

論文

低領域標準抵抗器の校正における不確かさの評価

水野裕正* 長谷川守一*

Evaluation of uncertainty for the calibration of Low-Resistance Standard

Hiromasa MIZUNO and Morikazu HASEGAWA

Abstract An uncertainty component, which arises from a systematic effect, may in some cases be evaluated by method A while in the other cases by method B. This paper describes a evaluation of an uncertainty component by the arising from the calibration of a Low-Resistance Standard with the use of the range extender. The uncertainty of this calibration has been estimated according to the "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement". As a result, estimates of the low standard resistance expanded uncertainty(2 σ) is as follows.

- ・ 10m Low-Resistance Standard $\pm 8 \times 10^{-6}$
- ・ 1m Low-Resistance Standard $\pm 14 \times 10^{-6}$

Keywords Uncertainty, Calibration, Low-Resistance Standard

1. 緒言

測定データの信頼性、互換性を確保するためには、各種の標準器および計測器等の維持・管理が国家計量標準にトレーサブルであることが要求される。

当所に於ける抵抗標準のトレーサビリティ体系は、図1に示すように特定副標準器で定期的に校正される特定二次標準器(L&N社製、1 Ω)を基準としている。

従来、当所に於ける低領域標準抵抗器(1m Ω 、10m Ω)の校正方法は電圧降下法のみ可能であった。この方法は、基準器となる1m Ω 、10m Ω の標準抵抗器を特定二次標準器とは別に、日本電気計器検定所に校正依頼する必要があるため、当所の特定二次標準器とトレーサブルでないという問題点が生じていた。

本研究は、低抵抗の標準供給を目的に、当所の特定二次標準器にトレーサブルな低領域標準抵抗器(1m Ω 、10m Ω)の校正方法を検討し、校正における不確かさを「測定における不確かさの表示方法に関する指針」¹⁾により評価したものである。

2. 低領域標準抵抗器の校正方法

2.1 校正回路

2.1.1 1m Ω の校正

1m Ω の校正は、図2の回路で抵抗測定ブリッジの標準抵抗器(Rs)側に特定二次標準器の電圧端子、電流端子をそれぞれ接続する。次に、被測定抵抗器(Rx)の電圧端子は抵抗測定ブリッジに接続し、抵抗測定ブリッジの電流端子は短絡する。被測定抵抗器のC1、C2端子を抵抗

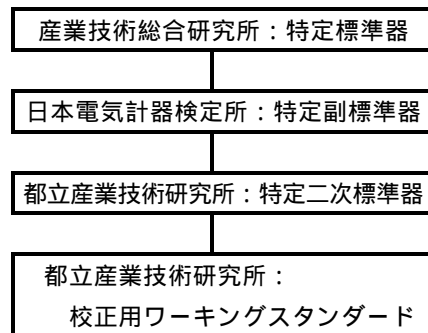


図1 抵抗標準のトレーサビリティ体系

測定拡張器の1000:1の端子に接続する。接続用リード線は、低熱起電力シールド線を用いた。また、使用した標準抵抗器は、25 $^{\circ}\text{C}$ の恒温油槽内に入れた。

2.1.2 10m Ω の校正

10m Ω の校正は、1m Ω と同様な方法で接続し、被測定抵抗器のC1、C2端子を抵抗測定拡張器の100:1の端子に接続する。

抵抗範囲拡張器を用いた低抵抗の測定方法は、被測定抵抗器に抵抗測定ブリッジの1000倍または、100倍の電流を流し、感度を向上させている。

2.2 校正に使用する機器

低領域標準抵抗器の校正に使用する機器を表1に示す。当所では、1m Ω 、10m Ω の標準抵抗器を各2台所有している。試験品として使用した標準抵抗器は、過去のデータ履歴から安定性のよいL&N社製の1 Ω と10m

