

Application Note

テキサス インストルメンツ製絶縁デバイスの磁場耐性: IEC 61000-4-8 および IEC 61000-4-9 のクラス 5 に適合



Varun Kumar, Garudadri Vasishta

概要

絶縁デバイスは、ノイズの多い大電力ドメインと、ノイズの少ない低電圧制御ドメインの間の境界で動作します。通常この境界は、バス バー、モーター巻線、トランス、またはスイッチング デバイスから数 cm 離れています。これらはすべて、強い磁場を発生させるものです。このような磁場が、堅牢さが十分ではないアイソレータに結合されると、データビットの破損、ゲートドライバのエッジの不正、測定値の破損などが発生する可能性があります。

このアプリケーション ノートでは、磁場耐性のテスト方法を定義する 2 つの IEC 規格、IEC 61000-4-8 (電源周波数磁場) および IEC 61000-4-9 (パルス磁場) についてわかりやすく説明しています。またこの資料では、テストレベルと環境クラスの意味と、両方の規格で定義されている重大度の最高レベル、クラス 5 に対して、TI の絶縁デバイス (表 8-1) がどのように動作するかについても説明します。

目次

1 はじめに.....	2
1.1 アイソレータで磁場耐性が重要な理由.....	2
2 磁場の単位の概要.....	2
3 IEC 61000-4-8 - 電源周波数磁場耐性.....	2
3.1 IEC 61000-4-8 テストのシミュレーション内容.....	2
3.2 IEC 61000-4-8 連続電源周波数磁場のテストレベル.....	3
3.3 環境クラス: レベルの選択方法.....	3
3.4 実際の設置で観察された磁場強度.....	3
4 IEC 61000-4-9 - パルス磁場耐性.....	4
4.1 IEC 61000-4-9 テストのシミュレーション内容.....	4
4.2 パルス磁場のインパルス電流波形.....	4
4.3 IEC 61000-4-9 パルス磁場のテストレベル.....	5
5 クラス 5 のテストの概要 - 目標とする内容.....	5
6 「合格」とは何か - パフォーマンス基準.....	5
7 テスト設定の詳細.....	6
8 テスト結果と概要.....	7
8.1 両規格のテスト条件:.....	7
9 最終製品の性能に関連するシステム設計の検討事項.....	8
10 まとめ.....	8
11 参考資料.....	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 はじめに

1.1 アイソレータで磁場耐性が重要な理由

すべてのアイソレータは、(物理的な接触や配線なしで) 絶縁バリアを介して情報を電氣的に送信します。テキサス インスツルメンツのアイソレータは、特許取得済みの二酸化ケイ素 (SiO₂) ベースの絶縁構造によって、絶縁バリアを介するデータを高周波信号として変調することでこの目標を実現しています。

その経路の導電性ループは、どれほど小さくても、変化する磁場のアンテナとなります。したがって、変化する磁場がアイソレータを経由する通信を妨げる可能性があるかどうかは、次の 2 つの要素によって決まります。

1. ループの大きさはどの程度か- 差動ループが小さければ取得できる情報も減ります。
2. 磁場の变化速度はどの程度か- 50/60Hz の遅いフィールドは、立ち上がり時間がマイクロ秒単位である雷によるパルスほどの害はありません。これは、同じピーク振幅であっても、磁場の変化率がより高速であるためです。

この理由により、2 つの異なる規格が存在します。

1. [IEC 61000-4-8](#) はケース (a) (長い期間でゆっくりと変化する磁場) に対応します。
2. [IEC 61000-4-9](#) はケース (b) (短い期間で非常に高速で変化する磁場) に対応します。

表 1-1. 異なる絶縁デバイスにおけるシステム レベルでの動作で発生し得る故障

デバイス タイプ	磁氣的動揺の結果
デジタル アイソレータ	シングルビット エラー、SPI/UART フレームの破損、ウォッチドッグトリップ
DC/DC 内蔵アイソレータ	絶縁型電源レール上の外乱
絶縁型 CAN / RS-485	バス エラー フレーム、再送信、通信の喪失
フォトカプラ エミュレータ	出力のグリッチ、出力側の状態切り替えの変更

