

Application Note

宇宙 ADC 回路クックブック



Taiwo Arojojoye

概要

宇宙分野の各種電子システムでは、多様なセンシング アプリケーション全般において精度、信頼性、耐放射線性が求められます。電源レールの状態監視からモーターの位置フィードバックに至るまで、適切に設計されたアナログ シグナル チェーンは、信頼できる衛星や宇宙船のあらゆるサブシステムの基盤として機能します。以下に、宇宙アプリケーションで発生する最も一般的な測定タスクを網羅する 6 種類の異なるシグナル チェーン回路を示します。各タスクは、放射線強化デバイスまたは放射線耐性を強化したテキサス インストルメンツのデバイスを土台として構築されています。

目次

1 概要.....	2
2 ADS1278QML-SP を使用したマルチチャンネル温度監視.....	2
3 ADC128S102QML-SP を使用した高速ハウスキーピング.....	3
4 ADS1282-SP との高精度ブリッジ センサ インターフェイス.....	4
5 ADC168M102R-SEP を使用したフォトダイオード信号測定.....	5
6 ADS1282-SP を使用した高精度 RTD 測定.....	6
7 ADC168M102R-SEP を使用したモーター位置フィードバック測定.....	7
8 まとめ.....	8
9 参考資料.....	9

図の一覧

図 2-1. ADS1278QML-SP を使用した温度検出設計.....	2
図 3-1. ADC128S102QML-SP を使用した遠隔測定.....	3
図 4-1. ADS1282-SP を使用したブリッジ測定.....	4
図 5-1. ADC168M102R-SEP を使用したレーザー ポジショニング.....	5
図 6-1. ADS1282-SP を使用した RTD 測定.....	6
図 7-1. ADC168M102R-SEP を使用したモーター位置フィードバック.....	7

1 概要

人工衛星には、さまざまな測定を行うために広範なシグナル チェーンを必要とする多数のシステムがあります。人工衛星が過熱しないようにするには、高精度の温度監視が重要ですが、機械部品の熱膨張により光学性能が低下する可能性があるため、光学画像処理ペイロードではこれが特に重要となります。電圧、電流、温度の測定機能を通じて、プラットフォーム、バス、ペイロードの状態を監視するには、汎用の遠隔測定 (テレメトリ) が必要です。ホイートストンブリッジは、ロボットアームの歪みゲージや、レーザー通信端末 (LCT) のミラー位置フィードバックに使用できます。フォトダイオード測定は、LCT、干渉計、および電源ビームのレーザー ポジショニングに必要です。LCT、姿勢と軌道の制御の各システム、ロボットで高精度の動作を実現するには、リゾルバまたはエンコーダからの位置フィードバック測定が必須です。

2 ADS1278QML-SP を使用したマルチチャンネル温度監視

温度監視は、宇宙船にとって非常に基本的なハウスキーピング (維持管理) タスクの 1 つです。この回路は、高精度サーミスタまたは熱電対ベースのセンサを使用して、8 チャンネル、同時サンプリング、24 ビット デルタシグマ ADC である ADS1278QML-SP との接続を確立したマルチチャンネル温度検出フロント エンドを実装します。LMP7704-SP クラウド オペアンプをセンサと ADC の間の入力バッファ段として使用し、ソース インピーダンスによって変換精度が低下しないことを確認します。8 個のチャンネルすべてを同時サンプリングすることで、モジュールまたはサブシステムの温度勾配を同じ時点でキャプチャできます。

このアプリケーションでは、LMP7704-SP がユニティ ゲイン バッファとして最適な選択肢です。入力バイアス電流が非常に小さいため、センサのソース抵抗を流れる電流に起因する測定誤差を排除できます。高インピーダンスのサーミスタでセンシングする場合、これは特に重要です。LMP7704-SP にはレール ツー レール入出力 (RRIO) 特性があり、入力信号が両方の電源レールに近づけることができるため、低レベル温度信号のダイナミックレンジを最大限に広げることができます。