*技術評価室

を選択した。図3は、日本電気計器検定所で試験した10m 標準抵抗器の校正履歴である。

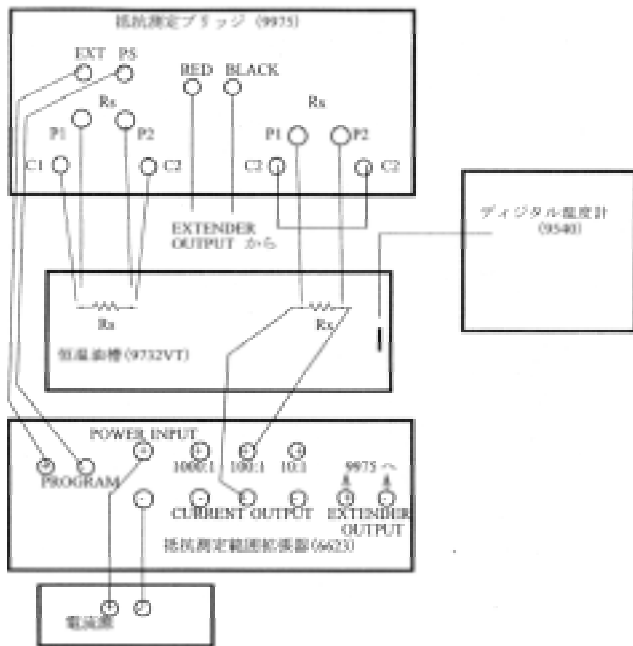


図2 校正機器の接続図

表1 校正に使用する機器

名称	製造者	型式	製造番号	性能	校正先
標準抵抗器	Leeds&Northrup co.	4210	1728734	2.5ppm (2σ)	日本電気計器検定所
抵抗測定ブランチ	Guidline Instruments Ltd.	9975	57114	直線性 0.1ppm	自所
抵抗測定範囲拡張器	Guidline Instruments Ltd.	6623	63408	ratio error 1ppm	自所
多機能校正器	Johns Fluke Mfg.co.Inc.	5500A	6900096	出力電流 11 A	自所
恒温油槽	Guidline Instruments Ltd.	9732 V T	63839	安定度 0.005℃	自所
デジタル温度計	Guidline Instruments Ltd.	9540	56349	分解能 0.001℃	自所

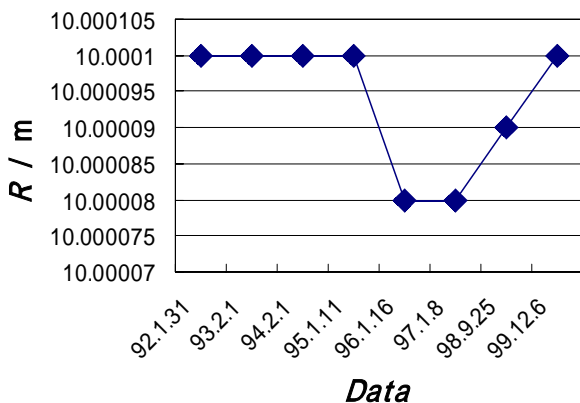


図3 日本電気計器検定所で試験した10m 標準抵抗器の校正履歴

2.3 環境条件

低領域標準抵抗器の校正を行う電気精密計測実験室は、恒温恒湿室になっている。温湿度の調整は、機械室であらかじめ温度 23℃、相対湿度 50% に調整された空気をフィルタを通し、塵埃等を除去して 6ヶ所の吹き出し口から実験室に送り込まれ、2ヶ所の吸気口から排出して行っている。表2に実験室の環境条件を示す。

表2 実験室の環境条件

室温	23 ± 0.5
相対湿度	50% ± 5%
標準抵抗器保管油槽温度	25.0

3. 不確かさの評価

3.1 1m, 10m の測定値のばらつき

抵抗測定範囲拡張器を用いた時の標準抵抗器の安定性および再現性を評価するため日を変えて測定を行った。図4に測定値を示す。電流比 1:1000 で 1m の測定時のばらつきは、1.48ppm で、電流比 1:100 で 10m の測定時のばらつきは、0.494ppm であった。