2 磁場の単位の概要

テスト基準では、テストの重大度が A/m (磁場強度 H) で規定されますが、一般的に知られている物理方程式は、通常 WB/m² またはテスラ (磁束密度 B) を使用します。空気中では、計算式は式 1 および式 2 に従って正比例します。

$$B = \mu_0 \times H \quad (1)$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{Wb}/(\text{A} \times \text{m}) \quad (2)$$

数量	変換
1Wb/m ²	= 1T (テスラ)
1A/m	≅ 1.26μT (1.26 × 10 ⁻⁶ Wb/m ²)
80A/m	≅ 1G
地球の磁場	≅ 0.5G ≅ 40A/m
100A/m (IEC 61000-4-8 レベル 5、連続)	≅ 126μT
1000A/m (IEC 61000-4-9 レベル 5、パルス)	≅ 1.26mT

3 IEC 61000-4-8 - 電源周波数磁場耐性

3.1 IEC 61000-4-8 テストのシミュレーション内容

このテストでは、50Hz または 60Hz の商用電源電流を伝送する導体を囲む定常的な磁場を再現し、電力線、バス バー、トランス、モーター ケーブルにより生成される磁場をエミュレートします。この基準は、住宅および商業施設、工業設備および発電所、中電圧および高電圧変電所を対象としています。

装置が正常に動作している間は、設置環境に対して選択された重大度で、継続的に磁場が適用されます。この基準は、特定の製品がテストレベルに合格する必要があるかどうかではなく、テスト方法のみを規定しています。要求される合格レベルは、該当する最終製品の基準に基づきます。

3.2 IEC 61000-4-8 連続電源周波数磁場のテスト レベル

レベル	連続磁場 (A/m)
1	1A/m
2	3A/m
3	10A/m
4	30A/m
5	100A/m
X ⁽¹⁾	スペシャル

- (1) 「X」は、専用の製品仕様で定義されるオープンレベルです。「X」は、一覧の値の上、下、間に指定できません。

3.3 環境クラス:レベルの選択方法

テスト中によく混乱を招く点として、「レベル」と「クラス」は同じものではないことがあります。上記の [IEC 61000-4-8 連続電源周波数磁場のテスト レベル](#) で言及している「レベル」とは、テストの重大度を示します。以下に示す「クラス」とは、設置環境を説明するものです。これはテストレベルを選択するための有益なガイダンスとして IEC 61000-4-8 の附属書 C に記載されています。

機器は、機器が動作している環境に基づいて分類され、対応する試験レベルが選択されます。実際の場面では、クラス n はレベル n を要求することになります。

クラス	環境	典型的な例
1	電子ビーム デバイスを使用する環境	CRT モニタ、電子顕微鏡
2	適切な保護あり	家庭、オフィス、病院
3	保護	商業エリア、小規模の工業プラント、HV 変電所のコンピュータ ルーム
4	産業用	重工業プラント、発電所、HV 変電所の制御室
5 ⁽¹⁾	過酷な環境の産業	重工業プラント、MV および HV 発電所の開閉所

- (1) クラス 5 は、数十キロアンペアを伝送する導体、バス バー、または MV / HV ラインが存在する環境と、完全な雷電流を流す雷保護システムの接地導体が存在する環境として、明示的に規格を規定しています。

3.4 実際の設置で観察された磁場強度

IEC 61000-4-8 附属書 D には、実際の設置に基づく磁場強度の測定値が記載されています。これらの値は、クラス 5 の要件を満たすことで得られるヘッドルームのレベルを理解するのに役立ちます。

機器の設置場所	典型的な磁場強度の観測結果
家電製品、表面から 0.3m	0.03 ~ 10A/m (最大 ≒ 20A/m)
家電製品、表面から 1.5m	< 0.1A/m (最大 0.4A/m)
HV ラインの直下	1000A のライン電流あたり 10 ~ 16A/m
HV ラインから横方向に 30m	1000A のライン電流あたり 3 ~ 5A/m
HV 変電所 (220/400kV)、500A ライン付近	9 ~ 14A/m
HV 変電所リレー ルーム	1 ~ 7A/m
HV 変電所設備室	≒ 0.7A/m
発電所 / 産業プラント、2200A バス バーから 0.3 ~ 1.5m	6 ~ 85A/m
その他の産業用プラントの発生源	4 ~ 30A/m

