

使いやすさの継承と高精度・高安定度を追及した 「プレジジョン DC キャリブレータ 2553A」

The 2553A Precision DC Calibrator, Pursuing High Accuracy
and Stability with Inherited Usability

日吉 卓也*¹
Takuya Hiyoshi

横河メータ&インスツルメンツはプレジジョン DC キャリブレータ 2553A を開発した。機能面では、まず従来器 2553 同様にダイヤル操作による使いやすさ、7セグ LED による視認性を継承した。そして、温度計 / 温度調節計などの校正作業性を向上させるため、対応熱電対を 5 種類から 10 種類に拡大した。更に、新たに抵抗発生機能を搭載し測温抵抗体を使用する温度計 / 温度調節計などの校正に対応した。性能面では、FPGA を用いた「デジタルアシストアナログ技術」を導入して DAC (Digital to Analog Converter) のフル / ゼロのキャリブレーションと発生値の補正を高速に実現した。その結果、電圧精度 ± 75 ppm/年、電流精度 ± 120 ppm/年、電圧レンジ安定度 ± 15 ppm/時間を実現し、2553 より大幅に向上した。本稿では 2553A の主な特長、構成および特性について紹介する。

Yokogawa Meters & Instruments Corporation has recently developed the 2553A precision DC calibrator. Functionally, the 2553A uses the same dial operation and seven-segment LED as those of the previous 2553 model, inheriting its excellent usability and visibility. Meanwhile, the 2553A has doubled the number of types of thermocouples that can be calibrated, from five to ten, in order to deal with a greater variety of thermometers and temperature controllers; and it has newly implemented a resistance output function for devices that use resistance temperature detectors. In terms of performance, the 2553A has achieved high-speed zero/full scale calibration and output correction of its digital to analog converter (DAC) by introducing a digitally assisted analog technology that uses a field-programmable gate array (FPGA). As a result, the 2553A offers a high accuracy of ± 75 ppm/year for DC voltage, ± 120 ppm/year for DC current and high stability of ± 15 ppm/hour for DC voltage. This paper introduces the major features and key technologies of the 2553A.

1. はじめに

電圧計、電流計、温度計などの計測機器は、正確さを保つために定期的な校正が必要である。横河電機は校正器として 25xx シリーズを供給してきた。25xx シリーズは、校正業界の標準器として長い間使われてきたが、1979 年を最後に開発が途絶え、2003 年にはすべての機種種の販売を終了した。25xx シリーズは高価格、多機能な校正器と異なり、シンプルな機能と使いやすさが好評であった。そのため、お客様からの後継機を開発して欲しいとの強い要望があった。それに応えるため、2013 年に発売した交流標準電圧電流発生器 2558A に続く校正器

復活第二弾として、今回、2553 の後継機であるプレジジョン DC キャリブレータ 2553A を開発した。

図 1 に本器の外観を、表 1 に代表的な仕様を示す。表 1 中の太字部分は 2553 から改善されている仕様である。



図 1 2553A の外観

*1 横河メータ&インスツルメンツ 第一技術部

表 1 2553A と 2553 の代表的な仕様比較

機能		2553A	2553
表示桁数		5.5 桁	4.5 桁
ダイヤル数		5 ダイヤル	3 ダイヤル
電圧発生	レンジ	10 mV, 100 mV, 1 V, 10 V, 30 V	10 mV, 100 mV, 1 V, 10 V
	確度 (1V レンジ)	±75 ppm (1 年)	±300 ppm (1 年)
電流発生	レンジ	1 mA, 10 mA, 30 mA , 100 mA (SINK 可能)	1 mA, 10 mA, 100 mA
	確度 (1 mA レンジ)	±120 ppm (1 年)	±400 ppm (1 年)
熱電対		R, S, B, J, T, E, K, N, C, A, ユーザー設定	R, J, T, E, K
測温抵抗体		Pt100, ユーザー設定	なし
抵抗発生レンジ		400 Ω	なし
基準接点補償機能		内部 (出力端子) / 外部センサー (Pt100)	外部センサー (専用アクセサリ)
重量		約 3 kg	約 8 kg

2. 特長

2.1 分解能・安定度・確度の向上

電圧 / 電流発生については従来器より分解能を 1 桁増やし、5.5 桁として、より細かい発生値の設定が可能となった。分解能が増えたことにより安定度の向上にも注力し、極めて低周波領域の雑音は実力値で 1/10 以下を実現した。確度は表 1 に示す通り従来器より 3 倍以上向上した。

