

論文

直流電圧校正自動化システムの開発

水野 裕正^{*1)} 沼尻 治彦^{*1)} 尾出 順^{*1)} 沼知 朋之^{*2)} 遠藤 忠^{*2)}

The development of automation system for the calibration of direct current voltage

Hiromasa Mizuno^{*1)}, Haruhiko Numaziri^{*1)}, Jun Ode^{*1)}, Tomoyuki Numachi^{*2)}, Tadashi Endo^{*2)}

Calibration of the voltage standard is indispensable in the electricity, electronic, and automobile industries which have an industrial Japanese basis. The automation system for the calibration of the multi-function-calibrator for which the direct current voltage generating device being used widely in the industrial world, based on 10V of the standard voltage generation vessel calibration with upper organization, was developed. And a digital-multi-meter is calibrated by using the multi-function-calibrator. We were able to evaluate all the calibration values of the multi-function-calibrator and digital-multi-meter to within 1ppm standard deviation. A comparison with the usual manual calibration value showed that it corresponded within 1ppm, so we were also able to confirm the validity of software to automate calibration of the direct current voltage.

キーワード：校正，直流電圧

Keywords：Calibration, direct current voltage

1. 緒言

測定データの信頼性を確保するために標準器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ている。

本研究は、図1に示す直流電圧のトレーサビリティ体系図のとおり、上位機関で校正された特定二次標準器（標準電圧発生器）の10Vを基準にして直流電圧発生装置（マルチファンクション・キャリブレータ、以下、キャリブレータ）の直流電圧設定レンジ及び直流電圧測定装置（デジタルマルチメータ、以下、DMM）の直流電圧測定レンジを校正するための自動化システムを開発したものである。

(独)産業技術総合研究所	： 特定標準器
--------------	---------

日本電気計器検定所	： 特定副標準器
-----------	----------

都立産業技術研究センター	： 特定二次標準器(10V)
--------------	----------------

図1 直流電圧のトレーサビリティ体系図

2. 直流電圧校正自動化システム

直流電圧校正自動化システムの測定装置を図2に示し、



図2 測定装置

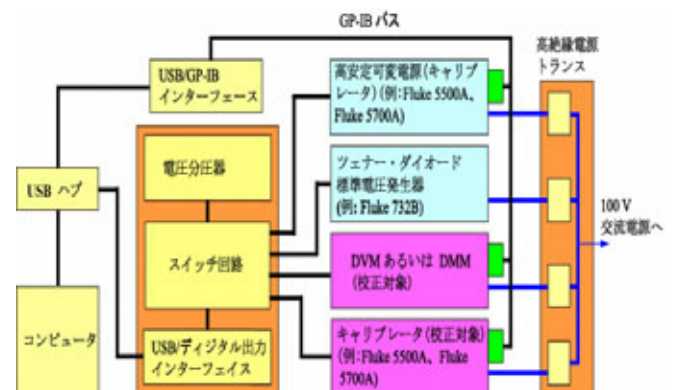


図3 直流電圧校正自動化システムの構成

*1) 製品化支援室

*2) MTA ジャパン株式会社

構成を図3に示す。図2の装置に付した番号は，標準電圧発生器，電圧分圧器，スイッチ回路，高絶縁電源トランス，キャリブレータ(校正対象)，高安定可変電源，DMM(校正対象)を示す。今回開発した装置は，電圧分圧器，スイッチ回路，高絶縁電源トランスである。電圧分圧器は，上位機関で校正された標準電圧発生器の10Vを基準にしてキャリブレータの10Vレンジ(+10V,+8V,+6V,+4V,+2V,+1V,0V,-1V,-2V,-4V,-6V,-8V,-10V)の校正を行うために抵抗器を使用して分圧比(1.0,0.8,0.6,0.4,0.2,0.1)を作成する装置である。スイッチ回路は，各計測器の電源をON又はOFFにする装置である。高絶縁電源トランスは，校正に影響を与える電源ノイズを除去するための装置である。