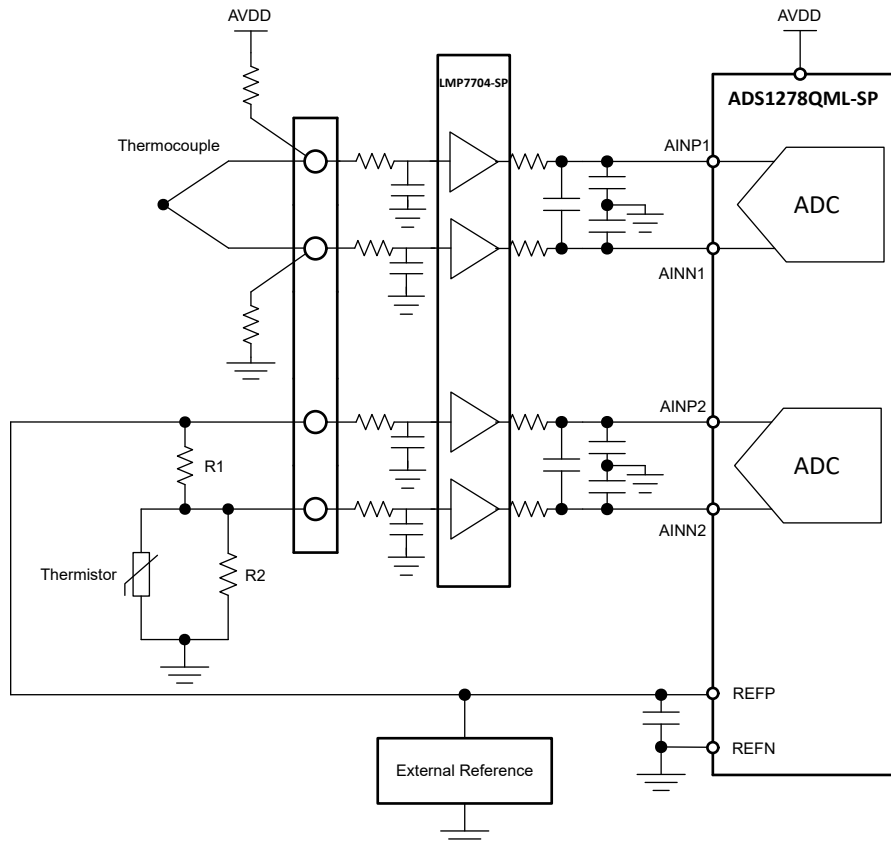


図 2-1. ADS1278QML-SP を使用した温度検出設計

3 ADC128S102QML-SP を使用した高速ハウスキーピング

衛星ハウスキーピング回路は、オンボード電源システムの状態を継続的に監視し、電圧、電流、温度を集中データ処理システムに報告します。この設計は、ADC128S102QML-SP と LMP7704-SP を使用したマルチパラメータテレメトリフロントエンドを実装しています。INA901-SP は、ハイサイドの電流および電圧測定のアナログフロントエンドとして機能します。温度測定は、サーミスタまたは LMP7704-SP でバッファされたダイオードベースセンサを使用して、追加のチャンネルにより行われます。

ADC128S102QML-SP は、QML Class V、耐放射線特性の 12 ビット SAR ADC で、8 個の多重化入力チャンネルと 1MSPS の最大サンプルレートを備えています。100 krad (Si) TID 定格と 120MeV·cm²/mg に対する SEL 耐性により、宇宙ハウスキーピングアプリケーション向けに最も耐放射線特性の高いコンバータの 1 つになっています。

