

テスト済み回路設計集“Circuits from the Lab™”は共通の設計課題を対象とし、迅速で容易なシステム統合のために製作されました。さらに詳しい情報又は支援は www.analog.com/jp/CN0569 をご覧ください。

接続または参考にしたデバイス	
ADPD2140	赤外線光学角度センサー
ADPD1080	測光用フロント・エンド
ADG3301	低電圧、1.15V～5.5V、シングル・チャンネル双方向のロジック・レベル変換器
LT1761	100mA、低ノイズ LDO マイクロパワー・レギュレータ
LTC4313	高ノイズ・マージンの 2 線バス・バッファ

赤外線ジェスチャ認識モジュール

評価と設計支援

▶ 回路評価用ボード

- ▶ CN0569 回路評価用ボード (EVAL-CN0569-PMDZ)
- ▶ ADuCM3029 超低消費電力、Cortex-M3 Arduino
フォーム・ファクタ開発ボード (EVAL-ADICUP3029)

▶ 設計および統合ファイル

- ▶ 回路図、PCB レイアウト・データ、部品表

回路の機能とその利点

非接触のユーザ・インターフェースは急成長している技術トレンドとして、ヘルスケア、アクセス制御、およびコンシューマ製品において普及が進んでいます。この技術は、身体的に直接触れる必要のないヒューマン・マシン・インタラクションを可能にします。これら非接触のシステムでは、手を振る動作や「スワイプ」といった体の動きをジェスチャ認識技術を利用して検出し、動作をコマンドとして解釈します。このような操作方法は、カメラや光センサーなど、光に反応するデバイスによって取得されたデータが頼りです。

ビジョン・ベースおよび光学ベースのシステムは、反射光のみに依存します。公共空間やノイズの多い環境など、バックグラ

サウンド・ノイズや周囲の音のために言語ベースの非接触ユーザ・インターフェース・システムでは正確なデータ取得が困難な場所においてこの技術は最適です。

図 1 に示す回路は、一般的なジェスチャ認識アプリケーションに向けた低価格の光学システムです。このリファレンス設計では、赤外線のパルスを空中に送信し、光学センサーが受信した反射光データを読み出します。ジェスチャ認識の対象物（人の手など）は、この空間に入ると光学センサー上に赤外線を反射します。リファレンス設計はこの反射光を検出し、対象物の位置に基づいた応答を生成します。

ジェスチャの検出範囲は最大 20cm（代表値）、サンプル・レートは最大 512 サンプル／秒で、アプリケーションに応じて適した応答時間とノイズ除去性能に調整することができます。

I²C Pmod のフォーム・ファクタを備えているため、外部の開発プラットフォームと容易に接続できます。アルゴリズムは、ホスト・コンピュータ上で Python や MATLAB などの高水準言語を使用して作成することができ、その後、組込みのデバイスに移植します。

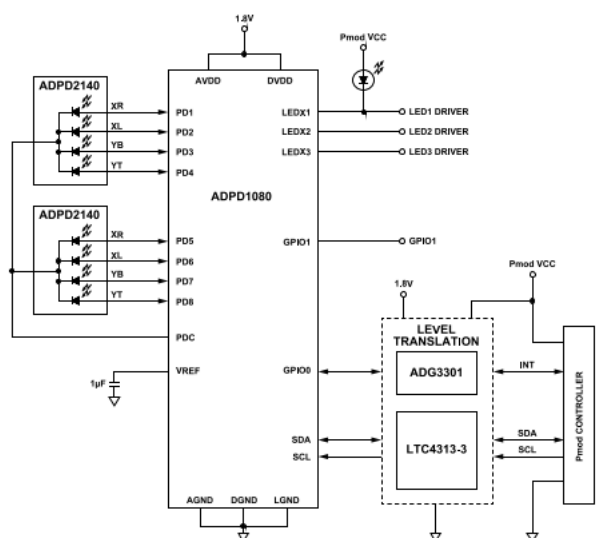


図 1. CN0559 のブロック図

アナログ・デバイス社は、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・デバイス社の特許または特許の権利の使用を明示的または暗黙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、それぞれの所有者の財産です。※日本版説資料は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。

回路の説明

ジェスチャ認識を使用することで、ユーザ・インターフェースは手の動きとパターンを検出し、コマンドに変換することができます。この技術を実現するには、システムで次の 3 つの基本機能を処理する必要があります。