直流電圧校正自動化システムのソフトウェアのスタート画面を図4に示す。始めに図4の「内蔵抵抗分圧器の分圧比の決定」を選択して電圧分圧器の分圧比(1.0,0.8,0.6,0.4,0.2,0.1)の校正を行う。次に図4の「ゼナー電圧標準器を基準としてキャリブレータを校正」を選択して，始めに校正した電圧分圧比の校正データを用いて標準電圧発生器の10Vを基準にしてキャリブレータの10Vレンジ(+10V,+8V,+6V,+4V,+2V,+1V,0V,-1V,-2V,-4V,-6V,-8V,-10V)の校正を行う。最後に図4の「キャリブレータを基準としてDMM/DMMのDC電圧を校正」を選択して，校正されたキャリブレータの10Vレンジ(+10V,+8V,+6V,+4V,+2V,+1V,0V,-1V,-2V,-4V,-6V,-8V,-10V)を基準としてDMMの10Vレンジ(+10V,+8V,+6V,+4V,+2V,+1V,0V,-1V,-2V,-4V,-6V,-8V,-10V)の校正を行う。

2.1 電圧分圧器の分圧比の校正 電圧分圧器の分圧比の校正原理を図5に示す。図5のR1-1とR1-2には5kを使用し,R2からR5は10kを使用してセレクタスイッチ1,2を切り替えて電圧分圧器の分圧比(1.0,0.8,0.6,0.4,0.2,0.1)の校正を行う。

図4の直流電圧校正自動化システムのソフトウェアのスタート画面の「内蔵抵抗分圧器の分圧比の決定」を選択し，画面左下の「次へ」ボタンをクリックすると，図6に示す電圧分圧器の分圧比の校正画面が表示される。この図6の電圧分圧器の分圧比の校正画面で右側にて「測定パラメータ」の入力を行う。始めに校正対象電圧範囲を「10V」を選択し，定電圧源用校正器，ゼロ検出用DVM/DMM，分圧器電源用校正器の型番とGPIBアドレスを設定する。分圧器電源用校正器の設定電圧は10Vを入力し，1データ当りの読取回数を2回，電源切換後の待ち時間を4秒，接点作動後の待ち時間を2秒，各分圧比データを一組とする繰返し組数の2を入力した後，図6の左上の「測定開始」をクリックすると，電圧分圧器の分圧比の校正が開始され測定データは図6の左側にある白い空欄に表示される。

2.2 キャリブレータの校正 キャリブレータの校正原理を図7に示す。上位機関で校正された10V(基準電圧発生器)を電圧分圧器の両端に与える。校正対象となるキャ



図4 直流電圧校正自動化システムのソフトウェアのスタート画面

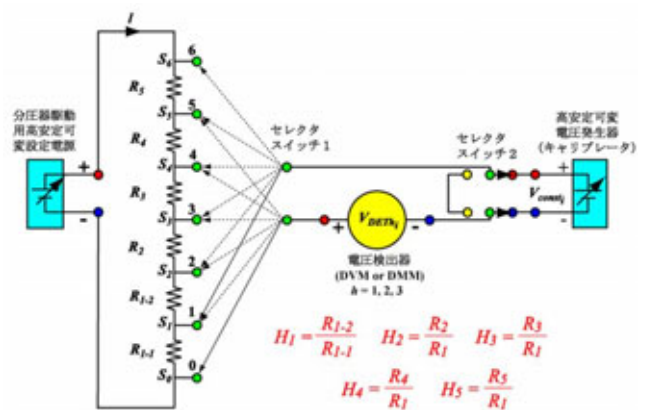


図5 電圧分圧器の分圧比の校正原理



図6 電圧分圧器の分圧比の校正画面

リブレータの 10V レンジ(+10V,+8V,+6V,+4V,+2V,+1V,0V,-1V,-2V,-4V,-6V,-8V,-10V)の+10V は電圧分圧器を使用せず，基準電圧発生器の 10V との差電圧を電圧検出器の DMM で測定する。+8V 以下の測定は電圧分圧器を使用し，図 7 のセレクトスイッチを使用して，基準電圧発生器の 10V の 0.8 倍との差電圧を電圧検出器の DMM で測定する。また，負側 (-1V,-2V,-4V,-6V,-8V,-10V) の測定は，図 7 の極性切り替えスイッチを使用して同様に測定する。