2.2 ダイヤル操作

従来器で好評なダイヤルによる直観的な操作性を継承した。適度なクリック感のあるダイヤルは、校正対象測定器の表示から目を離すことなく出力値の変更ができる。出力値設定ダイヤルは従来の 3 ダイヤルから 5 ダイヤルへ増やして桁ごとの配置とし、少ない操作で出力値の設定が可能となった。

2.3 熱電対温度計校正機能

熱電対を用いた温度計 / 温度調節計の校正に対応するため、各種熱電対の温度に対応した起電力を発生する機能をもっている。出力値は直接温度で設定することができ、温度と起電力の換算表を用いる必要はない。従来器は R, J, T, E, K の 5 種類の熱電対のみの対応だったが、本器は IEC60584-1 : 2013 で規定されている 10 種類の熱電対に対応している。

2.4 測温抵抗体温度計校正機能

従来器ではできなかった測温抵抗体を用いた温度計 / 温度調節計の校正に対応するため、新たに測温抵抗体 Pt100 の温度に対応した抵抗値を発生する機能を搭載した。この機能も出力値を直接温度で設定することができ、温度と抵抗の換算表を用いる必要がない。

2.5 ユーザー定義機能

本器で元々発生可能な上記の 10 種類の熱電対と測温抵抗体 Pt100 以外にも対応できるように、ユーザー定義機能を搭載した。ユーザーが模擬したい熱電対や測温抵抗体の定義多項式を本器に予め入力することにより、設定した温度における起電力や抵抗値を発生することができる。設定は簡単で、PC で多項式をテキストファイルで作成し、本器に搭載したマストレージドライブに USB 経由で転送するだけである。

2.6 基準接点補償機能

熱電対を用いた温度計 / 温度調節計を校正する際、校正器側の熱電対温度が既知である必要がある。通常は校正器の他にアイスバスやオイルバスなどを用意して温度定点を作り、その温度に応じた起電力に補正する。これを基準接点補償という。本器は新たに出力端子に温度センサーを組み込み、端子温度を計測し基準接点とする機能 (内部基準接点補償機能) を設けた。発生値を本器の出力端子温度に応じた起電力に自動補正するので、別途温度定点を用意することなく、本器と温度計 / 温度調節計を直接熱電対で接続して校正作業が可能となり、作業の効率化が期待できる。また、従来器同様にアクセサリの温度センサーを接続して端子台など本器の出力端子以外の箇所の温度を計測し、基準接点補償をすることも可能である (外部基準接点補償機能)。

2.7 電流の吸い込み機能

従来器では対応できなかった電流の吸い込み (SINK) 機能を搭載した。この機能により信号変換器などの動作確認、校正作業が可能となる。例えば、ディストリビュータからの電流を吸い込むことで、本器は 4-20 mA の信号を取り扱う 2 線式伝送器の模擬をすることができる。

