

Application Note

電気メーターのリファレンス デザインの選択ガイド



Milen Stefanov

概要

電気メーター (E メーター) に対する世界的な需要は急速に拡大しており、世界中で、電気メーターの種類はスマートメーターが主流となっています。スマートであるということは、これらのメーターが有線またはワイヤレス リンクを経由して通信できることを意味します。リンクは一方向 (請求データのみを報告) または双方向通信のいずれかにできます。スマートメーターの主な利点は、現場でのファームウェアのアップグレードが可能なこと、再生可能電源を設置した住宅のユーザーが負荷を動的に管理できることです。電気メーターに適したその他の大量生産アプリケーションには、保護リレー、サーキットブレーカ、AC/DC 充電ステーション、消費電力の監視が必要な EU 市場向けの屋内電化製品などがあります。

テキサス インスツルメンツは、このようなあらゆる大量生産アプリケーションに対応できるように、リファレンス デザインと評価基板 (EVM) の包括的なポートフォリオを提供しています。このドキュメントでは、エネルギー計測サブシステムが統合された製品を開発する際に、適切なリファレンス デザインを選定するための主な選択基準について簡単に説明します。

製品の開発期間を短縮するために、TI は E メーター向けに複数のリファレンス デザインをリリースしています。これらのデザインでは、専用の高精度アナログ フロント エンド (AFE) とコストが最適化された既製の低消費電力マイコン (MCU) を採用した 2 チップ アプローチを採用しています。ワイヤレス通信サブシステムは、次に示すように、Sub-1GHz 用の TI のマイコン CC13xx と、2.4GHz プロトコル用の CC26xx/27xx/2340 の各デバイスを使用して実装されています。

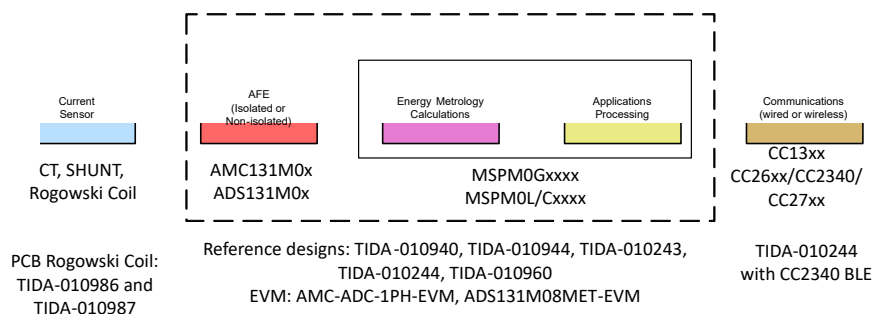


図 1-1. エネルギー メーターのための TI のリファレンス デザインと評価基板のブロック図

図 1-1 に示すようなシステム パーティション分割によって、測定精度、システム コスト、サポートされる機能セットなどの条件に応じて AFE および MCU の選択の両方をエンド ユーザーが最適化することができます。測定するライン (または相) の数、使用される電流センサのタイプ (CT、シャント、Rogowski コイル)、必須のセキュリティ機能および暗号化機能に応じて、複数のデバイスの組み合わせが可能です。

目次

1 TI のリファレンス デザインおよび評価基板とエネルギー計測の概要	3
1.1 CT および Rogowski 用のリファレンス デザイン	3
1.2 SHUNT のリファレンス デザイン	4
1.3 リファレンス デザインと評価基板の概要	4
1.4 システム設計コンポーネント	5
2 E メーター用のエネルギー測定ライブラリ ソフトウェア	6
2.1 ユーザー構成と HW リソース	6
2.2 エネルギー計測の SW アーキテクチャ	7
2.3 エネルギー計測用の TI リファレンスデザインまたは評価基板を使用して開発を開始する	7
2.4 各リファレンス デザインまたは評価基板のサンプル コード	8
3 まとめ	9

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 TI のリファレンス デザインおよび評価基板とエネルギー計測の概要

