



Circuits from the Lab™ 実用回路は今日のアナログ・ミックスド・シグナル、RF 回路の設計上の課題の解決に役立つ迅速で容易なシステム統合を行うために作製、テストされました。詳しい情報と支援については www.analog.com/jp/CN0216 をご覧ください。

接続/参考にしたデバイス

AD7791	低消費電力、バッファ付き 24 ビット Σ - Δ D コンバータ
ADA4528-1	高精度、超低ノイズ、20 MHz、レール to レール入力/出力、ゼロ・ドリフト・オペアンプ
ADP3301	高精度、anyCAP@100 mA、低ドロップアウト、リニア・レギュレータ

外付けゼロ・ドリフト・アンプ ADA4528-1 と 24 ビット Σ - Δ D コンバータ AD7791 を使用した高精度重量計回路

評価と設計支援

回路評価基板

- [CN-0216 回路評価基板\(EVAL-CN0216-SDPZ\)](#)
- [システム・デモ用プラットフォーム\(EVAL-SDP-CB1Z\)](#)

設計と統合ファイル

- [回路、レイアウト・ファイル、BOM](#)

回路の機能とその利点

図 1 の回路は、高精度重量計の信号処理システムです。回路は低消費電力、バッファ付き 24 ビット Σ - Δ D コンバータ AD7791 と 2 個の外付けゼロ・ドリフト・アンプ ADA4528-1 を

使用します。このソリューションは単電源で高 DC ゲインが可能で、ロードセルからの低レベル信号を増幅するために前段に超低ノイズ、低オフセット電圧、低ドリフトのアンプを使用します。この回路の場合フルスケール出力 10mV のロードセルに対して、ノイズフリー・コード分解能は 15.3 ビットになります。

この回路は顧客向け低レベル信号処理フロント・エンドの設計に対して高い柔軟性があり、ユーザーはセンサー/アンプ/コンバータの組み合わせ回路全体の伝達関数を容易に最適化できる能力が得られます。AD7791 は 9.5 Hz ~ 120 Hz の出力データ範囲全体に渡って優れた性能を保つので、各種の低速で動作する重量計アプリケーションに使用する事ができます。