図 4 の直流電圧校正自動化システムのソフトウェアのスタート画面の「ゼナー電圧標準器を基準としてキャリブレータを校正」を選択し，画面左下の「次へ」ボタンをクリックすると，図 6 と同様なキャリブレータの校正画面が表示される。キャリブレータの校正手順は次のとおりである。

被校正対象のキャリブレータの情報入力（メーカー名，型番，シリアル番号など） 内蔵分圧器の分圧比データ（2.1 電圧分圧器の分圧比の校正のデータを使用する） 上位機関で校正された 10V（基準電圧発生器）の情報（メーカー名，型番，シリアル番号，上位校正機関名，校正年月日，校正電圧値，校正不確かさなど） 測定パラメータの設定は前項(2.1)同様に設定する。図 6 同様の左上の「測定開始」をクリックすると，キャリブレータの校正が開始される。

2.3 DMMの校正 DMMの校正原理を図 8 に示す。校正されたキャリブレータ 10V レンジ(+10V,+8V,+6V,+4V,+2V,+1V,0V,-1V,-2V,-4V,-6V,-8V,-10V)を基準にして DMM の 10V レンジ(+10V,+8V,+6V,+4V,+2V,+1V,0V,-1V,-2V,-4V,-6V,-8V,-10V)を校正する。

図 4 の直流電圧校正自動化システムのソフトウェアのスタート画面の「キャリブレータを基準として DVM / DMM の DC 電圧を校正」を選択し，画面左下の「次へ」ボタンをクリックすると，図 6 と同様な DMM の校正画面が表示される。DMM の校正手順は次のとおりである。基準となるキャリブレータの情報入力（メーカー名，型番，シリアル番号，10V レンジの校正値など） 被校正対象の DMM の情報入力（メーカー名，型番，シリアル番号など） 測定パラメータの設定は前項(2.1)同様に設定する。図 6 同様の左上の「測定開始」をクリックすると，DMM の校正が開始される。

3. 校正結果と考察

3.1 電圧分圧器の分圧比の校正 電圧分圧器の分圧比の校正結果を表 1 に示す。電圧分圧器の分圧比の校正結果からキャリブレータの校正結果に影響する不確かさは平均値の標準偏差から 0.8 は 0.029ppm, 0.6 は 0.037ppm, 0.4 は 0.048ppm, 0.2 は 0.11ppm, 0.1 は 0.22ppm であり，電圧分圧器の分圧比の校正が全てにおいて 1 ppm 以内で評価できたことは，直流電圧校正自動化システムによる校正は高い信頼性が得られていると考える。