1.1 CT および Rogowski 用のリファレンス デザイン

CT および Rogowski 電流センサでは、以下のリファレンス デザインを利用できます。

- [ADS131M08MET-EVM](#): ADS131M08 計測評価基板
- [TIDA-010243](#): スタンドアロン ADC 使用、3 相、電流トランス ベース e メーターのリファレンス デザイン
- [TIDA-010986](#): シグナル コンディショニングのリファレンス デザイン
- [TIDA-010987](#): Rogowski コイル電流センサのリファレンス デザイン

[TIDA-010986](#) には、Rogowski コイルの di/dt 出力信号の事前増幅、第 2 オペアンプ段を使用した信号の集積という、2 つの主な機能があります。ユーザーがエネルギー計測ライブラリ内の代替ソフトウェアの集積段を優先する場合は、ハードウェアごとにこの集積段をバイパスできます。

開発プロセスをさらに簡単にし、市場投入までの期間を短縮するために、TI では、6 種類の異なるサイズの PCB Rogowski コイルを開発しました。これらのコイルは、[TIDA-010987](#) Rogowski コイル電流センサのリファレンス デザインに、ブレイクアウト PCB のバリエーションとして提供されています。



図 1-1. TIDA-010987、ADS131M08MET-EVM、TIDA-010986 を使用した 3 相 E メーター Rogowski コイルの設計

ADS131M08MET-EVM は、ADS131M08 および MSPM0G1506SRHB を使用して、IEC-62053、EN 50470、ANSI C12 の各テスト方式に基づいて Class 0.1 の 3 相エネルギー測定を実現します。

[ADS131M08MET-EVM](#) (水平 PCB) および [TIDA-010986](#) (ツイストワイヤ付き垂直 PCB で PCB コイルに接続) を [TIDA-010987](#) の TI 独自の差動 Rogowski コイル PCB と組み合わせることによって、図 1-1 に示すような、Rogowski コイルを使用してコスト最適化が徹底された E メーターの設計を可能にします。

1.2 SHUNT のリファレンス デザイン

シャント電流センサをサポートするために、以下のリファレンス デザインが開発されています。

- [AMC-ADC-1PH-EVM](#): スタンドアロンの絶縁型マルチチャネル A/D コンバータを使用する単相エネルギー メーター
- [TIDA-010244](#): 3 相シャントベース エネルギー計測のリファレンス デザイン
- [TIDA-010944](#): 単相および分相シャント エネルギー計測のリファレンス デザイン
- [TIDA-010940](#): 単相、シャント e メーターのリファレンス デザイン
- [TIDA-010960](#): 絶縁型 ADC を使用する単相シャント電力メーターのリファレンス デザイン

[TIDA-010960](#) は、電力範囲が狭く、精度はやや低くなりますが、白物家電や電化製品に対応したり、サーバーの消費電力を測定したりするシステム設計コストを削減できます。

[AMC-ADC-1PH-EVM](#) は [TIDA-010960](#) の注文可能なバージョンであり、TI.com で入手できます。

1.3 リファレンス デザインと評価基板の概要

表 1-1 では、それぞれの測定精度、センサの種類、ライン数、アプリケーションに基づいて、エネルギー測定用の TI のすべてのリファレンス デザインと評価基板を分類しています。

表 1-1. TI のエネルギー メーターのリファレンス デザインの分類

位相数	センサの種類			アプリケーション
	SHUNT の精度	CT の精度	Rogowski の精度	
1 (+ はニュートラル監視オプション)	TIDA-010940 0.5% TIDA-010944 0.2% TIDA-010244 0.2% TIDA-010960 0.5% AMC-ADC-1PH-EVM 0.5%	ADS131M08MET-EVM 0.1% TIDA-010944 0.2% TIDA-010243 0.1%	ADS131M08MET-EVM + TIDA-010986 + TIDA-010987 0.1%	E メーター、電力計、サーキットブレーカ、保護リレー、家電製品 家電製品、サーバー電源、サーキットブレーカ、保護リレー、サーバー電源
2	TIDA-010944 0.2%	ADS131M08MET-EVM 0.1% TIDA-010243 0.1%	ADS131M08MET-EVM + TIDA-010986 + TIDA-010987 0.1%	E メーター、電力計、AC および DC 充電ステーション、サーキットブレーカ、保護リレー、サーバー電源
3 (+ はニュートラル監視オプション)	TIDA-010244 0.2% (BLE 統合)	TIDA-010243 0.1% ADS131M08MET-EVM 0.1%	ADS131M08MET-EVM + TIDA-010986 + TIDA-010987 0.1%	E メーター、電力計、サーキットブレーカ、保護リレー、AC および DC 充電ステーション 家電製品、サーバー電源