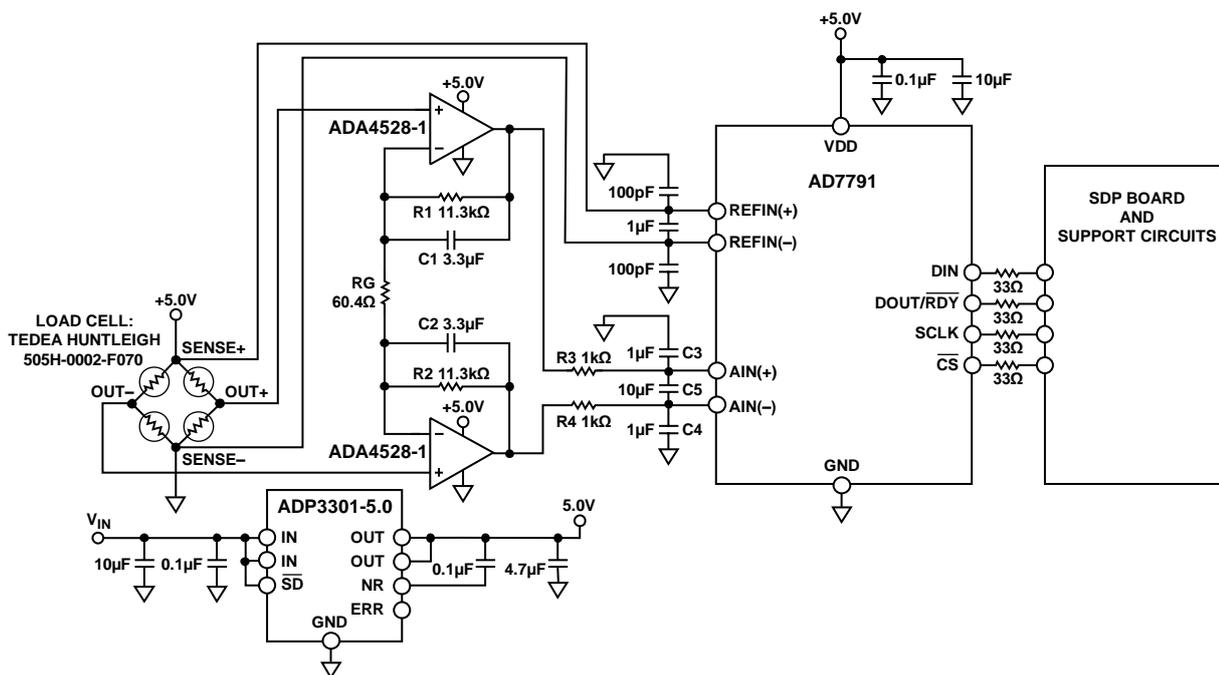


図 1. AD7791 を使用した重量計システム (簡略化した回路、全ての接続やデカップリングは示されていません)

アナログ・デバイセズ社は、提供する情報が正確で信頼できるものであることを期していますが、その情報の利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許やその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。また、アナログ・デバイセズ社の特許または特許の権利の使用を明示的または暗示的に許諾するものでもありません。仕様は、予告なく変更される場合があります。本紙記載の商標および登録商標は、各社の所有に属します。※日本語データシートは REVISION が古い場合があります。最新の内容については、英語版をご参照ください。

©2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

Rev. 0

回路説明

図2に、実際のテスト・セットアップを示します。6線 Tedeo-Huntleigh 505H-0002-F070 ロードセルをテスト目的で使用します。

PCBパターンを通して流れる電流は配線抵抗による電圧降下を生じ、パターンが長いと、この電圧降下が数ミリボルトになり大きな誤差となる可能性があります。1オンス銅箔の1インチ長、0.005インチ幅パターンは、室温で約100 mΩの抵抗があります。負荷電流10mAの場合、この抵抗により1 mVの誤差を招く可能性があります。

6線ロードセルには励起、グラウンド、2出力の接続に加え、2つのセンス端子があります。センス端子はホイートストーン・ブリッジのハイサイド（励起ピン）とローサイド（グラウンドピン）に接続されます。このピンを使うことで配線抵抗による電圧降下に関係なくブリッジで発生する電圧は正確に測定できます。AD7791は、差動アナログ入力と同時に差動リファレンスを入力できます。これらの2つのセンス端子電圧をAD7791のリファレンス入力に接続して、電源励起電圧の低周波数変動に影響されないレシオメトリック構成にします。レシオメトリック接続により高精度電圧リファレンスの必要はなくなります。

6線ロードセルとは違い、4線ロードセルにはセンス端子はなく、ADC差動リファレンス端子は励起電圧とグラウンドに直接接続されます。この接続の場合、配線抵抗によりADCの励起端子とリファレンス端子の間に電圧差が生じます。また配線抵抗によりローサイド（グラウンド）間でも電圧差があります。この場合システムは完全には、レシオメトリックにならない可能性があります。

Tedeo-Huntleigh 2 kg ロードセルは励起電圧が5Vの時、感度は2 mV/Vで、フルスケール出力は10 mVです。ロードセルにはロードセル構造によるオフセットあるいはTAREがあります。さらに、ロードセルはゲイン・エラーもあります。TAREを除去またはゼロにするためにDACを使用しているユーザーもいます。AD7791のリファレンスが5Vの時、その差動アナログ入力範囲は±5 V又は10 V p-pになります。図1の回路はロードセル出力を375倍 ($1 + 2R1/RG$)で増幅するので、ロードセル出力に換算したフルスケール入力範囲は10 V/375 = 27 mV p-pになります。ロードセルのフルスケール信号10 mV p-pに対してこのロードセル出力に換算のフルスケール入力範囲が広がっているので、ロードセルにオフセットやゲイン・エラーがあってもADCの前段が過剰に駆動される事はありません。