3.2 キャリブレータの校正 キャリブレータの校正結果と手動による校正結果を表 2 に示す。本システムの校正

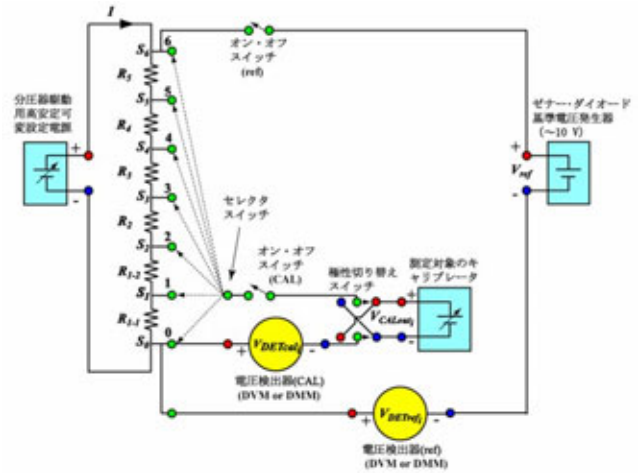


図 7 キャリブレータの校正原理



図 8 DMMの校正原理

表 1. 電圧分圧器の分圧比の校正結果

分圧比	分圧比の校正結果	平均値の標準偏差	校正結果に影響する不確かさ(ppm)
1.0	1.000 000 000	0.000 000 000	0
0.8	0.799 995 805	0.000 000 023	0.029
0.6	0.599 995 067	0.000 000 022	0.037
0.4	0.399 996 364	0.000 000 019	0.048
0.2	0.199 997 935	0.000 000 021	0.11
0.1	0.099 999 468	0.000 000 022	0.22

表 2. キャリブレータの校正結果

キャリブレータの設定電圧 (V)	本システムの校正結果 (V)	手動による校正結果 (V)	校正結果の差 (ppm)
+10.000 000	+9.999 958 6	+9.999 957 2	0.14
+8.000 000	+7.999 968 1	+7.999 966 8	0.17
+6.000 000	+5.999 975 8	+5.999 974 3	0.25
+4.000 000	+3.999 984 2	+3.999 983 0	0.3
+2.000 000	+1.999 992 2	+1.999 991 0	0.6
+1.000 000	+0.999 996 3	+0.999 994 9	1.4
0.000 000	0.000 000 1	0.000 000 1	0
-1.000 000	-0.999 996 1	-0.999 995 7	0.4
-2.000 000	-1.999 992 2	-1.999 990 8	0.7
-4.000 000	-3.999 984 3	-3.999 983 1	0.3
-6.000 000	-5.999 975 6	-5.999 974 1	0.25
-8.000 000	-7.999 968 0	-7.999 966 6	0.18
-10.000 000	-9.999 958 9	-9.999 958 6	0.14

結果と手動による校正結果の差は，+10V は 0.14ppm,+8V は 0.17ppm, +6V は 0.25ppm, +4V は 0.3ppm, +2V は 0.6ppm, +1V は 1.4ppm, 0V は 0ppm, -1V は 0.4ppm,-2V は 0.7ppm, -4V は 0.3ppm, -6V は 0.25ppm, -8V は 0.18ppm, -10V は 0.14ppm であり，10V レンジ全てにおいて 1.5ppm 以内であった。これにより直流電圧校正自動化システムのソフトウェアの妥当性の確認が出来たと考える。

3.3 DMMの校正 DMMの校正結果と手動による校正結果を表 3 に示す。校正結果はキャリブレーションの校正結果との差（補正量）で表示している。本システムの校正結果と手動による校正結果の差は，+10V は 0.2ppm,+8V は 0.38ppm, +6V は 0.34ppm, +4V は 0.25ppm, +2V, +1V, 0V, -1V 及び -2V は 0ppm, -4V は 0.5ppm, -6V は 0.34ppm, -8V は 0.25ppm, -10V は 0.2ppm であり，10V レンジ全てにおいて 1ppm 以内であった。これによりキャリブレーションを基準にしてDMMを校正するソフトウェアの妥当性の確認が出来たと考える。

図 9 はキャリブレーションとDMMの 10Vレンジの校正結果を公称値からの差のグラフである。キャリブレーションとDMMともに図 9 の中心である 0 点を通るリニアリティ（直線性）が確認できた。