磁場強度は距離とともに急速に減少するため、電流の大きさと同様に近接性が重要です。そのため、電力の境界に直接配置されるアイソレータが、最大のマージンと最高レベルの耐性を必要とする部品になります。

4 IEC 61000-4-9 - パルス磁場耐性

4.1 IEC 61000-4-9 テストのシミュレーション内容

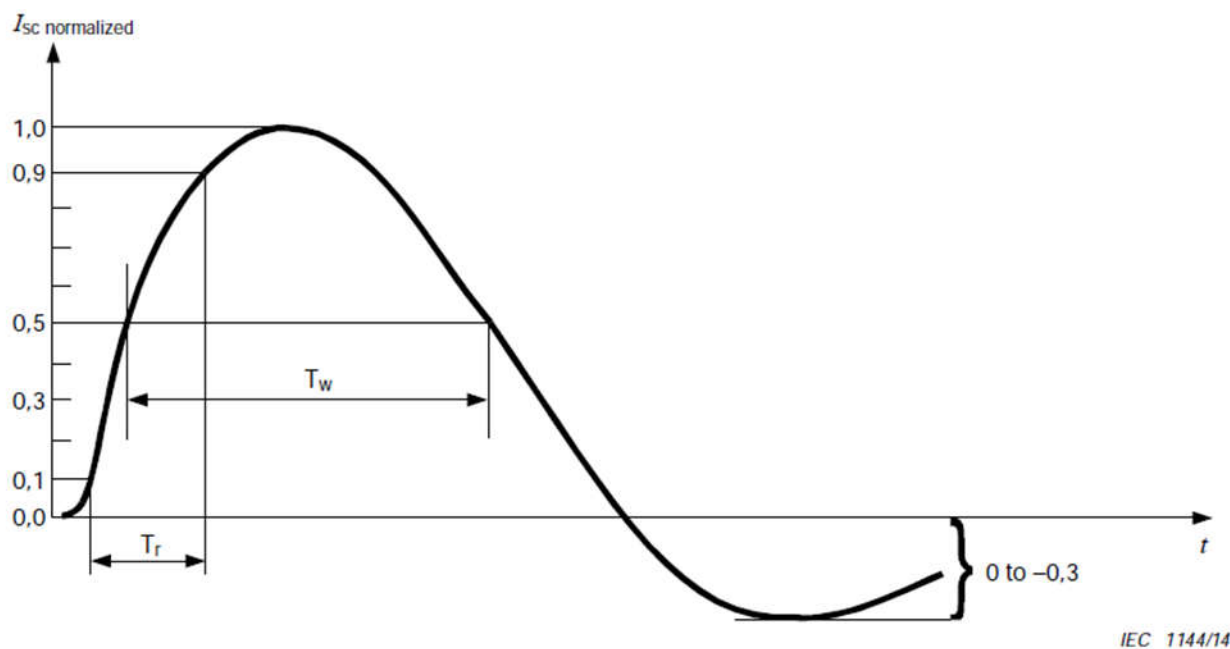
IEC 61000-4-8 は定常的な周波数磁場が対象ですが、IEC 61000-4-9 は過渡的な磁場、つまり建物、マスト、または雷保護用引き下げ導線への落雷および低電圧、中電圧、高電圧システムの障害電流によって生成される磁場が対象です。記載されている環境は、工業設備、発電所、鉄道設備、MV/HV 変電所です。

電流は、ミリ秒ではなくマイクロ秒単位で増加するため、dB/dt は IEC 61000-4-8 テストより大幅に高くなります。これは、磁場が短時間しか存在しないにもかかわらず、データ伝送アイソレータに対するより厳しいテストになることを意味します。

4.2 パルス磁場のインパルス電流波形

この外乱は、組み合わせ波形ジェネレータ (IEC 61000-4-5 サージテストで使用されるものと同じジェネレータファミリ) で誘導コイルを駆動し、図 4-1 に示すような 8/20 μ s の短絡電流波形を生じさせることによって生成されます。