ロードセルからの低レベル振幅信号は2つのゼロ・ドリフト・アンプADA4528-1によって増幅されます。名前が示すようにゼロ・ドリフト・アンプはオフセット電圧ドリフトがほぼゼロのアンプです。アンプはどんなDC誤差も継続的に自己修正して可能な限り高精度を維持します。ゼロ・ドリフト・アンプは低オフセット電圧、低ドリフトだけでなく、1/fノイズも表れません。この重要な特徴によりDC又は低周波での高精度重量計測定が可能になります。

2個のオペアンプADA4528-1は3オペアンプ構成の計装アンプの初段として構成されています。差電圧アンプとして接続される3つ目のオペアンプは通常2段目に使用されますが、図1の回路ではAD7791の差動入力がこの機能を果たします。

ゲインは $1 + 2R1/RG$ です。C1とC2のコンデンサをオペアンプのフィードバック・ループ内に接続し、R1とR2と共にカットオフ周波数4.3 Hzのローパス・フィルタを形成します。このフィルタはΣ-ΔADCコンバータに侵入するノイズの量を抑制します。C5はR3、R4と共にカットオフ周波数8 Hzの差動フィルタを形成しノイズをさらに抑制します。C3、C4はR3、R4と共にカットオフ周波数159 Hzの同相フィルタを形成します。

低ノイズ・電圧レギュレータADP3301はAD7791、ADA4528-1とロードセルに電源を供給します。デカップリング・コンデンサの他に、ADP3301データシートで推奨されているように、ノイズ低減用コンデンサをレギュレータ出力に接続します。電源又はグラウンド・プレーンのどんなノイズもシステムにノイズを誘導し回路性能を悪くするので、レギュレータは低ノイズである必要があります。

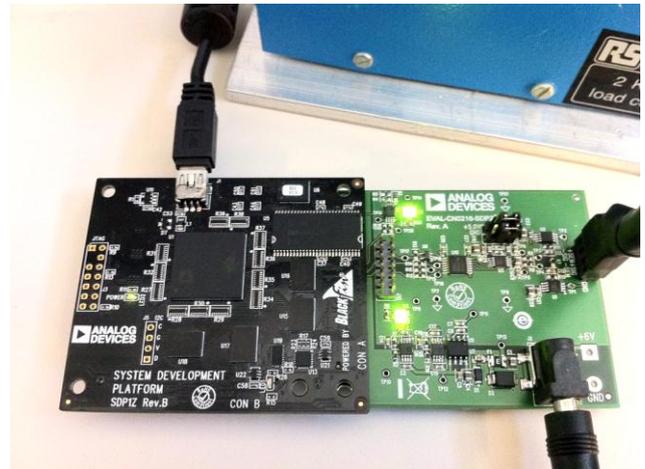


図2. AD7791を使用した重量計システムのセットアップ

24ビットΣ-ΔADC AD7791はロードセルからの出力を増幅した信号をAD変換します。アナログ入力ピンのRCフィルタ回路のインピーダンスに影響を受けないようにAD7791をバッファモードで動作するように設定します。

図3は様々な出力データレートに対するAD7791のRMSノイズを示します。このグラフは出力データレートが高くなるとRMSノイズが増える事を示しています。しかし、デバイスは出力データレートの全範囲に渡って優れたノイズ性能を維持しています。