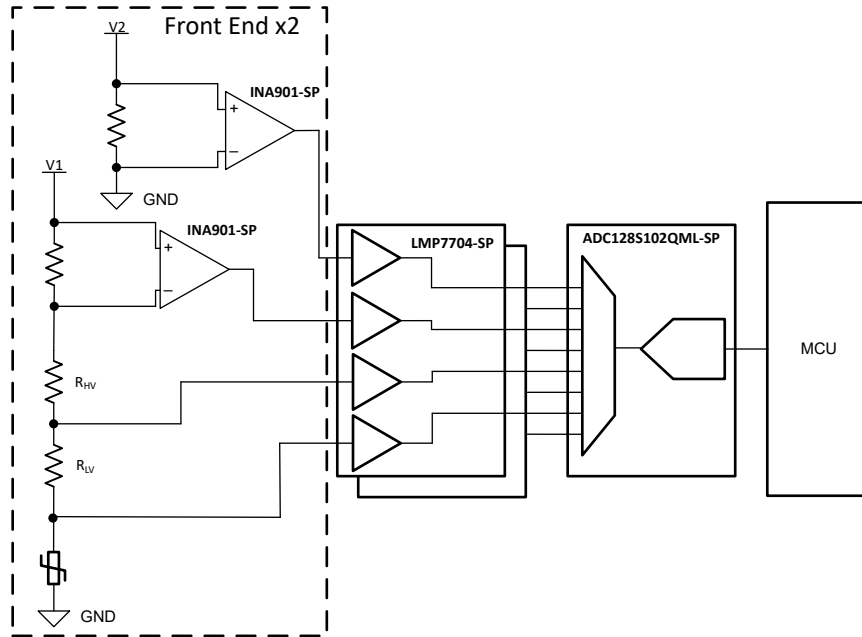


図 3-1. ADC128S102QML-SP を使用した遠隔測定

4 ADS1282-SP との高精度ブリッジ センサ インターフェイス

ホイートストンブリッジ センサは、ひずみ、圧力、力の測定のために宇宙アプリケーションで広く使用されています。ブリッジ出力は、印加された刺激と励起電圧に比例する大きさの差動低レベル電圧信号です。この設計では、高分解能の 32 ビット デルタシグマ ADC である ADS1282-SP を使用して、LMP7704-SP による増幅とコンディショニングの後にブリッジ出力をデジタル化します。

ブリッジ センサ出力は通常ミリボルト範囲であるため、測定値の劣化を防止するため高精度アンプが必要です。LMP7704-SP は、最大オフセット電圧が $\pm 60\mu\text{V}$ で、低 $1/f$ ノイズ特性を備えているため、これらの小さな差動信号を増幅するためのオプションとして使用できます。ADS1282-SP の内蔵プログラマブル ゲイン アンプ (PGA) はゲインを追加し、信号をフルコード分解能でデジタル化できます。ADS1282-SP は PGA を内蔵し、低い出力データレートで最大 31 ビットの有効分解能を実現します。内蔵の 2 チャンネル マルチプレクサにより、ブリッジの両方のアームで差動測定が可能です。