- ▶ ジェスチャの開始と終了を検出
- ▶ ジェスチャ動作中の手の動きを追跡
- ▶ 手の動きに基づいてジェスチャを識別

赤外線光学角度センサー

この回路で中心となるのは、ADPD2140 赤外線光学角度センサーです。このデバイスは、赤外線の入射角度を 2 軸、単一点で測定することができ、複数のデバイスを使用した三角測距も可能です。ADPD2140 の放射感度領域は 0.31mm^2 で、領域内は共通のカソード端子を持つ 4 つのフォトダイオード・チャンネルに分割されています。0.2V の逆電圧で動作しているとき、4 チャンネルすべての接合容量と逆暗電流の代表値は極めて低い値になります（接合容量が 12.7pF 、逆暗電流が 1.74pA ）。また、ADPD2140 は $\pm 35^\circ$ の画角内で線形応答を保つことができるため、高精度のアライメントは不要です。

ADPD2140 パッケージには、可視光をシャープにカットオフする光学フィルタが内蔵されているため、太陽光や室内照明の下でもレンズを外付けすることなく、センサーのダイナミック・レンジを維持できます。このリファレンス設計用に赤外線光源を選定する場合、ADPD2140 内蔵の光学フィルタを透過する 800nm 以上の波長で動作する部品を選ぶことが重要です。また、光源は、反射光が $\pm 35^\circ$ の画角内に収まるようセンサーとの距離を保って配置します。このリファレンス設計では、 850nm の赤外線エミッタ 1 個を光源として使用し、1 つめの ADPD2140 から 6mm 、2 つめの ADPD2140 から 19mm 離して配置しています（図 2 参照）。広角度で強い光が入射すると測定に影響するため、3D プリンタで作製したバッフルを ADPD2140 それぞれの周りに配置し、入射光を約 $\pm 35^\circ$ 以内に制限しています。

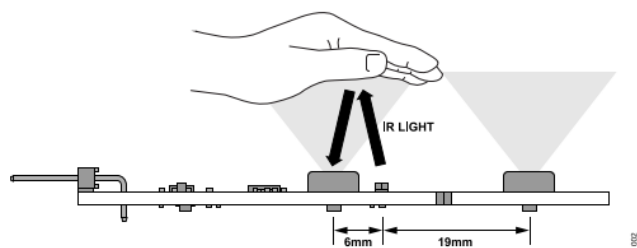


図 2. EVAL-CN0569-PMDZ での ADPD2140 と LED の配置

測光用フロント・エンド

CN0569 の測光用フロント・エンドに使用されているのは ADPD1080 で、これは、LED ドライバ、トランスインピーダンス・アンプ、積分器、A/D コンバータ、デジタル信号処理、I²C インターフェースが内蔵された高集積デバイスです。

ADPD1080 は、赤外線 LED のパルス駆動、ADPD2140 の応答の検出、アナログの光電流からデジタル・コードへの変換、および I²C を介した外部マイクロコントローラへのデータ送信を実行します。8 個並列の高性能フォトダイオード入力チャンネルを備えた小型の ADPD1080 は、ADPD2140 と組み合わせて使用することで、LED の同期パルスを使用した光学角度センサー向けに低価格のディスクリート・ソリューションを実現します。

CN0569 は、2 個の ADPD2140 赤外線センサーを ADPD1080 に接続して使用しており、ジェスチャと距離の両方の検出が容易にできます。図 3 に代表的な測定チャンネルの簡略化したブロック図を示します。

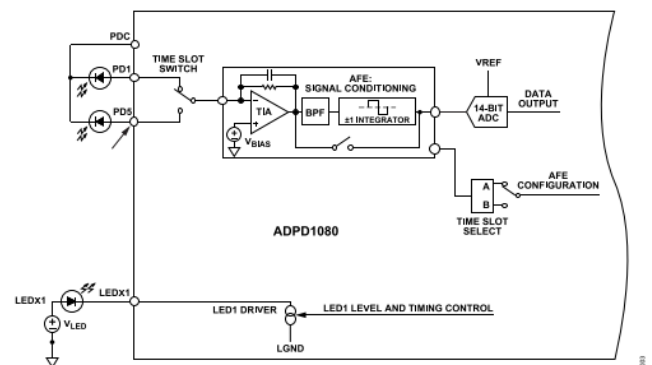


図 3. 代表的な測定チャンネル

ADPD1080 に搭載された 3 つの LED ドライバ（LEDX1、LEDX2、LEDX3）で外部 LED を駆動します。3 つの LED ドライバは電流シンクで動作し、LED 電源からそれぞれに流れる電流の平均値は式 1 を使用して計算できます。

$$I_{LED_AVERAGE} = I_{LED_PEAK} \left(\frac{t_{LED_PULSE}}{t_{LED_PERIOD}} \right) \quad (1)$$