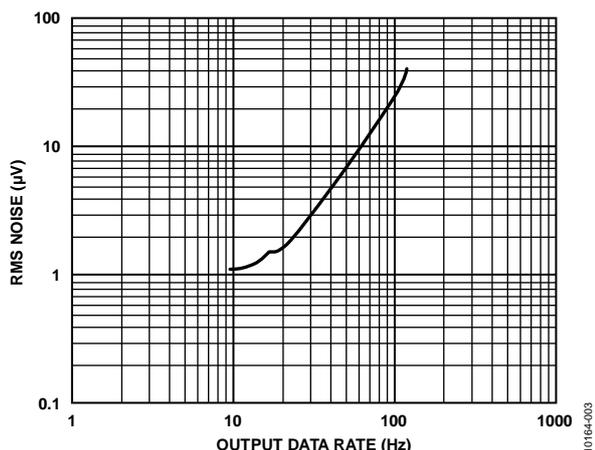


図 3. 異なる出力データレート、2.5V レファレンス(5 V p-p 入力範囲)、バッファ・オンにおける AD7791 の RMS ノイズ

出力データレート 9.5 Hz でレファレンス 2.5V における AD7791 のノイズ $1.1 \mu\text{VRMS}$ の条件でノイズフリー・カウンタは下記のようになります：

$$\frac{5 \text{ V}}{6.6 \times 1.1 \mu\text{V}} = 688,705$$

ここで、6.6 倍の係数により RMS 電圧がピーク to ピーク電圧に変換されます。

従って、対応するノイズフリー・コード分解能は：

$$\log_2(688,705) = \frac{\log_{10}(688,705)}{\log_{10}(2)} = 19.5 \text{ bits}$$

この値はロードセル又は入力アンプを接続しない状態での AD7791 の性能を表す事に注意してください。

ADA4528-1 には $5.9 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ の電圧ノイズ密度があるので、この入力アンプと抵抗によりシステムにノイズが追加されます。さらに、ロードセル自信のノイズが加わります。

図 1 の回路では 5 V レファレンスが使用されているのでピーク to ピーク入力範囲は 10 V になります。従って LSB は下記に等しくなります。

$$1\text{LSB} = \frac{10 \text{ V}}{2^{24}} = 0.596 \mu\text{V}$$

ロードセルから出力される 10 mV p-p フルスケール信号は ADC に対する入力 3.75 V p-p になりますが、それは ADC の入力範囲の約 38% になります。

ロードセルを接続して各 500 個のサンプル 7 セットを取得しました (無負荷)。各サンプル・セットのピーク to ピークのコードの拡がりを計算し、7 つの値を平均すると 159 カウンタのコード分散になりました。

これは ADC へのフルスケール入力 3.75 V p-p を基本にして $159 \times 0.596 \mu\text{V} = 94.8 \mu\text{V p-p}$ のノイズに相当します。

従ってノイズフリー・コード・カウントは下記の値になります。

$$\frac{3.75 \text{ V}}{94.8 \mu\text{V}} = 39,557$$

これを用いると、全システムに対応するノイズフリー・コード分解能は下記の値になります：

$$\log_2(39,557) = \frac{\log_{10}(39,557)}{\log_{10}(2)} = 15.3 \text{ bits}$$

図 4 に、サンプル 500 個(9.5 Hz データレートの場合 52.6 秒)の ADC コードのグラフを示します。ピーク to ピークの分散は 160 コードになる事に注目してください。