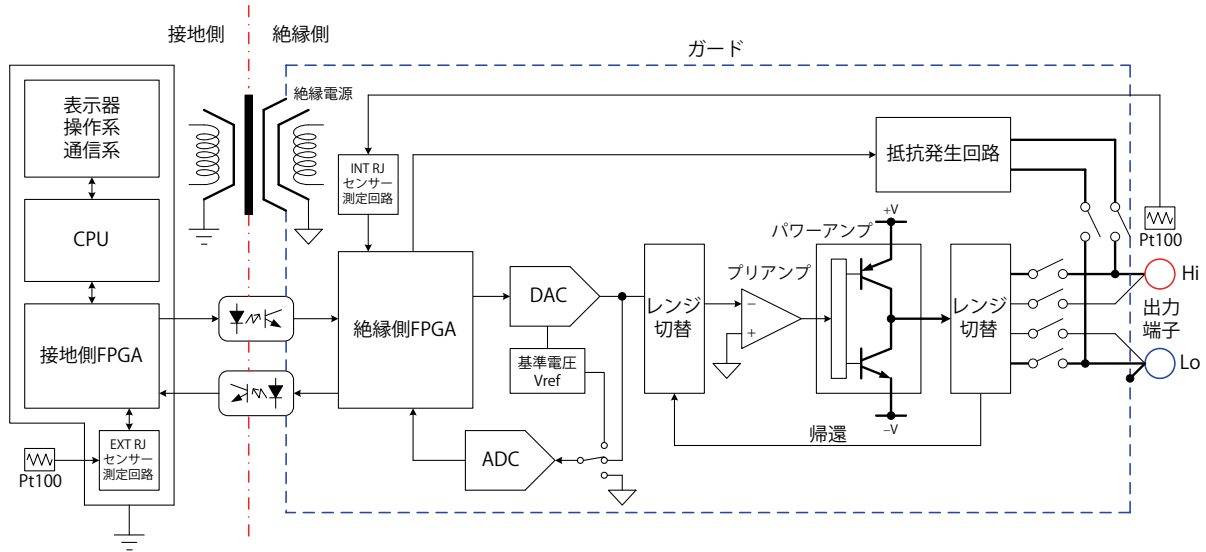


図2 全体ブロック図

3. 本器の構成

図2に本器の全体ブロック図を示す。CPU, FPGA, 表示器, 操作系などの接地回路側と電圧/電流発生用DAC (Digital to Analog Converter), ADC (Analog to Digital Converter), アンプ, 抵抗発生回路などの絶縁回路側に分かれて構成されている。出力 ON/OFF 時および発生値変更時は, DAC 設定用の発生コードが接地側の CPU/FPGA から絶縁側 FPGA に転送される。絶縁側 FPGA では, 発生コードに対して, オーバーシュート抑制や容量性負荷接続時の突入電流軽減のためスムージング処理をしながら発生コードを DAC へ転送する。

一方で高速の PWM (Pulse Width Modulation) 方式の ADC により常に DAC 出力と基準電圧 Vref/ゼロを測定し補正をしている。

これら「デジタルアシスタアナログ技術」により従来器より高精度, 高安定な出力を実現することができた。

以下に DAC 部, ADC 部, アンプ部の各ブロックについて解説する。

3.1 DAC 部

図3は図2の絶縁側 FPGA と DAC 部のブロック図を詳しく示したものである。

DAC は 12 bit が 2 個入りのものを加算して 13 bit にして使用している。それでは分解能が不足するため 1 次の $\Delta\Sigma$ 変調をかけてカウント間の平均値として中間レベルを発生させ, 24 bit 相当の DAC として動作している。このとき, グリッチの大きいコード間を遷移すると直線性が劣化するので, グリッチが大きくなるコードを検出した場合はそのコードを避けるように 2 個の DAC コードをシフトする仕組みを採用した。

DAC 出力は ADC で測定して補正している。DAC 出力と ADC の測定値に差異がある場合には, その差を補正して最終的には ADC の測定値が目標となるように動作する。

発生値変更時など目標値に対して誤差が大きいと応答時間が伸びたり, オーバーシュートが増大したりするため, それを避けるために目標値と誤差が大きい場合は目標値を段階的に変化させ補正している。また, DAC 出力