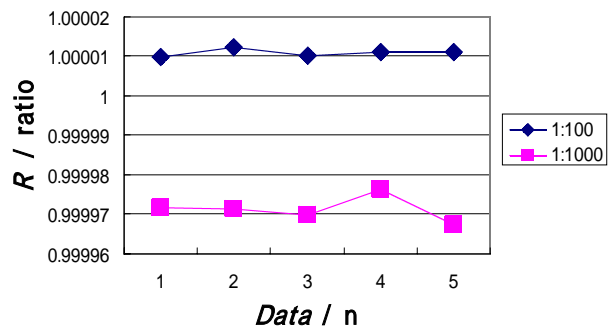


図4 1m, 10m の測定値のばらつき

3.2 抵抗測定範囲拡張器の電流比

電流比の不確かさは、校正用ワーキングスタンダード（以降、校正用WS）である 0.1, 10, 100 の3台の標準抵抗器を使用し、0.1 : 100 で 1:1000 の、0.1 : 10 で 1:100 の抵抗比を求めた。

3.2.1 電流比 1:1000 の場合

校正用WSの 0.1 を基準として、電流比 1:1000 を使用して 100 の測定を行った値（測定値）と、校正用WSの 0.1 の校正値を 100 の校正値で除算した値（計算値）の比較を図5に示す。5回の測定値のばらつきは、0.081ppm である。

3.2.2 電流比 1:100 の場合

校正用WSの 0.1 を基準として、電流比 1:100 を使用して 10 の測定を行った値（測定値）と、校正用WSの 0.1 の校正値を 10 の校正値で除算した値（計算値）の比較を図6に示す。5回の測定値のばらつきは、0.085ppm である。

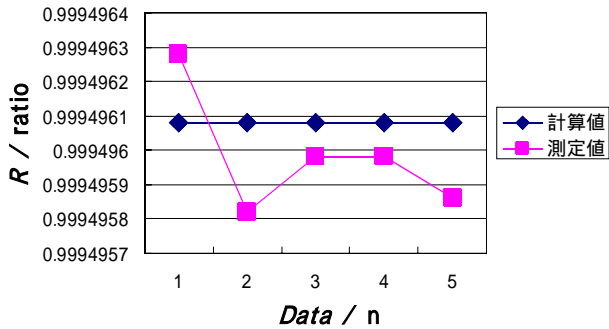


図5 校正用WSの0.1を基準として、電流比1:1000を使用して100の測定を行った値(測定値)と(計算値)の比較

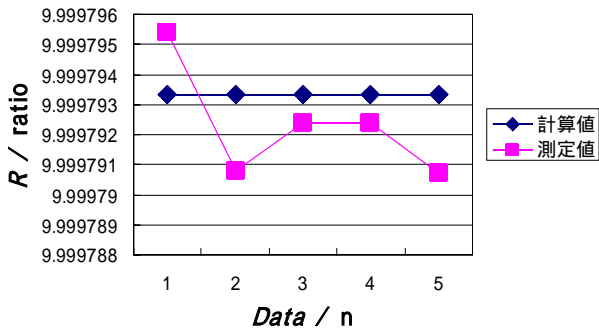


図6 校正用WSの0.1を基準として、電流比1:100を使用して10の測定を行った値(測定値)と(計算値)の比較

3.2.3 校正用WSの不確かさ

本測定に用いた校正用WSである3台の標準抵抗器の不確かさは、0.1では1.71ppm, 10では2.28ppm, 100では2.94ppmである。

抵抗測定範囲拡張器の電流比の合成不確かさは電流比1:1000では6.33ppm, 電流比1:100では3.38ppmである。

3.3 特定二次標準器

3.3.1 特定二次標準器の不確かさ

特定二次標準器(1)は、毎年1回、日本電気計器検定所で校正される。その不確かさは、2.5ppm(2標準偏差相当)である。

3.3.2 特定二次標準器の経年変化

日本電気計器検定所で校正された過去10年間の特定二次標準器の校正履歴を図7に示す。

抵抗値の経年変化を最小二乗法で直線近似して、求めると、1年間の抵抗変化は0.5ppmと推定できる。

3.4 抵抗測定ブリッジ

3.4.1 抵抗測定ブリッジの直線性(1:1)