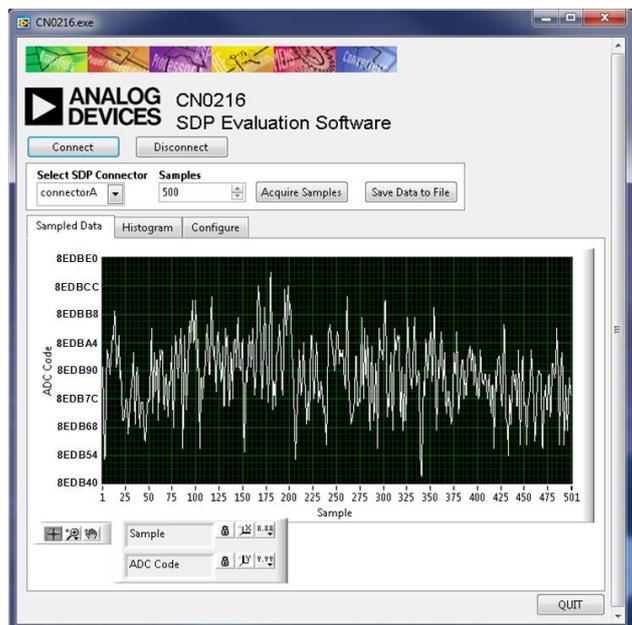


図 4. ノイズの影響を表すサンプル 500 の実測出力コード

図 5 は同じデータですがヒストグラムで表示しています。図 4 と図 5 は AD7791 からの実際 (生) の変換読み出し値を示します。実際には、一般的に重量計システムではデジタル・ポスト・フィルタが使用されます。ポスト・フィルタで実行される追加の平均化により、データレートは減少しますがノイズフリー・カウンタの数はさらに改善されます。

グラムで表したシステムの分解能は次のように計算されます。

$$\frac{2 \text{ kg}}{39,557} = 0.05 \text{ g}$$

高精度回路を使用するときには常に、レイアウト、接地、デカップリング技術を適切に行う必要があります。詳細については [Tutorial MT-031, Grounding Data Converters and Solving the Mystery of AGND and DGND](#) と [Tutorial MT-101, Decoupling Techniques](#) を参照してください。この回路ノートの完全な設計支援パッケージは www.analog.com/CN0216-DesignSupport に載っております。

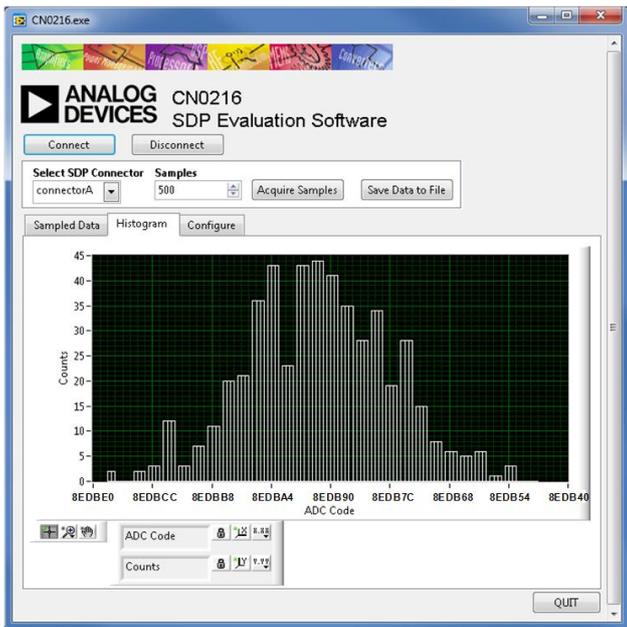


図 5. ノイズの影響を示すサンプル 500 個についての
実測ヒストグラム

バリエーション回路

重量計アプリケーションに適した他の AD コンバータと回路は [CN-0102 \(AD7190\)](#)、[CN-0107 \(AD7780\)](#)、[CN-0108 \(AD7781\)](#)、[CN-0118 \(AD7191\)](#)、[CN-0119 \(AD7192\)](#)、[CN-0155 \(AD7195\)](#) に述べられています。

[AD7171](#) は 16 ビットの $\Sigma\Delta$ /D コンバータです。

もっと低い消費電力の回路には ADA4051-2 を使用してください。ADA4051-2 は電源電流が 1 アンペアあたり 20 μ A のデュアル、マイクロパワー、ゼロ・ドリフト・アンプです。

回路評価とテスト

この回路は回路基板 EVAL-CN0216-SDPZ とシステム・デモ用プラットフォーム(SDP) 評価基板 EVAL-SDP-CB1Z を使用します。2つの基板には、回路の性能の迅速な設定と評価を可能にする 120 ピンコネクタが付いています。基板 EVAL-CN0216-SDPZ は (このノートに記述されているように) 評価対象の回路を含みます。そして回路基板 EVAL-CN0216-SDPZ からのデータを取り込むために SDP 評価基板を CN-0216 評価ソフトウェアと共に使用します。