ここで、

$I_{LED_AVERAGE}$ は LED 電源から LED ドライバに流れる平均電流値（mA）、

I_{LED_PEAK} は LED ドライバを流れるピーク電流の設定値（mA）、

t_{LED_PULSE} は LED パルス幅（ μs ）、

t_{LED_PERIOD} は LED パルスの周期（ μs ）です。

式 2 に示すように、ADPD1080 の LED ドライバを流れるピーク電流の設定値は、電流の粗設定値、電流の精細設定値、電流のスケール係数の 3 つの係数の積です。

$$I_{LED_PEAK} = LEDx_COARSE \times LEDx_FINE \times LEDx_Current_Scale \quad (2)$$

ここで、

I_{LED_COARSE} は LED ドライバを流れる電流の粗設定値、

I_{LED_FINE} は LED ドライバを流れる電流の精細設定値、

$LED_Current_Scale$ は LED ドライバを流れる電流のスケール係数です。

この3つの係数は、ADPD1080のLEDコントロール・レジスタによって決定します。

- ▶ 電流の粗設定値は、ILED1_COARSE、ILED2_COARSE、およびILED3_COARSEを使用して調整します。
- ▶ 電流の精細設定値は、ILED1_FINE、ILED2_FINE、およびILED3_FINEを使用して調整します。
- ▶ 電流のスケール係数は、ILED1_SCALE、ILED2_SCALE、およびILED3_SCALEを使用して選択します。

LEDドライバを流れる電流の粗設定値の基本値は50.3mAで、LSB当たり19.8mAずつ増加します。同様に、LEDドライバを流れる電流の精細設定値の基本値は0.74mAで、LSB当たり22μAずつ増加します。これらの設定の最終値は式3と式4を使用して計算できます。電流のスケール係数の選択肢は10%か100%の2つのみで、ILEDx_SCALEビットの値で決まります。電流スケールの値は、式5を使用して計算できます。LEDコントロール・レジスタの詳細については、ADPD1080データシートを参照してください。

$$LEDx_COARSE = 50.3 + 19.8 \times ILEDx_COARSE \quad (3)$$

$$LEDx_FINE = 0.74 + 0.022 \times ILEDx_FINE \quad (4)$$

$$LEDx_Current_Scale = 0.1 + 0.9 \times ILEDx_SCALE \quad (5)$$

ここで、
ILEDx_COARSEはLEDコントロール・レジスタ・ビットの10進数値、
ILEDx_FINEはLEDコントロール・レジスタ・ビットの10進数値、
ILEDx_SCALEはLEDコントロール・レジスタ・ビットの2進数値です。

LEDの損傷を防ぐため、ピーク電流の設定値は赤外線LEDの実際の順電流定格およびパルス処理能力を超えないように設定する必要があります。

サンプリング期間中、LEDがパルス駆動され、トランスインピーダンス・アンプ段でフォトダイオード電流を電圧に変換します。出力電圧は、タイム・スロットとして設定された時間の間、積分されます。SLOTA_AFE_WIDTHレジスタでタイム・スロットA、SLOTB_AFE_WIDTHレジスタでタイム・スロットBの積分時間を設定し、1ビットは積分時間1μsに対応します。

LEDがオフになると、逆の極性で同じ時間の間、積分されます。その後、積分器の出力はADCでデジタル化されます。この同期サンプリング・シーケンスによって周辺光が除去されるため、測定値はLEDからの反射光のみで決まります。

ADPD1080の測定パスは詳細な設定が可能で、トランスインピーダンス・ゲイン、積分時間のオフセット、平均化、その他のパラメータをエンド・アプリケーションに合わせて調整できます。詳細については、データシートを参照してください。

ジェスチャ認識

ADPD1080が測定したフォトダイオードのデータを使用してジェスチャ認識アルゴリズムで処理することにより、手の基本的な動きを識別できるようになります。ADPD2140データシートにジェスチャ認識のシンプルかつ効果的な方法が記載されており、これをCN0569に適用することができます。