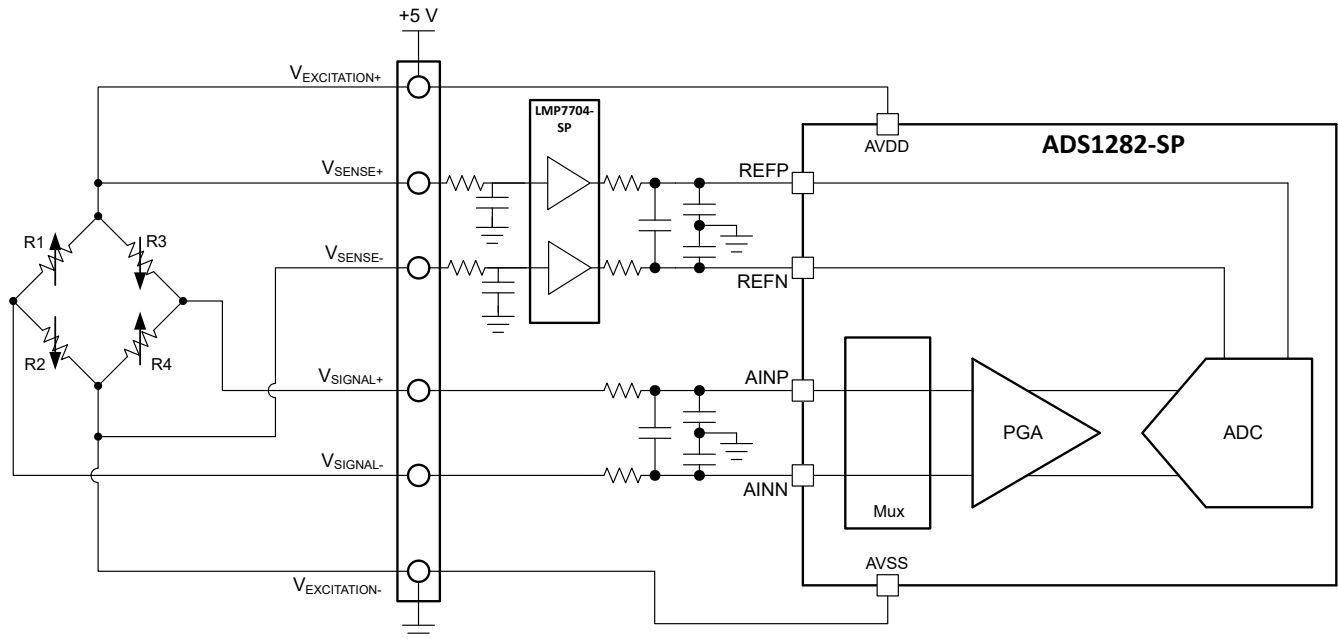


図 4-1. ADS1282-SP を使用したブリッジ測定

5 ADC168M102R-SEP を使用したフォトダイオード信号測定

光センサとフォトダイオードは、OISL (光衛星間リンク) 通信、パワー ビーム、レーザー測距などの宇宙アプリケーションで使用されています。フォトダイオードは入射光の強度に比例した電流を生成します。この電流を電圧に変換して増幅してから、デジタル化する必要があります。この設計は、トランスインピーダンス アンプ (TIA) および ADC ドライバとして [OPA4H014-SEP](#) を実装しており、その後段に高速マルチチャンネル デジタル化用の [ADC168M102R-SEP](#) を配置しています。

OPA4H014-SEP は、入力バイアス電流が非常に小さい耐放射線性の JFET 入力クワッド オペアンプです。低い入力バイアス電流は、オペアンプの入力バイアス電流によってフォトダイオードの暗電流に直接追加され、測定オフセットが発生する TIA アプリケーションに不可欠です。ADC168M102R-SEP は、耐放射線性、16 ビット、8 チャンネル、1MSPS 同時サンプリングの SAR ADC です。デュアル同時サンプリング アーキテクチャにより、複数のフォトダイオード チャンネルを同時にキャプチャできます。これは、チャンネル間で相対的な信号レベルを測定するレーザー位置センシング アプリケーションでは重要です。

