

Technical Article

データセンターは AI の大規模な電力ニーズに合わせて進化



Brent McDonald, systems and applications engineer, Texas Instruments



大規模な言語モデルがデータへのアクセス方法に革命をもたらすなかで、人工知能 (AI) の進歩により、業界や社会がデータセンターのコンピューティングリソースを使用する方法も劇的に変化しつつあります。検索エンジンに特定のキーワードを入力するのではなく、人間への質問と同じように AI に質問して、詳細な回答が得られる段階に達しつつあります。もちろん、これは AI で可能になることのごく一部にすぎません。AI はコードの作成、写真やビデオの生成、会議の文字起こしや要約なども行っています。これらの AI 機能はすべて、多くの電力を必要とします。

この大量の電力を供給し、AI がその潜在能力を最大限に発揮できるようにするには、データセンターでの IT サーバーラックの構成形式や、最適な発電および配電方法を再検討する必要があります。この記事では、このようなコンピューティングを実行するデータセンターのサーバー機能のために、電力を生み出してデータセンターに給電する方法、AI コンピューティングと電力の要件の急激な進化に対応するため、なぜ配電アーキテクチャの変化が必要なのかの理由、そしてそれらを可能にする方法について検討します。

図 1 に、IT サーバー ラックレベルの電力要件を、時間の関数として示します。図 1 は、2028 年には IT ラックごとに 1.5MW の電力が必要になると予測しており、これは現在のサーバー ラックが使用している電力の 10 倍に相当します。