評価に必要な装置

- USB ポートがあり Windows XP 又は Windows Vista(32 ビット)又は Windows 7 (32 ビット)対応の PC
- 回路評価基板 [EVAL-CN0216-SDPZ](#)
- SDP 評価基板 [EVAL-SDP-CB1Z](#)
- CN0216 評価ソフトウェア
- TedeA-Huntleigh 社 505H-0002-F070 ロードセル又は同等品
- 電源電圧: +6 V 又は +6 V "AC アダプタ"

動作の準備

CN0216 評価ソフトウェア・ディスクを PC の CD ドライブに挿入して評価ソフトウェアをロードしてください。"マイ コンピュータ"を使用して、評価ソフトウェア・ディスクを含むドライブを見つけ、Readme ファイルを開いてください。

Readme ファイルに含まれているインストラクションに従って、評価ソフトウェアをインストールし、使用してください。

機能ブロック図

回路ブロック図についてはこの回路ノートの図 1 を、そして回路図については PDF ファイル "EVAL-CN0216-SDPZ-SCH" をご覧ください。このファイルは、[CN0216 Design Support Package](#) に含まれています。

セットアップ

回路基板 EVAL-CN0216-SDPZ の 120 ピン・コネクタを評価 (SDP) 基板 EVAL-SDP-CB1Z の "CON A" と表示されたコネクタに接続してください。120 ピン・コネクタの末端にある穴を利用して 2 つの基板をしっかりと固定するためにナイロン製の留め具を使用する必要があります。ロードセルを基板 EVAL-CN0216-SDPZ に接続してください。

電源を電源オフにして、+6 V 電源を基板の "+6 V" と "GND" と表示されているピンに接続してください。もし +6 V "AC アダプタ" があれば、基板のパレル・ジャック・コネクタに接続して +6 V 電源電圧の代わりに使用する事ができます。SDP 基板と共に提供する USB ケーブルを PC の USB ポートに接続してください。注: この時にはまだ USB ケーブルを SDP 基板上のミニ USB コネクタに接続しないでください。

テスト

回路基板 EVAL-CN0216-SDPZ に接続した +6 V 電源 (又は AC アダプタ) に電源を供給してください。評価ソフトウェアを立ち上げ、PC からの USB ケーブルを SDP 基板上の USB ミニ・コネクタに接続してください。アナログ・デバイセズのシステム開発プラットフォーム・ドライバがデバイス・マネージャにリストされていれば、ソフトウェアは SDP 基板と通信する事ができます。

一度 USB 通信が確立されれば、基板 EVAL-CN0216-SDPZ からのシリアル・データの送信、受信、取り込みを行うために SDP 基板を使用する事ができます。

データ取り込みのための評価ソフトウェアの使用方法に関する情報と詳細は CN0216 評価ソフトウェアの Readme ファイルに載っています。

SDP 基板に関する情報は [SDP User Guide](#) に載っています。

データの解析

少なくとも 500 個のサンプルからなるの ADC 出力データを取得する必要があります。一度サンプルのデータセットがエクセルのようなスプレッドシート・プログラムにエクスポートされれば、サンプルを解析する事ができます。ガウス・ノイズ分布と仮定すれば、サンプルの標準偏差は大体 RMS ノイズに等しくなります。ピーク to ピーク・ノイズは、おおよそ RMS 値に 6.6 をかけた値になります。

ピーク to ピーク・ノイズは、簡単に最大と最小のサンプルの差をとる事により直接サンプル・セットから取得する事ができます。実際に、この方法を使って得られた結果はおおよそ RMS 値に 6.6 を乗算して得られた値と同じになります。

サンプル・セットから得られた値は LSB 単位なので、それらを電圧に変換しなければなりません。この場合レファレンス 5V とすると $1 \text{ LSB} = 0.596 \mu\text{V}$ です。