抵抗測定ブリッジの(Rs)側に特定二次標準器を接続し、

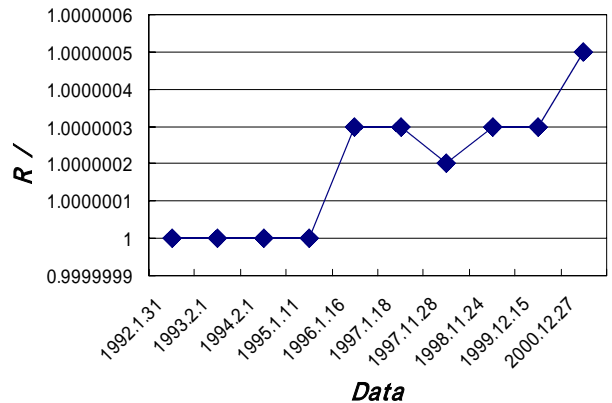


図7 特定二次標準器(1)の経年変化

(Rx)側に標準抵抗器(1)を接続して、測定を行い、この時の抵抗測定ブリッジのダイヤルのRx/Rsの値を求めた。次に、この2つの標準抵抗器を交換して同様に測定し、Rs/Rxの抵抗測定ブリッジのダイヤル値を求める。このRx/Rs値とRs/Rx値の積を求めることにより、抵抗測定ブリッジの直線性の不確かさを評価した。測定を5回行い、Rx/Rs値とRs/Rx値の積の平均は、1.00000016であった。測定結果を図8に示す。測定のばらつきは、0.04ppmであり、抵抗測定ブリッジの直線性の不確かさは0.108ppmである。

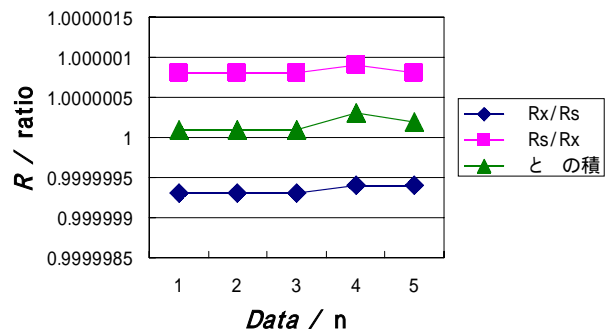


図8 抵抗測定ブリッジの直線性

3.4.2 抵抗測定ブリッジの分解能

抵抗測定ブリッジは8ダイヤルで構成されている。1対1の測定を行う時の分解能は0.1ppmである。また、ゼロ検出感度について、0.1ppmの変化に対する指針の振れは、倍率300で3div程度あり、0.1ppmを確定するのに十分な検出感度である。

3.5 デジタル温度計

デジタル温度計の表示値は、水の三重点(0.01)とGaの融点(29.765)で校正した。また、温度の認定校正機関で校正したガラス製温度計(不確かさ50mK)と照合して、0.02以内で一致していた。校正の不確かさは、0.097ppmである。

3.6 恒温油槽

3.6.1 恒温油槽の安定度

油槽内の温度安定度分布を調べるため、図9のような平面図の5ヶ所と深さ方向に温度センサを移動し、温度を測定した。その結果を表3-1及び表3-2に示す。

表には、それぞれの位置で1ヶ所に付き3分間隔で9回測定したときの最高値と最低値を示す。同一ヶ所での最高値と最低値の差が測定時間中(約24分)の安定度である。から の差が温度分布を示す。

この測定結果から温度の安定度は0.002、5カ所での温度分布は0.007程度と推定される。上下の差は、が一番大きく0.004であった。この温度分布の変化による測定値への影響はないと推定する。