1.4 システム設計コンポーネント

1.4.1 マイコン

コストが最適化された低消費電力の **MSPM0+** MCU ファミリーは、メモリ サイズに応じた各種のオプションが用意されたスケラブルなポートフォリオを提供し、3 ラインに加えてニュートラル監視を使用した最大 **8ksps** のエネルギー計測計算に対する計算要件を満たすことができます。この MCU ファミリーの複数のデバイスには、**24MHz (MSPM0C)**、**32MHz (MSPM0L)**、**80MHz (MSPM0G)** のいずれかのクロック周波数とピン互換のバリエーションを備えた十分なリソースが用意されており、システムのコストと性能間のトレードを実現できます。

1.4.2 A/D コンバータ(ADC) またはアナログ フロント エンド(AFE)

信号アキュイジションの主要なデバイス ファミリーは絶縁型または非絶縁型 **AFE** デバイスで、各ラインまたは位相ごとに電圧と電流を収集します。

シャントベースの電流検出には、**AMC131M02** および **AMC131M03** 絶縁型 24 ビット、**32kSPS**、デルタシグマ A/D コンバータ (ADC) が、高精度、チャンネルアーキテクチャ、堅牢性を実現するために広く使用されています。**AMC131M02** は、

- 2 チャンネル、
- 24 ビット、
- 32kSPS、
- 同時サンプリング、

絶縁型デルタシグマ ADC であり、強化された絶縁を必要とするシステムでの電流および電圧の測定専用設計されています。**AMC131M03** は、同じ 24 ビット分解能、絶縁定格、サンプリング性能を持つ 3 チャンネルのバリエーションを提供することで、このデバイスファミリーを拡張します。

チャンネルを追加することによって、ライン電圧と 2 つのシャント電流または 3 つの電流を同時に測定できるため、多相システムまたはニュートラルライン監視用の専用チャンネルを必要とするシステムの柔軟性を高め、**Class 0.2** の精度を達成できます。

または、動作方法に従って絶縁を実現する CT コイルと Rogowski コイルの電流センサの場合は、非絶縁型の 24 ビット、**32kSPS**、**ADS131M08** (8 チャンネル)、**ADS131M06** (6 チャンネル) のデバイス オプションを使用して、**Class 0.1** の精度を達成すると同時に、複数の電流、電圧、またはそれらの組み合わせを測定するために必要な機能セットと性能を実現します。

非絶縁型の 24 ビット ADC バリエーション **ADS131M02** (2 チャンネル)、**ADS131M03** (3 チャンネル)、**ADS131M04** (4 チャンネル) は、サンプリング レートを **64kSPS** に増やししながら、非常に低い電力での改ざんの検出のための電流検出モードなど、他のすべての高度な機能を維持しています。

Rogowski コイルの信号増幅と信号統合のために、複数のオペアンプのテストと比較が実施されています。**INA828**、**INA333**、**INA823** では、精度の高い低ノイズのアンプでも、エネルギー計測アプリケーションで高い精度を実現することが検証されています。

市場投入までの期間を短縮するために、**ADS131M08MET-EVM** または **AMC-ADC-1PH-EVM** を使用することをお勧めします。どちらも **TI.com** で購入できますが、**セクション 1.2** に記載されているすべての TI リファレンス デザインは注文できません。

2 E メーター用のエネルギー測定ライブラリ ソフトウェア

これらの評価基板とリファレンス デザインはすべて、サポート対象の位相の数や電流センサの種類に応じて異なりますが、これらはいずれも同じエネルギー計測ライブラリを共有しており、最新の [MSPM0-SDK](#) ソフトウェア ツールに統合されています。

各リファレンス デザインまたは評価基板に対してカスタマイズされたファームウェアのサンプルが開発され、テストされています。その結果は、TI.com の関連する TI リファレンス デザイン ガイドまたは評価基板のユーザー ガイドに記載されています。

