

## ノート

## デジタル抵抗測定装置による校正の不確かさ評価

水野 裕正<sup>\*1)</sup> 沼尻 治彦<sup>\*1)</sup> 佐々木 正史<sup>\*1)</sup>

## Evaluation of uncertainty for the calibration of Digital resistance bridges

Hiromasa Mizuno<sup>\*1)</sup>, Haruhiko Numajiri<sup>\*1)</sup>, Masashi Sasaki<sup>\*1)</sup>

キーワード：校正，抵抗，不確かさ

Keywords：Calibration，Resistance，Uncertainty

## 1. はじめに

製品の信頼性や安全性を確保するために，計測のトレーサビリティが重要となっている。デジタル抵抗測定装置を用いて特定二次標準器（1Ω及び10kΩ）の標準抵抗器を基準として校正用ワーキングスタンダード（以下，校正用WS）である1Ω，10Ω，100Ω，1kΩ及び10kΩの標準抵抗器の校正の不確かさの評価を行ったので報告する。

## 2. 実験方法

特定二次標準器（1Ω及び10kΩ）は日本電気計器検定所で校正され，国家標準（特定標準器）につながっている。その校正の不確かさは2.5ppm（ $k=2$ ）である。図1にデジタル抵抗測定装置を示す。校正用WSの校正値は，デジタル抵抗測定装置の $R_s$ 端子に基準となる特定二次標準器を接続し， $R_x$ 端子に校正用WSを接続することにより表示される $R_x/R_s$ の抵抗比に特定二次標準器の校正値を乗算して求めた。今回は，特定二次標準器の1Ωを基準としてデジタル抵抗測定装置の抵抗比（1:1，1:10，1:100）を用いて校正用WSの1Ω，10Ω及び100Ωの校正を行った。同様に特定二次標準器の10kΩを基準としてデジタル抵抗測定装置の抵抗比（100:1，10:1，1:1）を用いて校正用WSの100Ω，1kΩ及び10kΩの校正を行った。また，特定二次標準器及び校正WSは25℃に設定した恒温油槽中に24時間以上入れて十分温度馴らしを行ってから校正を行った。

## 3. 結果と考察

3.1 校正用WS（1Ω）の校正値の比較 特定二次標準器の1Ωを基準として校正用WSの1Ωを校正した時の校正値の比較を表1に示す。表1にある計測器のAのデジタルマルチメータを使用する校正方法はJCSS登録認定のシ

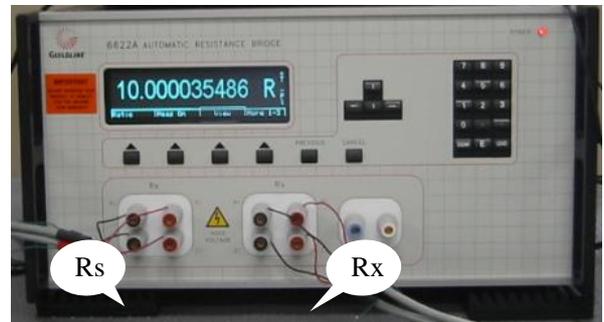


図1. デジタル抵抗測定装置

表1. 校正用WS（1Ω）の校正値の比較

	計測器	基準抵抗 ( )	抵抗比	校正値 ( )
A	デジタル マルチメータ	1.0000000	0.999999375	0.999999375
B	ダイヤル式 抵抗測定装置	1.0000000	0.9999994	0.9999994
C	デジタル 抵抗測定装置	1.0000000	0.999999382	0.999999382

表2. 抵抗比1:1の直線性の評価

	(1):抵抗比 (b/a)	(2):抵抗比 (a/b)	(1)×(2)	理論値 との差 (ppm)
a 特定二次標準器 1Ω	0.999999382	1.000000724	1.000000105	0.105
b 校正用WS 1Ω				

ステムである。Bのダイヤル式抵抗測定装置を使用する校正方法は平成17年に参加したJEMIC技能試験（2005年度標準抵抗器技能試験）において $E_n < 1$ の評価結果を得ることにより技術能力は認められている。Cはデジタル抵抗測定装置による校正結果である。AデジタルマルチメータとCデジタル抵抗測定装置との校正値の差は，0.007ppmであった。Bダイヤル式抵抗測定装置とCデジタル抵抗測定装置との校正値の差は，0.018ppmであった。同様に特定二

\*1) 技術経営支援室

次標準器の 10 kΩ を基準として校正用 WS の 10 kΩ を校正した時の校正値の差は、A - C で 0.05 ppm、B - C は 0.02 ppm であった。それぞれの差は特定二次標準器の不確かさ（1 Ω 及び 10 kΩ 共に 2.5 ppm）の範囲内であることから C デジタル抵抗測定装置による校正方法の妥当性は確認できたと考える。

3.2 抵抗比の直線性 抵抗比 1:1 の直線性の評価を表 2 に示す。表 2 の (1) は a 特定二次標準器 1 Ω を基準に b 校正用 WS 1 Ω を測定した時の抵抗比である。表 2 (2) は (1) とは逆に b 校正用 WS 1 Ω を基準に a 特定二次標準器 1 Ω を測定した時の抵抗比である。この (1) と (2) を乗算した時に理論上は 1 になるが、抵抗比 1:1 では表 2 の理論値との差に示すように 0.105 ppm の差が生じた。この差を抵抗比の直線性の不確かさとして見積もることとした。同様に抵抗比 1:10 は 0.144 ppm、抵抗比 1:100 は 0.219 ppm であった。また、抵抗比 1:100 を使用して特定二次標準器 1 Ω を基準に校正用 WS 100 Ω を校正した時と特定二次標準器 10 kΩ を基準にして校正用 WS 100 Ω を校正した時の比較を表 3 に示す。その差分は 0.0051 ppm であり、特定二次標準器の不確かさの 2.5 ppm と比較しても充分小さい値であることが確認できた。

