	-0.40
10T	October 10, 12	10037822	T _{ohm}	3782	1000	750	249	100378	3780	300	-0.002

計測手順

改良したホイーストンブリッジを使ったQHRで校正した参照標準抵抗と比較する。

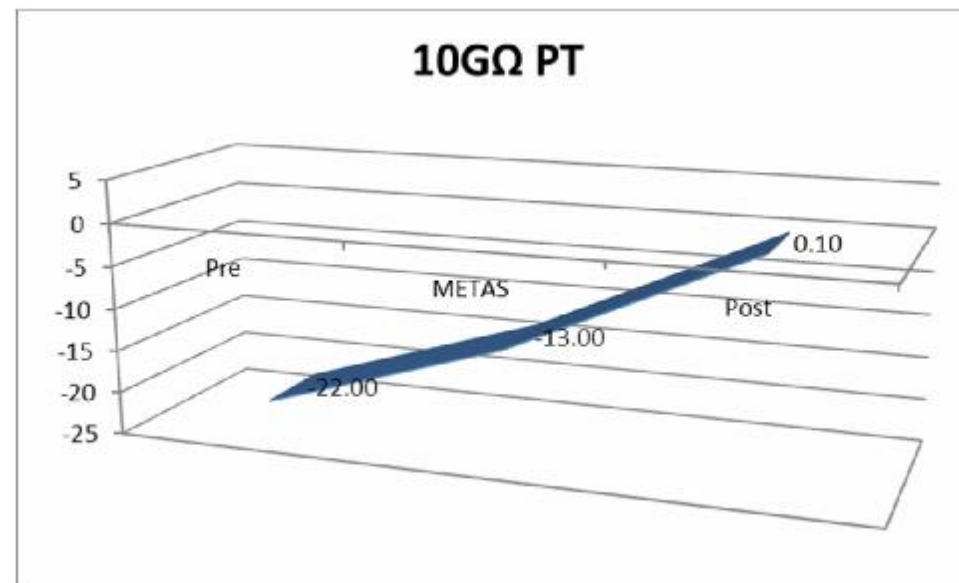
試験完了までに2ヶ月を要す。

CLAS がデータを収集し、解析も行った。

このプロジェクト完了まで2年を要した。



10GΩ PT



20ppmのドリフトを確認 (METASの前、後で)

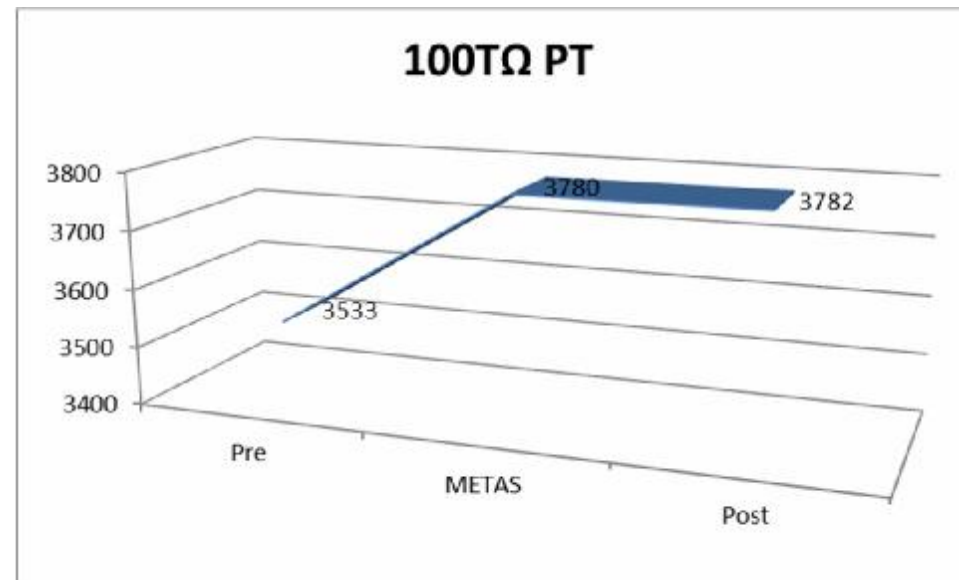
期待不確かさは15 ppmです。

我々MIの参照標準、50Vで準備校正では11 ppmでした。

METAS不確かさは29 ppm でした。



100TΩ



抵抗値は落ち着いたように見えた。
(小数点以下の抵抗値)



PT実証試験の結果

MIの高抵抗校正不確かさを小さくなったことで、
重要な改善が行われたことを確認。

計測レンジ	デュアルソースブリッジ		テラオームブリッジ	
	ブリッジモード		サブスティチューションモード	
1GΩ TO 10GΩ	8.5 to 35 ppm		13 to 200 ppm	
10 GΩ TO 100GΩ	35 to 45 ppm		200 to 250 ppm	
100 GΩ TO 1TΩ	45 to 60 ppm		250 to 500 ppm	
1 TΩ TO 10TΩ	60 to 210 ppm		500 to 1000 ppm	
10 TΩ TO 100TΩ	210 to 310 ppm		1000 to 5500 ppm	
100 TΩ TO 1PΩ	310 to 10000 ppm			



高抵抗の実証試験

- 良好な実証試験の結果
 - この活動を推進
 - NMIからSI単位のトレーサビリティ
 - NPL
 - 100 MΩ
 - METAS
 - 10 GΩ and 100TΩ
- 報告した計測値はNMIにトレーサが取れ、SI単位として国際的に評価できます。



要約

- デュアルソースブリッジの活用は世界中のNMIの運用と同等です。
- MI装置は小さな不確かさで校正ができます。
- PT 実証試験
 - リスクで出荷による不確かさ、あるいは輸送の不確かさ
 - MI製の良好な標準抵抗



使用した標準抵抗器は、かなりのドリフト現象を示していた。また輸送中にも、値のとびが発生することもある。

1T、100TΩの比較校正を18NMIsで実施した。結果は、これら高抵抗標準は、期待するほど、移動に適さない、ということです。



参照文献

A new technique for the automatic measurement of high value resistors

Lesley C A Henderson, Division of Electrical Science, National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex, TW 11 OLW, UK, J. Phys. E: Sci. Instrum. **20** (1987)

Dean G Jarret, Automated Guarded Bridge for Calibration of Multimegohm Standard Resistors from 10M Ω to 1T Ω , IEEE Transactions on Instrumentation and Measurements, Vol 46, No 2,

Dean G Jarret, Analysis of a Dual Balance High Resistance Bridge at 10T Ω , April 2001, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurements, Vol 50, No 2

Duane Brown, Dual Source Resistance Bridge – NCSL 2012



Measurements International
Metrology is Our Science, Accuracy is Our Business™

THANK YOU