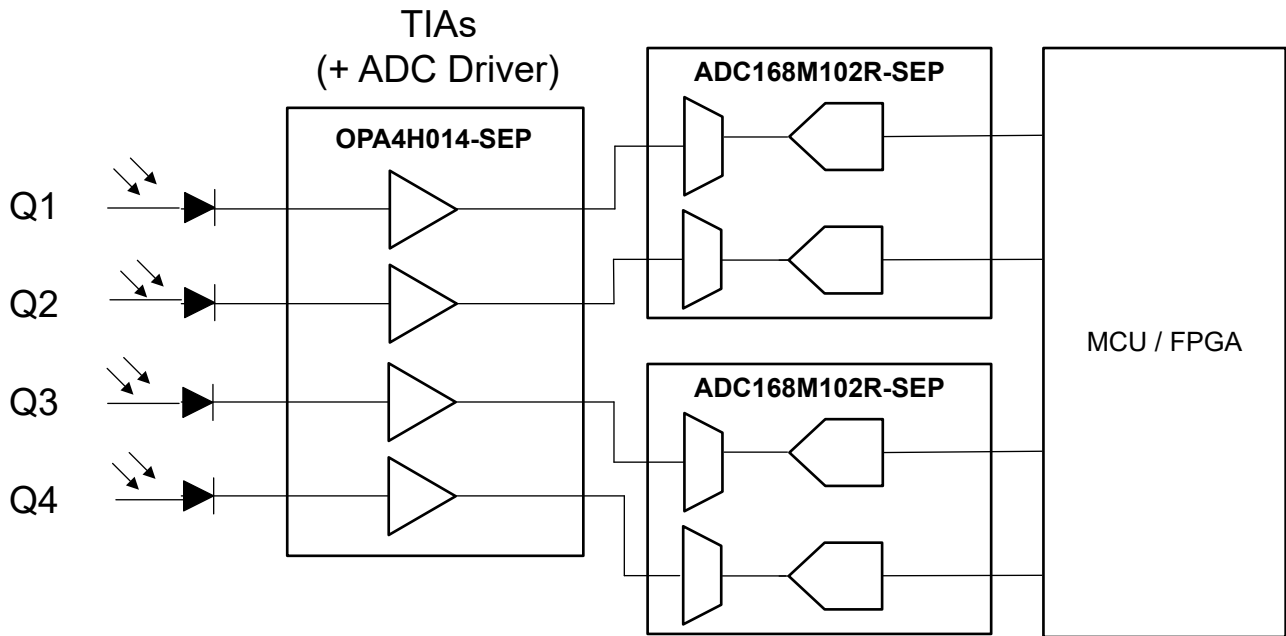


図 5-1. ADC168M102R-SEP を使用したレーザー ポジショニング

6 ADS1282-SP を使用した高精度 RTD 測定

PT100 や PT1000 などの抵抗温度検出器 (RTD) は、熱電対に比べて優れた直線性と長期安定性を備えており、宇宙ペイロードでの精密な温度計測に適したセンサです。この設計は ADS1282-SP の高分解能内部 PGA を使用して、高精度の励起電流を印加したときに RTD の両端に発生する小さな差動電圧を直接デジタル化し、1m ケルビン未満の温度精度を実現できます。LMP7704-SP は定電流源を生成して RTD にバイアスします。追加の LMP7704-SP アンプを使用して、リファレンス入力をバッファできます。

RTD 抵抗の変化は小さいため、シグナル チェーン全体のオフセット誤差とドリフト誤差を最小限に抑えることが非常に重要です。LMP7704-SP はオフセットが $\pm 60\mu\text{V}$ かつ低ドリフトで、32 ビット分解能や ADS1282-SP の内部キャリブレーションと組み合わせることで、 1°C 以下の温度変化を解決するために必要な性能を提供します。2 個以上のチャンネルを測定するには、TMUX182-SEP などの外部マルチプレクサが必要です。