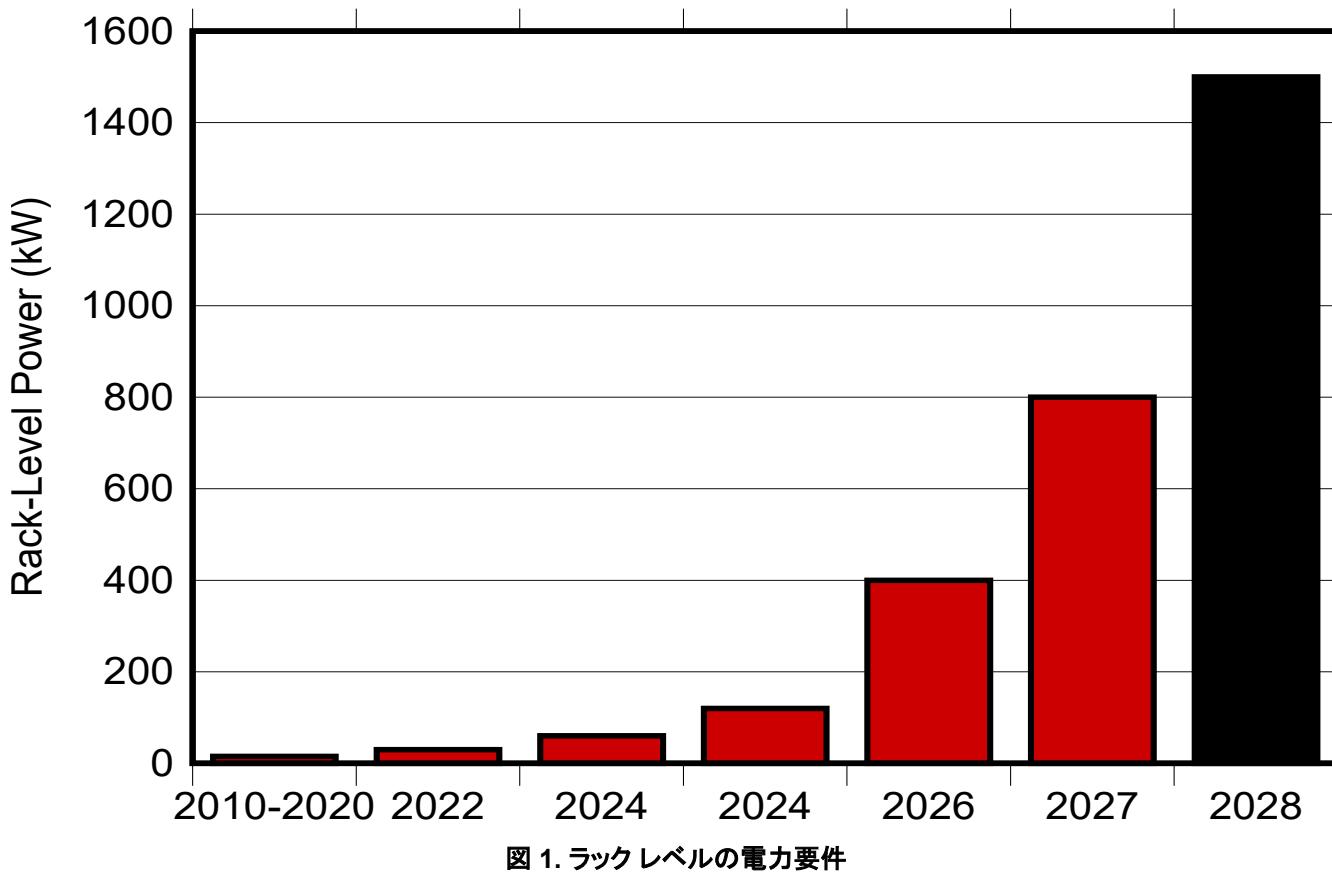


図 1. ラック レベルの電力要件

歴史の簡単な説明

データセンターおよびサーバー内の電力供給ネットワークで発生する変化の大きさを理解するために、現在のアーキテクチャについて簡単に解説しましょう。図 2 は、1990 年代から現在までサーバーとデータセンターで主流だった、第 1 世代の電力分配アーキテクチャを示しています。図 2 の左上に示されているのは、AC 電力網から供給される 3 相 AC 電力です。この電力は、約 13kV の「中間電圧」から、480V の AC ライン間電圧に変換されます。無停電電源 (UPS) は、この電圧をバッファリングします。

AC 電力網の電力が消失した場合、UPS はローカル バッテリとインバータ機能を使用して、バックアップ ジェネレータが引き継ぐのに十分な時間、データセンター サーバーの稼働を維持します。これには、自動転送スイッチ (ATS) または静的転送スイッチ (STS) が使用されます。480V のライン間 AC 電圧は、ラインと中性線との間の電圧で $277V_{AC}$ に相当します。

$277V_{AC}$ の 3 相を IT サーバー ラックに供給した後で、電源ユニット (PSU) が力率補正 (PFC) を実行し、レギュレートされた 12V 出力を生成してサーバー IT トレイに分配します。この第 1 世代アーキテクチャ用の 12V 分配電圧は、さまざまな負荷、電圧レギュレータ、他のポイントオブロード (PoL) レギュレータに電力を供給し、サーバートレイ全体で使用されるプロセッサ、メモリ、通信 IC に電力を供給する電圧を生成します。このアーキテクチャは、ラックの総電力が 10kW ~ 20kW 前後のとき適切に動作しました。しかし、より多くの計算能力への需要が高まるにつれて、これらの計算機能を処理するために必要な電力も増加してきました。

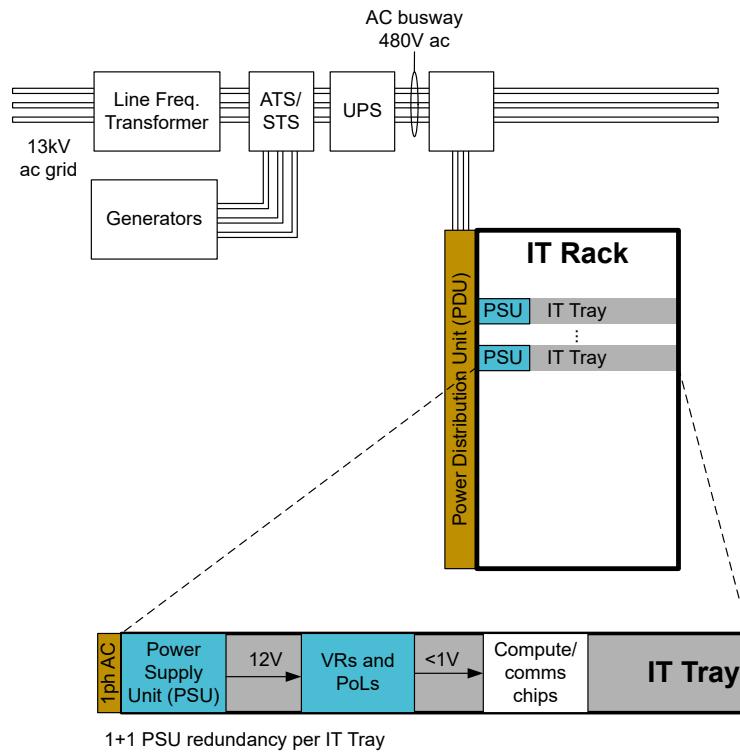


図 2. 第 1 世代の従来型ラック サーバ

図 3 に、データセンターの電力分配アーキテクチャにおける次の進化を示します。図 3 の左上の領域に見られるように、このアーキテクチャは同じ中電圧入力電源から始まります。第 1 世代アーキテクチャと同様に、トランスは 3 相 13kV を 480V_{AC} のライン間電圧に変換します。このアーキテクチャは UPS を使用しませんが、代わりに 277V_{AC} のラインと中性線との間に相当する電圧を、IT ラックのローカル PSU に直接送出します。これらの PSU は、各サーバートレイ専用ではなく、単一の電源シェルフにまとめられています。ここでいう電源シェルフとは、単に負荷要件が共通な IT 機器を出力で共有する電源のシェルフのことです。