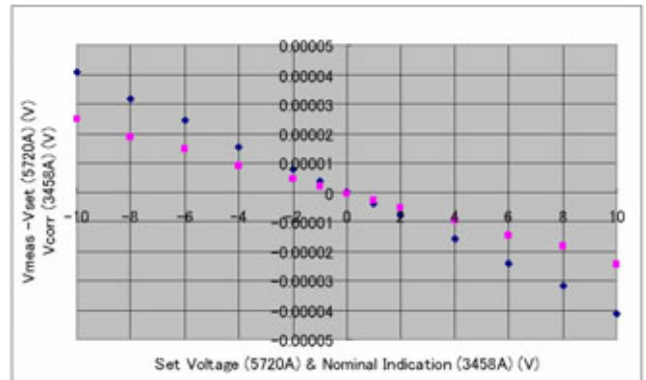
また，図 10 のグラフは，図 9 と同じキャリブレーションを使用して複数台のDMMの校正を行った中の 1 つのデータである。このDMMは，0 点から正側及び負側，両方に直線性が認められる。しかし，その直線の傾きが正側と負側で違う状態にある。通常DMMによる直流電圧の測定は，DMMのかたよりを除去するために，正側と極性を反転させた負側との平均値により測定値を求めている。この図 10 のような特性を有するDMMでは正確な測定は不可能となる。図 10 のような特性をもつDMMは，校正を行うことにより知ることができると，DMMの校正を行う重要性の再確認ができた。

4. 結 言

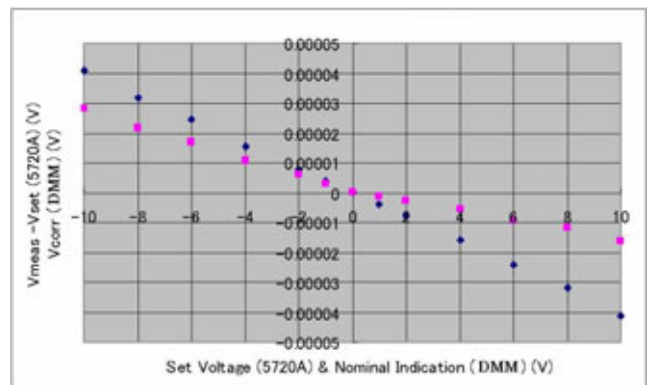
特定二次標準器の 10V を基準として，キャリブレーションの 10V レンジの校正を行うために分圧器は必要条件である。開発した分圧器の分圧比の校正において，校正結果に影響する不確かさが 1ppm 以内で評価できたことにより，信頼性の高い校正結果を得ることができた。信頼性の高い校正結果を中小企業に供給することは，中小企業の品質管理や製品の品質保証をサポートできることにつながる。本研究で確立した技術は，製品開発を行う中小企業の技術振興に役立つものと期待される。

表 3. DMMの校正結果

デジタルマルチメータの表示電圧値(V)	本システムの校正結果 <補正量(V)>	手動による校正結果 <補正量(V)>	校正結果の差 (ppm)
+10.000 000	-0.000 024 5	-0.000 024 3	0.2
+8.000 000	-0.000 018 5	-0.000 018 2	0.38
+6.000 000	-0.000 014 7	-0.000 014 5	0.34
+4.000 000	-0.000 009 8	-0.000 009 7	0.25
+2.000 000	-0.000 005 2	-0.000 005 2	0
+1.000 000	-0.000 002 6	-0.000 002 6	0
0.000 000	-0.000 000 6	-0.000 000 6	0
-1.000 000	0.000 001 9	0.000 001 9	0
-2.000 000	0.000 004 5	0.000 004 5	0
-4.000 000	0.000 009 0	0.000 008 8	0.5
-6.000 000	0.000 014 6	0.000 014 4	0.34
-8.000 000	0.000 018 7	0.000 018 5	0.25
-10.000 000	0.000 025 0	0.000 024 8	0.2



キャリブレーションの校正結果 DMMの校正結果
図 9 キャリブレーションとDMMの校正結果



キャリブレーションの校正結果 DMMの校正結果
図 10 キャリブレーションとDMMの校正結果

(平成 19 年 6 月 29 日受付，平成 19 年 8 月 31 日再受付)