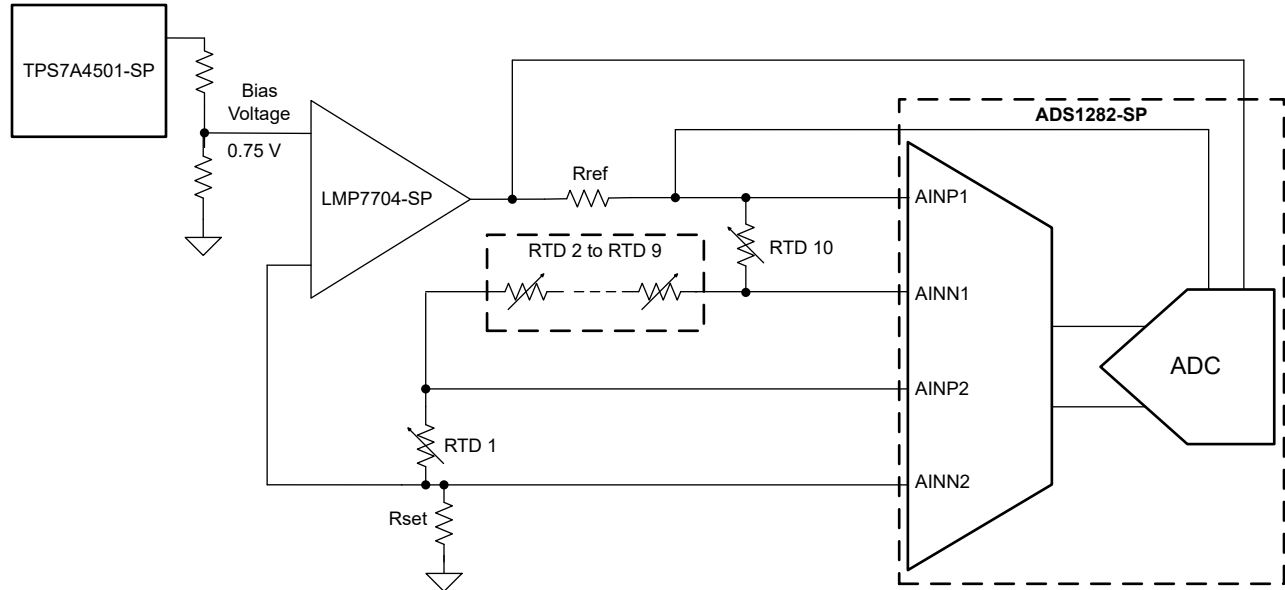


図 6-1. ADS1282-SP を使用した RTD 測定

7 ADC168M102R-SEP を使用したモーター位置フィードバック測定

宇宙船の姿勢制御システム、ソーラー アレイドライブ アセンブリ、アンテナ ポインティング メカニズム、レーザー通信端子には、高精度のモーター位置制御が不可欠です。位置フィードバックは一般的に、リゾルバまたは正弦 / 余弦エンコーダから取得し、これらのエンコーダは 90° の位相オフセットで 2 個の正弦波アナログ信号を生成します。この設計は、ADC168M102R-SEP の同時サンプリング機能を使用して、正弦出力信号と余弦出力信号を同時にデジタル化するため、逆正接関数を使用して角度を高精度で計算できます。OPA4H014-SEP は、ADC 入力向けのシグナル コンディショニングと駆動機能を備えています。

このアプリケーションでは、同時サンプリングが非常に重要です。2 個のチャンネルが異なる時間でサンプリングされる場合、それらの間の位相誤差によって、計算された位置に角度誤差が生じます。ADC168M102R-SEP のデュアル ADC アーキテクチャは、同じ変換サイクルで両方の信号チャンネルをキャプチャするため、動的誤差の原因は排除されます。