MSPM0+ MCU デバイス用の[エネルギー計測ソフトウェア ライブラリ](#)には、ラインごとの電圧と電流、電力計算、エネルギー蓄積に関するデータ サンプリングのための、完全なオープンソースのソフトウェアの実装が用意されています。

2.1 ユーザー構成と HW リソース

TI のエネルギー計測ライブラリは、主要な構成パラメータが指定された「`template.h`」ファイルを使用して、ユーザーからの入力を受け取ります。追加の構成オプションは、「`metrology_defines.h`」ファイルにあります。このファイルは、各 TI リファレンス デザインまたは TI の評価基板のサンプル コードに対応する `/modules/metrology` フォルダにあります。各種の CPU 周波数とデータ サンプリング レートに対する MCU 負荷の詳細な分析は次のとおりです。

表 2-1. エネルギー計測ライブラリによる MSPM0+ CPU の負荷 (SDK 2.08 以降)

位相あたりのサンプリング レート	CPU 使用率 (SDK 2.04 以降)			
	MSPM0L デバイス 32MHz		MSPM0G デバイス 80MHz	
	単相	多相 (010243)	単相	多相 (010243)
2ksps	11.81%	25.40%	4.73%	10.17%
4ksps	23.12%	49.33%	9.25%	19.73%
8ksps	45.73%	97.15%	18.29%	38.86%

さらに、エネルギー ライブラリをサポートするために、以下の複数のペリフェラル ハードウェア モジュールが必要です。

- 外部 XTAL を使用した HF クロッキング サブシステム (AFE デバイス用の MCU クロックおよびクロックを生成)
- DMA を介した SPI (スタンドアロン ADC と MSPM0+ MCU の間のデータ転送)
- DMA を介した UART (1 回限りのキャリブレーションおよび GUI による継続的な計測値の読み出しのための外部 PC GUI と MSPM0 MCU 間のデータ転送)
- GPIO (割り込み付き入力、または LED および AFE 制御ラインのための出力)
- RTC (内部 LF OSC または外部 XTAL いずれかからの 32.768kHz に基づくカレンダー モード)

必須のペリフェラル モジュールと [表 2-1](#) に示す CPU 負荷値を把握することで、システム設計者は、適切な MCU デバイスを選択し、MCU に実装する必要がある追加のアプリケーション要件を検討します。

小型の [MSPM0+](#) を専用のエネルギー計測デバイスとして使用することによって、計算された値をより多くの FLASH および RAM のリソースがある別のメインまたはホスト MCU に報告することができます。

多くの地域で一般的に使用されているコスト重視の単相 E メーターの場合は、MSPM0L2228 を搭載した [TIDA-010940](#) によって、すべてのブロックを提供し、LCD サポート、外部シリアル FLASH インターフェイス、絶縁型 RS-485 ポートなどの単一マイコン設計を実現できます。

2.2 エネルギー計測の SW アーキテクチャ

エネルギー測定ソフトウェアは、次の 3 つの層に分かれています。

1. MSPM0 DriverLib 層は、定義済みのすべてのペリフェラルで構成されており、TI の [SYSCONFIG](#) ツールを使用して設定されています。
2. TI のリファレンス デザイン専用フォルダである [TIDA-010244](#) には、割り込みハンドラおよび TIDA-010244.c と TIDA-010244.h のハードウェア関連機能が含まれています (TIDA-010244 を例として使用する場合)。
3. 4 つのサブモジュールがあるモジュール層：
 - ハードウェア抽象化層 (HAL) モジュール
 - アナログ フロント エンド (AFE) AMC131M03 モジュール ([TIDA-010244](#) 用)
 - 計測モジュール
 - 通信モジュール

HAL モジュールには、マイコンのピンとペリフェラルを操作し、構成するためのアプリケーション プログラミング インターフェイス (API) が用意されており、AFE モジュールでは、AMC131M0x または ADS131M0x デバイスの設定に関連するアプリケーション プログラミング インターフェイス (API)、レジスタ読み取り / 書き込みアクセスまたは AFE サンプリング データの読み出しのための SPI 通信が利用できます。