1. ADPD1080データシートに記載された手順に従ってADPD1080の32kHzクロックと32MHzクロックを補正します。
2. MODEレジスタを通常動作に設定します。
3. 先入れ先出し（FIFO）と割込みを使ってADPD1080のレジスタから光電流データを読み出します。
4. それぞれのチャンネルからADPD1080のADCオフセットを差し引きます。チャンネル1〜4に対して、SLOTA_CHx_OFFSETレジスタにタイム・スロットAの、SLOTB_CHx_OFFSETレジスタにタイム・スロットBのADCオフセットが格納されています。

オフセットのデフォルト値はすべて0x2000です。これらのオフセットを変更するには、各チャンネルの16ビット出力をADCコードで測定して、それをADCオフセット・レジスタSLOTx_CHx_OFFSET内の既存16ビット数値（公称値は0x2000）に追加します。次に、この結果をADCオフセット・レジスタに書き込みます。オフセットが正しく差し引かれると、センサーの画角内に対象物がない場合の強度の読み出し値Lはゼロ・コードに近い値になります。

5. 式6を使用して光電流データから光の強度を計算します。

$$L = X_L + X_R + Y_T + Y_B \quad (6)$$

6. 光の強度をモニタリングします。強度値がプリセットした閾値を超えることによってジェスチャの開始を検出します。閾値はデフォルトで1000コードに設定されていますが、アプリケーションに応じて変更できます。図4に、センサーから12.7cmおよび30.5cm離れた位置に手をかざしたときの静的測定の結果（代表値）を示します。

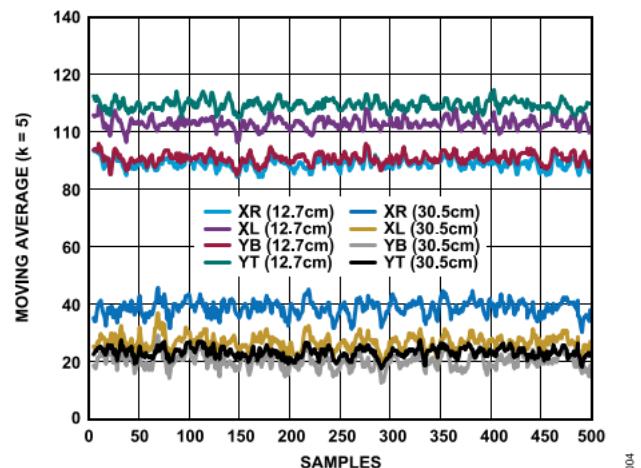


図4. ADPD1080チャンネル・データの例（移動平均、k=5）

7. ジェスチャの開始時には、次式を使用してジェスチャ・オブジェクトの角度位置を計算します。

$$x = \frac{x_L - x_R}{x_L + x_R} \quad (7)$$

$$y = \frac{y_T - y_B}{y_T + y_B} \quad (8)$$

8. 光強度のモニタリングを続けます。プリセットしたサンプル数（デフォルト値は5サンプル）をモニタリングした後、ジェスチャが終了したかどうかチェックを開始します。ジェスチャの終了は、強度値がプリセットした閾値を下回ることによって検出します。
9. ジェスチャの終了時には、上記の式を使用してジェスチャ・オブジェクトの新しい角度位置を計算します。
10. 開始時と終了時の角度位置の間の距離と傾きを次式を使用して計算します。

$$m = \frac{y_{START} - y_{END}}{x_{START} - x_{END} + 1 \times 10^{-6}} \quad (9)$$

$$d = \sqrt{(x_{START} - x_{END})^2 + (y_{START} - y_{END})^2} \quad (10)$$

11. ジェスチャの開始時および終了時の角度位置、距離、およびこの2点間の傾きを基にジェスチャの種類を決定します。ジェスチャは以下の基準を使用して判別できます。

- ▶ dがプリセットした閾値より小さい、または|m|=1の場合、ジェスチャは「クリック」。
- ▶ |m| > 1 および y_{START} > y_{END} の場合、ジェスチャは「上にスワイプ」。
- ▶ |m| > 1 および y_{START} ≤ y_{END} の場合、ジェスチャは「下にスワイプ」。
- ▶ |m| < 1 および x_{START} > x_{END} の場合、ジェスチャは「左にスワイプ」。
- ▶ |m| < 1 および x_{START} ≤ x_{END} の場合、ジェスチャは「右にスワイプ」。