パラメータ	値
フロントタイム、 T_f	8 μ s $\pm$ 20% ($T_f = 1.25 \times T_r$)
半値までの期間、 T_d	20 μ s $\pm$ 20% ($T_d = 1.18 \times T_w$)
ピーク短絡電流	100A ~ 1000A
極性	正と負
繰り返し回数	1 分あたり 1 回以上
インパルス数	正 5 回 + 負 5 回



Front time: $T_f = 1.25 \times T_r = 8 \mu\text{s} \pm 20 \%$
 Duration: $T_d = 1.18 \times T_w = 20 \mu\text{s} \pm 20 \%$

NOTE 1 The value 1,25 is the reciprocal of the difference between the 0,9 and 0,1 thresholds.

NOTE 2 The value 1,18 is derived from empirical data.

図 4-1. IEC 61000-4-9 に準拠したパルス磁場を生成するための短絡電流 (8/20 μ s) の波形

4.3 IEC 61000-4-9 パルス磁場のテスト レベル

IEC 61000-4-9 には、以下に説明する適切なテスト レベルを選択するため、**環境クラス:レベルの選択方法**と同様の有益なガイダンスとして、附属書 C に記載の最終製品設置クラスも存在します。このようなパルス磁場の発生が予想される過酷な環境のため、この規格にはクラス 3、4、5 のみが適用されます。

レベル	パルス磁場強度 (A/m、ピーク)
1 ⁽¹⁾	該当なし
2 ⁽¹⁾	該当なし
3	100A/m
4	300A/m
5	1000A/m
X	スペシャル

(1) レベル 1 とレベル 2 は IEC 61000-4-9 において適用されません。過酷ではない環境 (この場合はクラス 1 とクラス 2) は、重大なパルス磁場干渉を持つとは見なされていません。

5 クラス 5 のテストの概要 - 目標とする内容

標準	磁場タイプ	クラス 5 テストレベル	同等の磁束密度
IEC 61000-4-8	電力周波数、連続	50/60Hz で 100A/m	≅ 126μT
IEC 61000-4-9	パルス、8/20μs	1000A/m、ピーク	≅ 1.26mT

クラス 5 に合格することは、デバイスが重大度範囲のどの場所でも磁場による制限がないことを意味します。システム設計者は、システム レベルの磁気耐性要件を満たすために、アイソレータのディレーティング、シールド、向きの変更を行う必要はありません。

6 「合格」とは何か - パフォーマンス基準

テスト結果は 4 つのカテゴリに分類され、該当する製品の基準でどのカテゴリが受け入れられるかが提示されています。

カテゴリ	説明
A	仕様の制限内での通常動作
B	自己回復可能な機能の一時的な低下または喪失
C	オペレータの介入またはシステムのリセットが必要な、一時的な機能の低下または喪失
D	回復不能な機能の低下または喪失 (ハードウェアおよびソフトウェアの損傷またはデータの損失)

絶縁デバイスでは、「合格」は基準 A と定義され、磁場の適用時における以下のすべての条件が求められます。

- 絶縁データ チャンネルでビット エラーなし
- 絶縁出力でグリッチ、エッジの消失、余分なエッジなし
- 電源フォルトまたは UVLO のアサートなし
- 絶縁型電源レール (DC/DC を内蔵したデバイスの場合) が、指定されたレギュレーション範囲内に維持される。

7 テスト設定の詳細

単一のスタンドアロン絶縁デバイスは、IEC 61000-4-8/9 規格によれば、厳密には「EUT」とは言えません。この規格は、いずれもさまざまな過酷環境に設置される最終製品を試験することを意図しています。テキサス インストルメンツの絶縁デバイスが、クラス 5 の試験レベルに耐え、「基準 A」に準拠して動作することを検証するために、磁気シールドなしのスタンドアロン デバイスをボード上でテストします。図 7-1 に示すように、このテストでは、テスト電流ジェネレータに接続された誘導コイルによって生成される磁場 (IEC 61000-4-8 および IEC 61000-4-9 準拠) にデバイスが直接曝露されます。