計測モジュールは、サンプリングされたデータを処理し、関連するすべてのエネルギー計測の数学計算を実行する API を備えています。

通信モジュールは、PC の GUI からコマンドを受信するために使用されます。この個別のツールは、次のパスの [MSPM0-SDK](#) に格納されています。C:\ti\mspm0_sdk_2_08_00_03\tools\metrology_gui。

2.3 エネルギー計測用の TI リファレンスデザインまたは評価基板を使用して開発を開始する

包括的なテストと検証の設定は以下のとおりです。

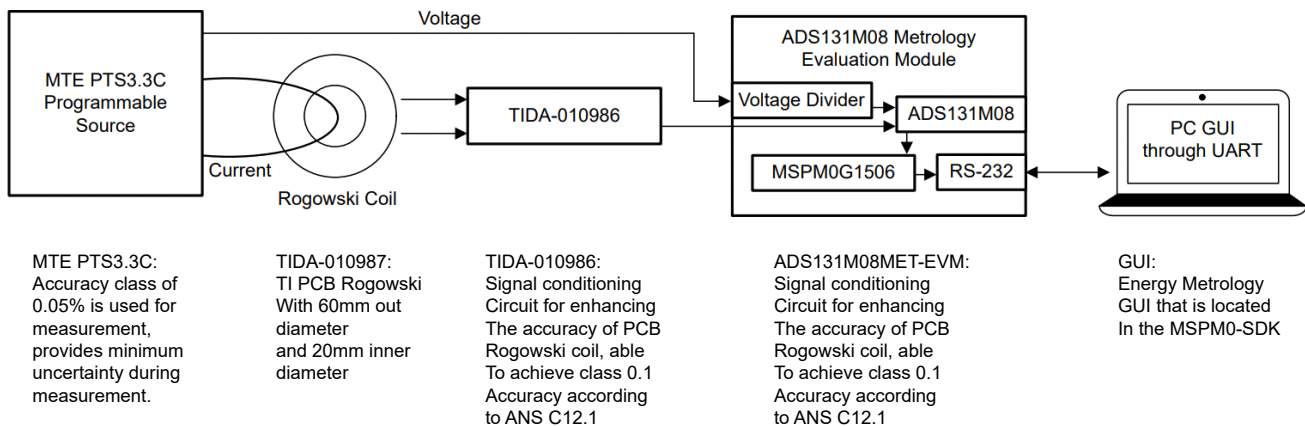


図 2-1. TIDA-010986 と TIDA-010987 を使用した ADS131M08MET-EVM に対する、外部 MTE と PC の GUI を使用したハードウェアおよびソフトウェアのセットアップ

SW ツールの詳細、リファレンス デザインまたは評価基板を MTE および PC の GUI に接続する方法の詳細については、該当する設計ガイドまたはユーザー ガイドドキュメントを参照してください。

3 つの設計ガイドには、以下のリンクからアクセスできます。

- [ADS131M08 計測評価モジュール](#)
- [TIDA-010986](#)
- [TIDA-010987](#)

2.4 各リファレンス デザインまたは評価基板のサンプル コード

広範な内容のファームウェア [ドキュメント](#) が [MSPM0-SDK](#) に用意されており、TI のエネルギー計測設計をお客様の製品に簡単かつ速やかに統合できます。各 TI リファレンス デザインにはエネルギー計測ライブラリのバージョンがあります。[図 2-2](#) には、同じ MSPM0G3507 MCU を使用した 4 つの設計のすべてを示します。