「上にスワイプ」と「下にスワイプ」のジェスチャ動作を行ったときの強度の計算結果（式6）を図5に、角度の計算結果（式7および式8）を図6に示します。これらのデータ・セットでは、ジェスチャ・オブジェクトはADPD2140とLEDから5cm程度上の位置にあります。図5の強度測定値によってジェスチャの開始と終了を決定し、図6の角度位置によってどのジェスチャが行われたかを決定します。「スワイプの方向」は任意であり、アプリケーションそれぞれでのデバイスの向きに基づいて決定します。

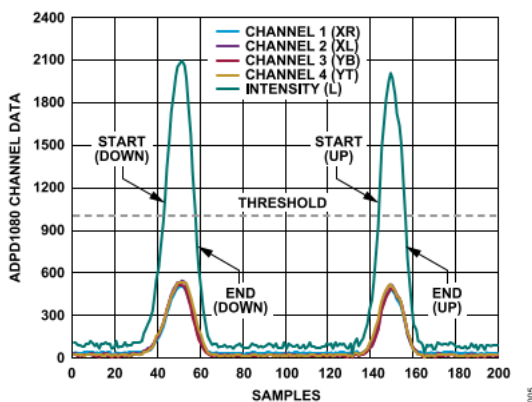


図5. チャンネル・データと強度の計算値

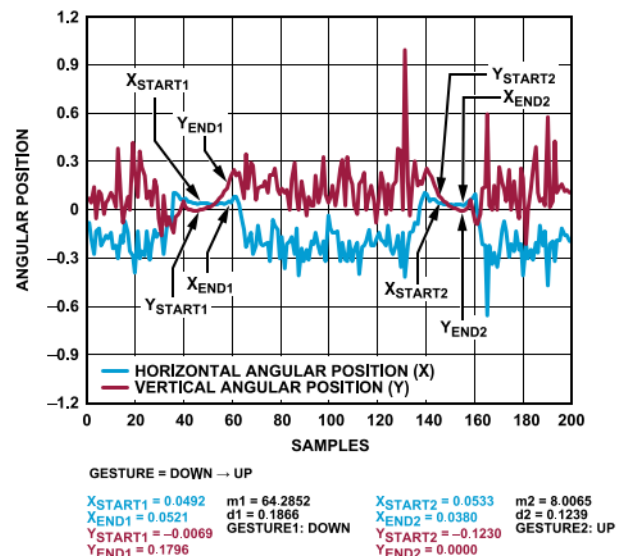


図6. 角度位置の計算値

電源レギュレーションおよびレベル変換

CN0569は3.3V Pmod プラットフォームのボードと互換性がありますが、ADPD1080に1.8V電源が必要となります。

LT1761は低ノイズ、低ドロップアウトのマイクロパワー・レギュレータで、1.8V~20Vの幅広い入力電圧範囲を持ち、最大100mAの出力電流を提供します。このデバイスで出力電圧が1.8Vに固定されたタイプには、入力用、出力用、およびノイズ低減用のコンデンサが必要です。

ADPD1080は1.8Vロジックをデジタル・ラインで使用するため、このリファレンス設計にはレベル変換機能が搭載されており、3.3Vロジックで動作するコントローラ・ボードと互換性を確保しています。ADPD1080のI2Cバスには、1.8Vへのレベル変換にも対応するホットスワップ可能な2線双方向バス・バッファLTC4313-3を介してデータ・ラインとクロック・ラインを接続します。図7にADPD1080のI2Cバスのデータ・ラインおよびクロック・ラインをLTC4313-3に接続するセットアップを示します。

同様に、ADPD1080のGPIO0には、シングル・チャンネルのレベル変換器ADG3301を介してデータ・ラインを接続します。

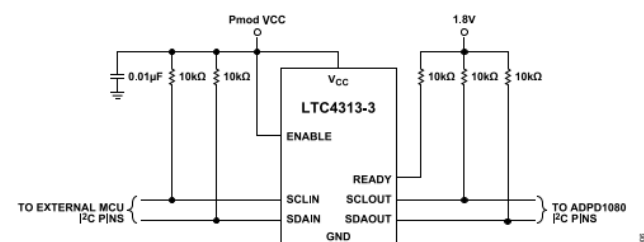


図7. LTC4313-3の接続図

バリエーション回路

より広い検出範囲が要求されるアプリケーションでは、VCSEL（垂直共振器面発光レーザー）を使用することもできます。その場合、ADPD1080 の LED ドライバをディスエーブルし、代わりに GPIO ピンで VCSEL のドライバをトリガできるように構成します。