3.3 不確かさ要因 個々の不確かさの要因とその大きさを推定し、一覧にした表をバジェット表と呼ぶ。表 4 に校正用 WS 1 Ω のバジェット表を示す。表 4 の不確かさ要因の ~ は、デジタル抵抗測定装置に関するものであり、~ は特定二次標準器に関するものである。抵抗比のばらつきは、抵抗比を 5 回測定して標準偏差を求めた結果、校正用 WS 1 Ω は、0.016 ppm であった。この値の標準不確かさを求めるために、2.78 (t 分布における自由度 4 と信頼レベル 95 % の値) で除算した値が表 4 の 0.006 ppm である。同様に 10 Ω の標準不確かさは 0.004 ppm、100 Ω は 0.008 ppm、1 kΩ 及び 10 kΩ は 0.004 ppm であった。抵抗比の直線性の標準不確かさは、抵抗比 1:1 は表 2 の 1 との差 0.105 ppm を矩形分布と判断し、 $\sqrt{3}$  で除算した値が表 4 の 0.061 ppm である。同様に抵抗比 1:10 と 1:100 の標準不確かさは、それぞれ 0.084 ppm と 0.127 ppm であった。入力抵抗は、デジタル抵抗測定装置の入力抵抗が 10 GΩ 以上であるため、表 1 の C に示す校正値 (0.999999382 Ω) と基準抵抗の差 ( $6.18 \times 10^{-7}$ ) を 10 GΩ で除算した値 ( $6.18 \times 10^{-17}$ ) と表 2 に示す A:抵抗比を乗算し、 $6.18 \times 10^{-17} = 6.18 \times 10^{-11}$  ppm が求められる。これも矩形分布と判断し、入力抵抗の標準不確かさは  $\sqrt{3}$  で除算した値が表 4 の  $3.57 \times 10^{-11}$  ppm である。同様に、10 Ω が  $2.78 \times 10^{-10}$  ppm、100 Ω が  $2.13 \times 10^{-9}$  ppm、1 kΩ が  $2.58 \times 10^{-8}$  ppm、10 kΩ が  $2.12 \times 10^{-7}$  ppm であ

表 3. 抵抗比 1:100 の比較

1 Ω, 10 kΩ (特定二次標準器)	抵抗比	校正用 WS 100 Ω の校正値 (Ω)	差分 (ppm)
1.0000000	1:100	99.999973421	0.0051
10000.052	100:1	99.999972912	

表 4. バジェット表 (校正用 WS 1 Ω)

不確かさ要因	不確かさ (ppm)	
抵抗比のばらつき	0.006	
抵抗比の直線性	0.061	
入力抵抗	$3.57 \times 10^{-11}$	
分解能	$5.78 \times 10^{-5}$	
特定二次標準器の校正値	1.25	
特定二次標準器の温度差	0.057	
特定二次標準器の経年変化	0.174	
校正値: 0.999999382	合成標準不確かさ	1.27
	拡張不確かさ (k=2)	2.54

った。分解能は 0.0001 ppm を矩形分布と判断し、分解能の標準不確かさは  $\sqrt{3}$  で除算した値が表 4 の  $5.78 \times 10^{-5}$  であった。10 Ω ~ 10 kΩ の分解能の標準不確かさも  $5.78 \times 10^{-5}$  であった。特定二次標準器 (1 Ω 及び 10 kΩ) の不確かさは 2.5 ppm (k=2) であるので、2.5 ppm を 2 で除算して表 4 の 1.25 ppm となる。特定二次標準器の温度差は、日本電気計器検定所で 25.0 で校正されているが、産技研の恒温油槽の温度分布が実測で 0.05 あるためである。その標準不確かさは 1 Ω で 0.057 ppm、10 kΩ で 0.005 ppm である。特定二次標準器 (1 Ω 及び 10 kΩ) の経年変化は過去 20 年の履歴により共に 1 年で最大に変化した値が 0.3 ppm であった。これも矩形分布と判断し経年変化の標準不確かさは  $\sqrt{3}$  で除算して 1 Ω 及び 10 kΩ 共に 0.174 ppm であった。表 4 の合成標準不確かさは、全ての不確かさ要因を二乗和平方根で求めて 1.27 ppm であった。拡張不確かさは包含係数 k=2 (信頼レベル 95 %) を乗算して 2.54 ppm であった。同様に 10 Ω の拡張不確かさは 2.56 ppm、100 Ω は 2.57 ppm、1 kΩ は 2.56 ppm、10 kΩ は 2.54 ppm であった。

#### 4. まとめ

特定二次標準器 (1 Ω 及び 10 kΩ) 2.5 ppm (k=2) の標準抵抗器を基準として校正用 WS の 1 Ω、10 Ω、100 Ω、1 kΩ 及び 10 kΩ の標準抵抗器の校正の不確かさが全て 2.6 ppm (k=2) で評価が行えた。このことにより中小企業に信頼性の高い校正結果を提供できる。信頼性の高い校正結果を中小企業に供給することは、中小企業の品質管理や製品の品質保証をサポートできることにつながる。本研究で確立した不確かさは、製品開発を行う中小企業の技術振興に役立つものと期待される。

(平成 21 年 7 月 13 日受付、平成 21 年 8 月 31 日再受付)