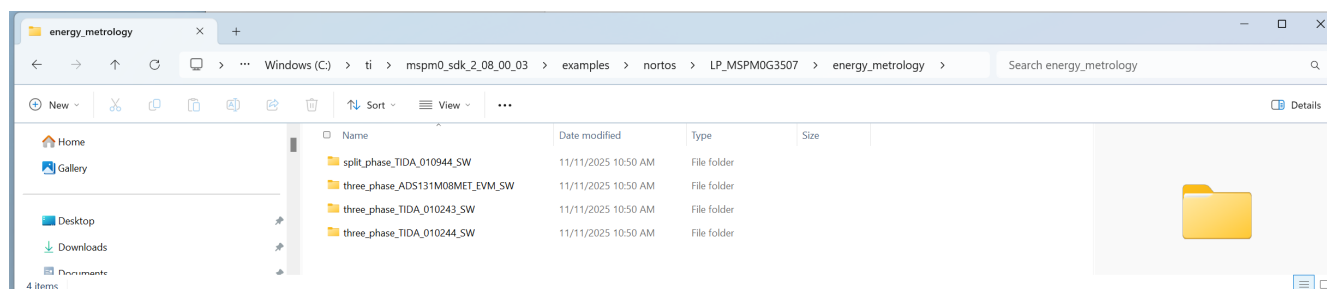


図 2-2. MSPM0G3507 を使用したエネルギー計測用の MSPM0+ SDK フォルダ (RTOS を使用しない)

リファレンス デザインごとの FLASH および RAM メモリに必要なメモリリソースはわずかに異なり、最大の構成は、36KB の FLASH と 12.5KB の RAM を備えた 3 相のリファレンス デザインである TIDA-010243 と TIDA-010244 です。これらの数値は、デフォルトのソフトウェア プロジェクト設定を使用する [CCS12.8.1](#) および MSPM0-SDK v2.08.00.03 を使用してコンパイルされたエネルギー計測ファームウェア ライブラリに適用されます。

3 まとめ

テキサス インスツルメンツは、住宅用の E メーター、AC および DC 充電ステーション、電気サブメーター、サーキットブレーカ、保護リレー、家電製品、およびサーバー電源を対象としたエネルギー測定システム設計の包括的なポートフォリオを提供しています。

3 種類の一般的な電流センサのすべてがサポートされています。シャント、CT および Rogowski コイル。単相、分相 (2 相)、および 3 相 (オプションでニュートラル監視を使用) に対応する複数のリファレンス デザインによって、Class 0.1、Class 0.2、Class 0.5 の精度を達成します。これは主に、使用する電流センサの精度によって制限されます。

TI では、各設計に対して ANSI C12.1 2024、IEC-62053、EN 50470 に従い電氣的性能に注目した 10 の該当する試験を実施しています。いくつかの EMI テストも実施済みであり、文書化済みです。これらのテストは以下のように ANSI C12.1 に従って実施されています。

- – テスト番号 3: 負荷性能
- テスト番号 4: 力率の変動の影響
- テスト番号 7: 電流回路の同等性
- テスト番号 14: シーケンス反転の影響

これらのテストでは、このドキュメントに記載されているすべての TI のリファレンス デザインと評価基板を対象に、TI デバイスと TI エネルギー測定ライブラリを使用して、E メーターのサブシステム設計のコンプライアンス、精度、信頼性を検証します。

各リファレンス デザインは、包括的なテスト済みのハードウェアとともにリリースされており、ソースコードの最適化されたエネルギー計測ソフトウェア サンプルと組み合わせることで、非常に短い市場投入期間で ANSI または MID 準拠の E メーターを開発するための優れた出発点となります。

主な差別化要因は、新しくリリースされた [TIDA-010987](#) の「Rogowski コイル電流センサのリファレンス デザイン」です。このデザインでは、性能が最適化された信号チェーンと独自の差動 PCB コイル設計を採用しており、従来の PCB コイル設計と比べて、同じ PCB 領域で最大 5 倍の信号出力の改善を実現しています。また、TI が開発した PCB コイルを互いにスタックすることもでき、2 倍または複数の信号出力強度を達成したり、増幅段を完全に排除したりできます。

また、[MSPM0+](#) SDK ツールに含まれる MSPM0+ MCU デバイス用のオープンソースの TI エネルギー測定ライブラリは、統合に適した独自の機能です。お客様は、TI が提供する、詳細に文書化され、十分なテストが実施されたライブラリを使用して、高調波分析やデータ ロギングのための独自の機能を追加できます。

TI のリファレンス デザインと TI の評価基板の各リリースに対応するコード サイズと MCU 負荷が最適化されたエネルギー測定ライブラリのサンプルを使用すると、TI のエネルギー計測システム設計の性能を迅速に検証し、製品に簡単に統合することができます。

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みいかなる保証も、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、TI は一切の責任を拒否します。

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