内蔵の LED は 1 つの LEDX 出力によって駆動されており、この出力は最大 370mA のパルス電流を供給します。最大 3 つの LEDX 出力を並列に接続し、高強度の外部 LED に最大 1.11A の LED 駆動電流を供給することもできます。

回路の評価とテスト

このセクションでは、ADICUP3029 開発プラットフォームを使用して CN0569 回路評価用ボードを評価するためのセットアップと手順について説明します。

EVAL-CN0569-PMDZ の詳細については、CN0569 ユーザ・ガイドを参照してください。

必要な装置

以下の装置を使用します。

- ▶ EVAL-CN0569-PMDZ 回路評価用ボード
- ▶ EVAL-ADICUP3029 開発プラットフォーム
- ▶ ホスト PC（Windows、Linux、または Mac）
- ▶ Python（3.6 以上）
- ▶ CN0569 Theremin の Python スクリプト
- ▶ Micro USB ケーブル

セットアップとテスト

上述したアルゴリズムに基づいて基本的なジェスチャ検出のデモを実行するには、以下の手順に従ってください。

1. I²C Pmod ポートを使用して、EVAL-CN0569-PMDZ 回路評価用ボードを EVAL-ADICUP3029 開発プラットフォームに接続します。
2. Micro USB ケーブルを使用して、EVAL-ADICUP3029 開発プラットフォームをコンピュータに接続します。システムのテスト・セットアップについては、[図 8](#) を参照してください。
3. コンピュータに接続した後、構築済みの HEX ファイルを DAPLINK ドライブにドラッグして ADICUP3029 にアップロードします。最新の HEX ファイルについては、ユーザ・ガイドを参照してください。
4. EVAL-ADICUP3029 開発プラットフォームの 3029_RESET ボタン（S1）を押します。
5. コンピュータで CN0569 Theremin の Python スクリプトを実行します。
6. CN0569 リファレンス設計ボード上に手をかざしてジェスチャ動作を行い、コンピュータ端末でジェスチャの測定結果を確認します。

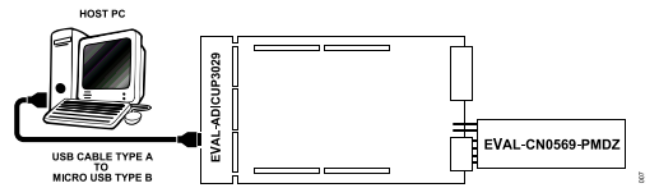


図 8. EVAL-CN0569-PMDZ システムのテスト・セットアップ

更に詳しい資料

ビデオ、ロボティクス向けの赤外線光学角度センサー、アナログ・デバイセズ

ビデオ、Gesture-controlled Wireless Electronic Shelf Label、アナログ・デバイセズ

技術記事、高精度で低コストの存在検知システムが、空間管理の未来を変える、アナログ・デバイセズ

データシートと評価用ボード

[CN0569 回路評価用ボード](#)

[ADICUP3029 開発プラットフォーム](#)

[ADPD2140 データシート](#)

[ADPD2140 評価用ボード](#)

[ADPD1080 データシート](#)

[ADPD1080 評価用ボード](#)

[ADG3301 データシート](#)

[ADG3301 評価用ボード](#)

[LT1761 データシート](#)

[LT1761 評価用ボード](#)

[LTC4313 データシート](#)

改訂履歴

05/2022—Revision 0: Initial Version



ESD に関する注意

ESD（静電放電）の影響を受けやすいデバイスです。電荷を帯びたデバイスや回路ボードは、検知されないまま放電することがあります。本製品は当社独自の特許技術である ESD 保護回路を内蔵してはいますが、デバイスが高エネルギーの静電放電を被った場合、損傷を生じる可能性があります。したがって、性能劣化や機能低下を防止するため、ESD に対する適切な予防措置を講じることをお勧めします。

「Circuits from the Lab／実用回路集」はアナログ・デバイセズ社製品専用に作られており、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・デバイセズ社はいつでも予告なく「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。

©2022-2022 Analog Devices, Inc. All rights reserved. 商標および登録商標は各社の所有に属します。