磁場テスト中にデバイスレベルの性能を監視するため、DUT が評価ボードに取り付けられ、継続的に監視される代表的な機能ループで動作します。

1. **DUT ボード:** 1m×1m コイルの最大露出領域内に収まる小型の、専用に設計された特性評価ボード。
2. **入力信号:** 入力側に入力される既知のパターン (固定周波数の方形波など)。
3. **出力監視:** 絶縁された出力信号 / 電力は、パターン チェッカ / エラー カウンタによりリアルタイムで入力と比較され、オシロスコープがグリッチをキャプチャします。
4. **電源:** 両側の電源は公称および推奨動作範囲の上限で供給されます。DC/DC を内蔵したデバイスでは、絶縁電源出力が監視されます。
5. **方向:** 基板を回転させて、ダイの差動ループを 3 つの軸すべてのフィールドに対して曝露します。これは、カップリングが磁場方向に投影されるループ面積に比例し、方向が単一の場合はテストが有効にならないため、重要な点です。

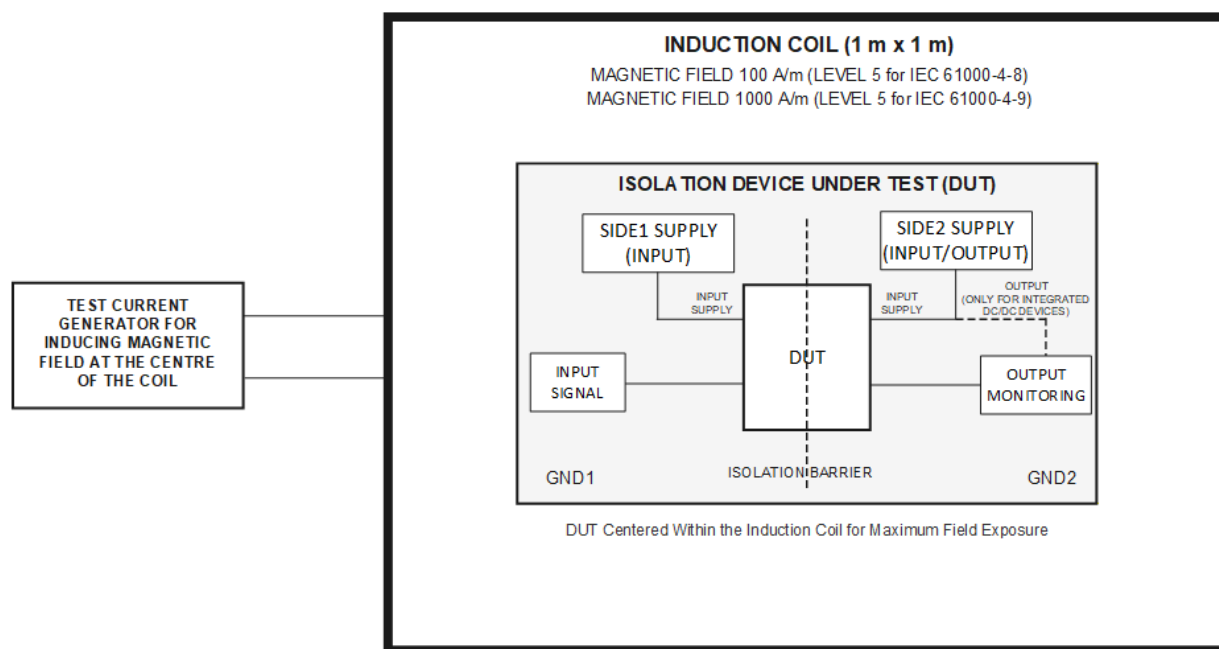


図 7-1. 磁場耐性のテスト設定

8 テスト結果と概要

表 8-1 に示すすべてのデバイスは、IEC 61000-4-8 および IEC 61000-4-9 の両方の最高重大度レベル (レベル 5 / クラス 5) のテストにおいて、3 つの直交磁場方向すべてに対し「性能基準 A」で合格しています。この性能を実現するには、外部シールドや方向の変更は不要です。またレイアウトの制約も受けません。

8.1 両規格のテスト条件:

1. IEC 61000-4-8 (電源周波数磁場) –
 - a. 50Hz 電源周波数磁場
 - b. 3 つすべての直交方向
 - c. 1m × 1m の標準誘導コイル
 - d. 180 秒の持続時間で適用される連続磁場
2. IEC 61000-4-9 (パルス磁場) –
 - a. 8/20μs パルス磁場
 - b. 3 つすべての直交方向
 - c. 1m × 1m の標準誘導コイル
 - d. 各方向あたり 10 の正 + 10 の負のインパルス
 - e. パルスごとに 10 秒で繰り返し

表 8-1. TI の絶縁型デバイスの磁場耐性テスト レベルと性能の概要

DUT テスト済み	DUT 測定結果ありのデバイス ファミリー	デバイス カテゴリ	IEC 61000-4-8		IEC 61000-4-9	
			レベル 5 (100A/m)	性能	レベル 5 (1000A/m)	性能
ISOW6441	ISOW64xx	デジタル アイスレータ + 絶縁電源	合格	基準 A	合格	基準 A
ISOW3080	ISOW308x	絶縁型 RS485 トランシーバ + 絶縁電源	合格	基準 A	合格	基準 A
ISOW1050	ISOW1050	絶縁型 CAN トランシーバ + 絶縁電源	合格	基準 A	合格	基準 A
ISO6441	ISO64xx	デジタル アイスレータ	合格	基準 A	合格	基準 A
ISO6041	ISO60xx	デジタル アイスレータ	合格	基準 A	合格	基準 A
ISOM8610	ISOM8xxx	フォトカプラ エミュレータ	合格	基準 A	合格	基準 A
ISO7241	ISO72xx	デジタル アイスレータ	合格	基準 A	合格	基準 A
ISO7041	ISO70xx	デジタル アイスレータ	合格	基準 A	合格	基準 A

このように、上記のテスト結果は、テキサス インスツルメンツの絶縁デバイスが磁場干渉に対して堅牢であること、およびクラス 5 / レベル 5 の磁場耐性を達成する最終製品の耐性性能の制限因子ではないことを示しています。

9 最終製品の性能に関連するシステム設計の検討事項

磁場に対して本質的に堅牢である TI 製アイソレータを使用している場合でも、基板レベルではループの面積がアイソレータ パッケージ内部よりもはるかに大きい場合、周囲のシステム設計に注意する必要があります。

1. バリアの両側のループ面積を最小化します。誘導電圧は、密閉されたループ領域に正比例するため、信号パスと帰路を密結合されたペアとして配線します。
2. デカップリング コンデンサは、可能な限り電源ピンの近くに配置します。多くの場合、電源ループは基板上のアイソレータに近い最大のループです。
3. 信号トレースを大電流導体と平行に、またその直下に配置することは避けてください。
4. ノイズの多い領域をまたぐ場合は必ず差動信号を使用します。厳密な差動ペアへの磁気結合は、ほぼ同相であり、レシーバ側では除去されます。
5. 距離が長くなると磁場強度が急速に低下するため、距離は自由度の高いマージンとなります。多くの場合、強力な磁場源から数センチメートルを追加するとより効果的です。

10 まとめ

テキサス インストルメンツの絶縁製品 (表 8-1) は、小さな差動ループ領域、定義済みのノイズ マージンを持つ適切にマッチングされた差動信号、磁気結合から独立した絶縁バリアなど、いくつかの重要なアーキテクチャ イノベーションにより、磁場耐性 (IEC 61000-4-8 および IEC 61000-4-9 に準拠) においてクラス 5 性能を達成します。つまり、システム設計で使用するテキサス インストルメンツの絶縁デバイスが、最終製品の性能を制限する要因になることはありません。これは、クラス 5 / レベル 5 の性能が達成されたことを示すテスト結果によって、より詳細に検証されています。

11 参考資料

1. IEC 61000-4-8:2009、電磁両立性 (EMC) - パート 4-8: テストと測定技術 - 電源周波数磁場耐性試験、第 2.0 版。
2. IEC 61000-4-9:2016、電磁両立性 (EMC) - パート 4-9: 試験および測定技術 - インパルス磁場耐性試験、第 2.0 版。
3. IEC 61000-4-5、サージ耐性試験 (組み合わせ波形ジェネレータの定義)。
4. Agilent Technologies、IEC/EN 61000-4-8 準拠テスト、アプリケーション ノート 1319、出版 5968-3730E。

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](https://www.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