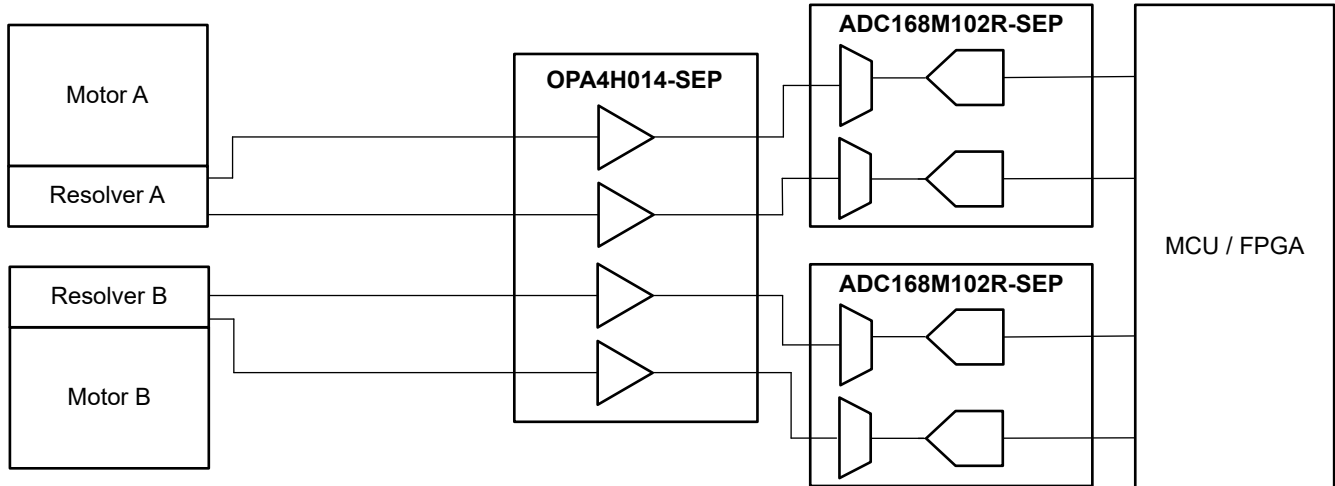


図 7-1. ADC168M102R-SEP を使用したモーター位置フィードバック

8 まとめ

テキサス インストルメンツの高精度 ADC ファミリーを使用した 6 個の宇宙グレード アナログ シグナル チェーンは、基本的なハウスキーピングから精密な温度制御に至るまで、宇宙でのあらゆるアプリケーションに対応します。ADC128S102 ファミリーは豊富な飛行実績を有しており、宇宙バスやペイロードにおける基本的なテレメトリ用途に最適です。

ADC168M102R-SEP は、レーザー ポジショニングやモーター制御など、高い精度と高速なサンプリング レートを必要とする制御ループ アプリケーションに最適です。ADS1278QML-SP と ADS1282-SP は、振動監視や温度制御など、最高レベルの精度を必要とする宇宙システムに最適です。

デバイス サマリー

表 8-1 に、この 6 種類の設計で使用されているすべてのデバイスを示します。

表 8-1. デバイス サマリー

デバイス	説明	TID (krad (Si))	SEL (MeV·cm ² /mg)
ADC128S102QML-SP	12 ビット、8 チャンネル、1MSPS、SAR ADC	100	120
ADC128S102-SEP	12 ビット、8 チャンネル、1MSPS、SAR ADC	30	43
ADC168M102R-SEP	16 ビット、8 チャンネル、デュアル同時サンプリング、1MSPS、SAR ADC	30	43
ADS1278QML-SP	24 ビット、オクタル同時サンプリング、128kSPS、デルタシグマ ADC	50	51
ADS1282-SP	31 ビット、2 チャンネル、4kSPS、デルタシグマ ADC (PGA 搭載)	50	60
LMP7704-SP	高精度低入力バイアス広電源電圧範囲 アンプ (RRIO 搭載)	100	85
OPA4H014-SEP	11MHz、低ノイズ、高精度レール ツーレール出力 JFET アンプ	30	43
OPA4H199-SEP	クワッド、40V、4.5MHz、レール ツーレール入出力オペアンプ	30	43
OPA4H199-SP	クワッド、40V、4.5MHz、レール ツーレール入出力オペアンプ	100	65
INA901-SP	-15V ~ 65V、分割段、電流センス アンプ (インラインフィルタ機能搭載)	50	75
TMUX182-SEP	8:1、1 チャンネル マルチプレクサ (1.8V ロジック搭載)	30	43

9 参考資料

- テキサス インスツルメンツ、『[TI のレーザー通信端末向け宇宙グレード高精度 ADC](#)』、アプリケーション概要。
- テキサス インスツルメンツ、『[耐放射線特性、30krad、ADC への第 2 段バッファを搭載した電流検出アンプの比較](#)』、アプリケーション概要。
- テキサス インスツルメンツ、『[耐放射線特性、30krad、電圧検出 ADC 回路](#)』、アプリケーション概要。
- テキサス インスツルメンツ、『[低軌道衛星における遠隔測定回路のコスト、サイズ、重量の削減](#)』、アプリケーション概要。
- テキサス インスツルメンツ、『[ツェナーシフトされたフローティング グランドおよび絶縁デジタル インターフェイスを使用した高精度高電圧電流検出](#)』、アプリケーション概要。
- テキサス インスツルメンツ、『[放射線耐性の強化型宇宙用バッテリー管理システム \(BMS\) のリファレンス デザイン](#)』、設計ガイド。
- テキサス インスツルメンツ、『[直列抵抗温度検出器 \(RTD\) センシング リファレンス デザイン](#)』、設計ガイド。
- テキサス インスツルメンツ、『[RTD 測定に関する基本的なガイド](#)』、アプリケーション ノート。
- テキサス インスツルメンツ、『[ブリッジ測定に関する基本的なガイド](#)』、アプリケーション ノート。
- テキサス インスツルメンツ、『[熱電対測定に関する基本的なガイド](#)』、アプリケーション ノート。

重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](#) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日 : 2025 年 10 月