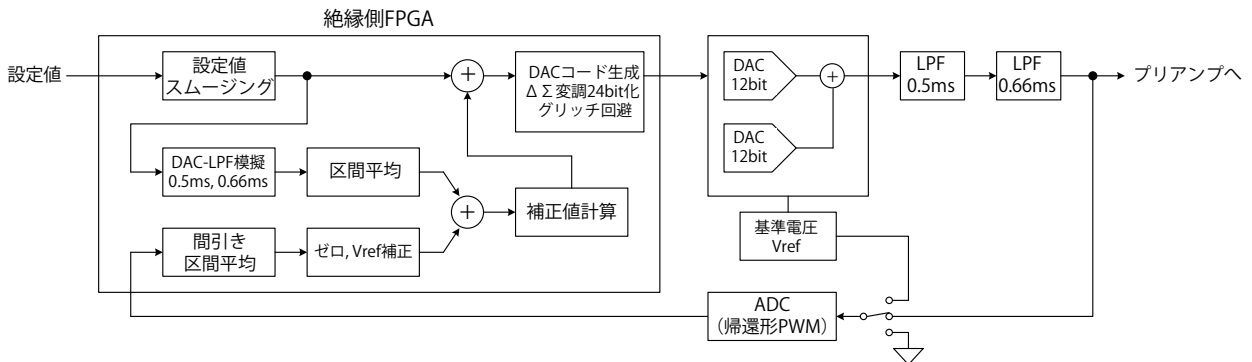


図3 絶縁側 FPGA, DAC 部ブロック図

に形成されているアナログローパスフィルタ (LPF) も目標値に対する遅れとなるため、アナログ LPF 時定数も目標値設定に反映して補正している。

3.2 ADC 部

図 4 は図 2 および図 3 の ADC 部のブロック図を詳しく示したものである。

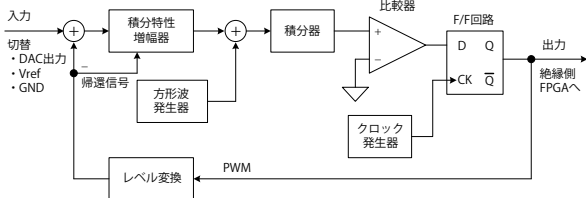


図 4 ADC 部ブロック図

ADC 部は従来の製品でも使用されていた積分器を用いた帰還形 PWM 方式を基本とし、積分器を 2 段連続させた方式を開発した。比較器の前で 2 段積分しているため、 ΔS_{ADC} と同様に量子化雑音は低周波領域で 12 dB/oct で減衰する 2 次のノイズシェーピング特性を得ることができ、従来よりも高分解能かつ高速な動作を可能とした。

高分解能化により 24 bit 化した DAC 出力の補正が可能となった。また、高速化により 200 ms の間に温度特性に優れた基準電圧 Vref とゼロレベル (回路 GND) および DAC 出力の 3 点を測定してフル / ゼロのキャリブレーションを毎回行い高安定な出力を維持している。

3.3 アンプ部

アンプ部は DAC 出力を受けるプリアンプとパワーアンプで構成されている。プリアンプはチョップ方式のアンプを採用し温度の影響をほとんど受けず、非常に安定した特性を得ることができる。パワーアンプはパワートランジスタを用いたプッシュプル方式のアンプを採用し、従来器ではできなかった SINK 機能を可能にした。また、極性の反転にメカリレーを使用しないので、極性切り替えによるグリッチは発生しない。

4. 特性評価結果

4.1 高安定出力の実現

図 5 は 10 V レンジにて +10 V, 0 V, -10 V を出力し、デジタルマルチメータで 1 秒おきに 1 時間測定した場合の安定度である。出力してから応答安定後を起点として経過時間とレンジに対する変動値を示したものである。

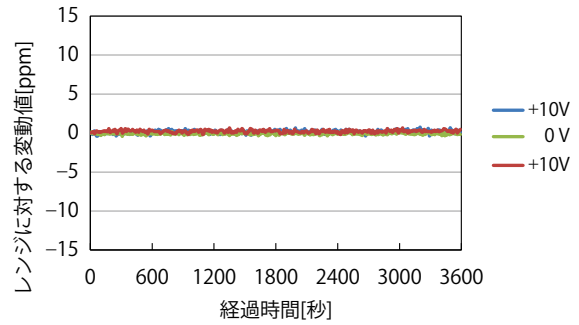


図 5 10 V レンジ 1 時間安定度実測データ

10 V レンジの最小設定分解能はレンジの 10 ppm であるが、変動の実測値は 1 ppm 程度であり、高安定であることが分かる。

4.2 良好な温度特性

図 6 は 10 V レンジ +10 V, 0 V, -10 V 出力において、周囲温度 23 °C の時の出力を基準とし、製品動作環境温度仕様下限の 5 °C と上限の 40 °C へ周囲温度を変動させた時の出力変動である。

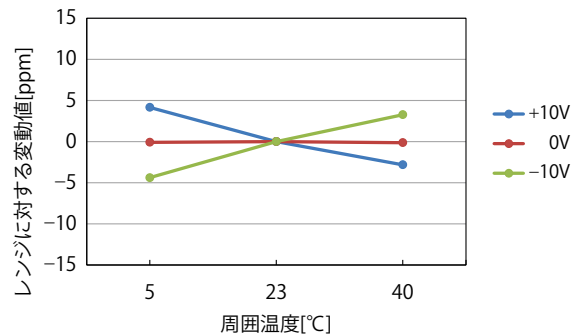


図 6 10 V レンジ温度特性実測データ

10 V レンジは仕様上下限の範囲で周囲温度を変化させても最小設定分解能の 10 ppm 未満の変動であり、温度特性に優れている。特に 0 V 発生については前述のゼロキャリブレーションにより、ほとんど変動しないことが分かる。

5. おわりに

従来器の使いやすさを継承した本器は外観に大きな変化は見られないかもしれないが、すべての設計を刷新し、大幅に向上した高確度、高安定な出力を実現することができた。今後も技術で差別化された使い勝手の良い校正器製品を拡充していきたい。