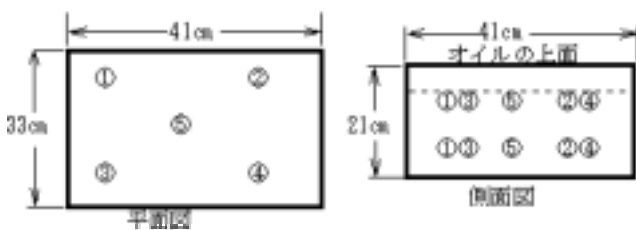


図9 オイルバスの温度分布測定

表3-1 測定結果

測定位置	最高値(℃)	最低値(℃)	差(℃)
①	24.999	24.998	0.001
②	24.998	24.997	0.001
③	25.005	25.003	0.002
④	25.003	25.002	0.001
⑤	25.002	25.001	0.001
差(℃)	0.007	0.006	

表3-2 測定結果

測定位置	上(℃)	下(℃)	上下差(℃)
①	25.000	24.999	0.001
②	24.998	24.999	0.001
③	25.003	25.003	0.000
④	25.003	25.007	0.004
⑤	25.000	24.998	0.002

3.6.2 流動パラフィンの絶縁抵抗

油槽内で使用している流動パラフィンの絶縁抵抗を測定した結果 10^{14} (Ω・cm) 以上であった。このことから、流動パラフィンの絶縁抵抗による測定値への影響はないと判断する。

3.7 試験環境の温湿度変化

試験を実施した恒温恒湿室の温度変化を1分間隔で朝9時から夕方6時まで実測すると、室内の中心部で最高値23.3、最低値22.3、平均22.7であった。また、相対湿度の変化は室内記録計で50%~51%であった。このことから、温湿度による測定値への影響はないと判断する。

3.8 不確かさの見積結果

低領域標準抵抗器(1 mΩ, 10 mΩ)の校正における不確かさの要因を上記の7項目について検討を行った。不確かさの見積結果を表4に示す。合成不確かさは、不確かさの伝搬則より、各不確かさ要因の二乗和の正の平方根より求め、1 mΩ では6.775ppm、10 mΩ では3.914ppmである。拡張不確かさは、合成不確かさに包含係数kを乗じて求められる。包含係数をk=2(95%の信頼水準)として、拡張不確かさを求めると、1 mΩ では13.55ppm、10 mΩ では7.828ppmである。

表4 不確かさの見積結果

不確かさ	要 因	不 確 か さ (ppm)	
		10 mΩ	1 mΩ
タイプA (1σ)	・校正時のばらつき(自由度4) 不確かさ=標準偏差/√4	0.494	1.488
タイプB (1σ)	(1) 抵抗測定範囲拡張器に起因するもの	3.33	6.33
	(2) 特定二次標準器に起因するもの 特定二次標準器の不確かさ 特定二次標準器の経年変化	1.25 0.5	1.25 0.5
	(3) 抵抗測定ブリッジに起因するもの 抵抗測定ブリッジの導線性(1+1比) 抵抗測定ブリッジの分解能	0.108 0.1	0.108 0.1
	(4) デジタル温度計に起因するもの	0.097	0.097
	(5) 恒温油槽に起因するもの 恒温油槽の安定度 流動パラフィンの絶縁抵抗	0.0 0.0	0.0 0.0
	(6) 試験環境の温湿度変化	0.0	0.0
合成(1σ)	√Σu ²	3.914	6.775
拡張(2σ)	合成不確かさ×2	7.828	13.550

4. 結 言

低領域標準抵抗器の校正における不確かさは、見積結果より、1 mΩ では14ppm、10 mΩ では8ppm程度であると評価した。

低領域標準抵抗器の校正方法として、従来行っていた電圧降下法は、信号電圧に比べ、熱起電力や測定電流の不安定等の誤差要因が大きく精度よい校正が困難であった。一方、今回の校正方法であるブリッジ法は、抵抗測定範囲拡張器の不確かさの要因が最も大きい機器であるが、この機器を使用することがブリッジ法の利点であり、従来行っていた電圧降下法に比べ、約4倍の精度向上が図れ、標準供給のための十分な精度が得られることを確認した。

参考文献

1) Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (1992).

(原稿受付 平成13年8月1日)