必要であれば、より精度の高い測定値を得るためにいくつかのサンプル・セットを平均化します。

この回路ノートで前に述べたようにノイズフリー・コード分解能はピーク to ピーク・ノイズから計算します。

さらに詳しくは

[Kester, Walt.1999.Sensor Signal Conditioning.Sections 2.Analog Devices.](#)

[Kester, Walt.1999.Sensor Signal Conditioning.Sections 3.Analog Devices.](#)

[Kester, Walt.1999.Sensor Signal Conditioning.Section 4.Analog Devices.](#)

[MT-004 Tutorial, The Good, the Bad, and the Ugly Aspects of ADC Input Noise—Is No Noise Good Noise?Analog Devices.](#)

[MT-022 Tutorial, ADC Architectures III:Sigma-Delta ADC Basics, Analog Devices.](#)

[MT-023 Tutorial, ADC Architectures IV:Sigma-Delta ADC Advanced Concepts and Applications, Analog Devices.](#)

[MT-031 Tutorial, Grounding Data Converters and Solving the Mystery of "AGND" and "DGND", Analog Devices.](#)

[MT-063 Tutorial, Basic Three Op Amp In-Amp Configuration, Analog Devices.](#)

[MT-101 Tutorial, Decoupling Techniques, Analog Devices.](#)

[AN-1114 5.6 nV/√Hz の電圧ノイズ密度を持つ最小ノイズのゼロ・ドリフト・アンプ](#)

[CN-0102 Circuit Note, Precision Weigh Scale Design Using the AD7190 24-Bit Sigma-Delta ADC with Internal PGA, Analog Devices.](#)

[CN-0107 PGA を内蔵した 24 ビット、 \$\Sigma\Delta\$ 型 A/D コンバータ AD7780 を使った重量計の設計.](#)

[CN-0108 PGA を内蔵した 20 ビット、 \$\Sigma\Delta\$ 型 A/D コンバータ AD7781 を使った重量計の設計](#)

[CN-0118 Circuit Note, Precision Weigh Scale Design Using the AD7191 24-Bit Sigma-Delta ADC with Internal PGA, Analog Devices.](#)

[CN-0119 Circuit Note, Precision Weigh Scale Design Using the AD7192 24-Bit Sigma-Delta ADC with Internal PGA, Analog Devices.](#)

[CN-0155 PGA を内蔵した 24 ビット、 \$\Sigma\Delta\$ 型 A/D コンバータを使い、AC 励起電圧を使った高精度重量計の設計](#)

データシードと評価ボード

[AD7791](#)

[ADA4528-1](#)

[ADP3301](#)

[CN-0216 回路評価基板\(EVAL-CN0216-SDPZ\)](#)

[システム・デモ用プラットフォーム\(EVAL-SDP-CB1Z\)](#)

改訂履歴

9/11-Revision 0:初版

「Circuits from the Lab/実用回路集」はアナログ・デバイセズ社製品専用で作られており、アナログ・デバイセズ社またはそのライセンスの供与者の知的所有物です。お客さまは製品設計で「Circuits from the Lab/実用回路集」を使用することはできますが、その回路例を利用もしくは適用したことにより、特許権またはその他の知的所有権のもとでの暗示的許可、またはその他の方法でのライセンスを許諾するものではありません。アナログ・デバイセズ社の提供する情報は正確でかつ信頼できるものであることを期しています。しかし、「Circuits from the Lab/実用回路集」は現状のまま、かつ商品性、非侵害性、特定目的との適合性の暗示的保証を含むがこれに限定されないいかなる種類の明示的、暗示的、法的な保証なしで供給されるものであり、アナログ・デバイセズ社はその利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許権もしくはその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。アナログ・デバイセズ社についても予告なく「Circuits from the Lab/実用回路集」を変更する権利を留保しますが、それを行う義務はありません。商標および登録商標は各社の所有に属します。