通常は、冗長性を実現するために、各電源シェルフに PSU が 6 台あり、N+1 構成になっています。電源シェルフを追加すると、IT ラックに必要な総電力が得られます。これらの電源シェルフの出力は 50V_{DC} バスで、サーバー ラックの背面に沿って配置された大電流のバスバーを介して各 IT トレイに分配されます。第 2 世代の設備の一部では、UPS 機能が維持されていますが、それ以外の設備では UPS 機能が取り除かれ（図 3 を参照）、ローカル バッテリ バックアップ ユニット (BBU) に置き換えられており、電源が復旧するか、バックアップ発電機に切り替えられるまで、50V_{DC} バスをアクティブに維持します。特定の状況では、コンデンサ シェルフまたはコンデンサ バックアップ ユニット (CBU) を使用することで、電源障害に関連する過剰な電圧過渡や電流過渡を排除するのに役立ちます。各 IT トレイ内の 50V バスは、ローカル中間バス コンバータに接続され、IT トレイ内のシステム負荷に電力を供給するために必要な 12V を生成します。

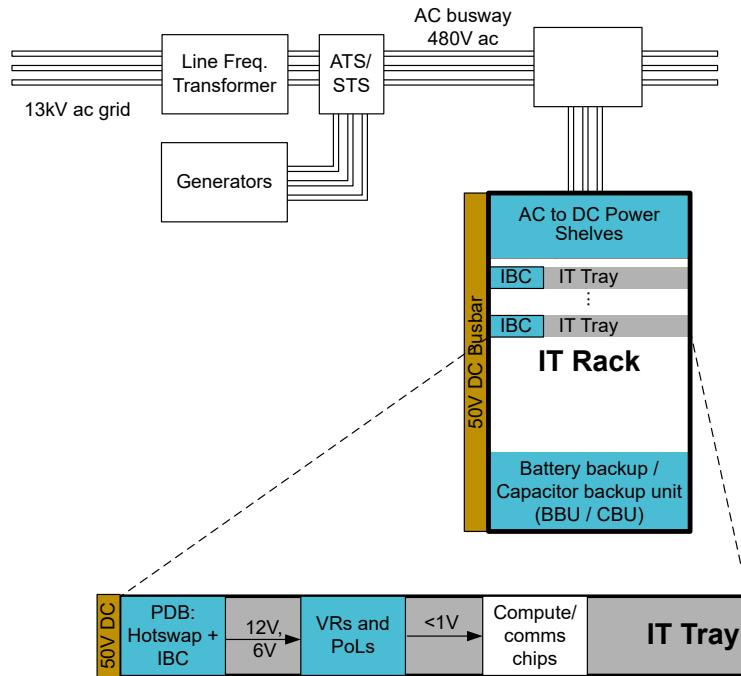


図 3. 第 2 世代 - クラウドと AI コンピューティング

第 2 世代アーキテクチャでは、IT ラックが第 1 世代の能力を超える負荷に電力を供給できます。第 2 世代の現実的な負荷は 100kW 範囲です。必要な合計電力が約 200kW に達すると、分配損失が大きくなり、それ以上電力を増やすのは非実用的になります。

AI データセンターの電力供給

高度な AI モデルを実行するデータセンターのラックは、2028 年までに 1MW の電力を消費することが予想されています。この電力を第 2 世代アーキテクチャで分配すると、50V のバスバーを想定して、電流は 20,000A になります。このような大電流を供給するために必要なバスバーは重く、コストが高く、実用的ではありません。結果として、新しい AI IT サーバーラックの電力分配用の、より高い電圧 800V_{DC}、または $\pm 400V_{DC}$ バスにより、大電流バスバーの要件を 20kA から 1.25kA に低減できます。これによって電流が 1 衍以上減らせるため、全体の電力供給効率が高く維持され、体積が小さく密度の低い銅バスバーの使用が可能になります。図 4 に、このアーキテクチャを示します。

第 2 世代アーキテクチャの電源シェルフはサイドバーに置き換えられ、3 相 480V_{AC} グリッド電圧を入力として使用します。サイドバーはこれを 800V_{DC} または $\pm 400V_{DC}$ バスに変換し、1 つまたは複数の IT サーバーラックに分配します。サイドバーにも BBU が搭載されています。第 3 世代アーキテクチャは、電力分配効率を向上させるだけでなく、IT ラックのスペースをより多くコンピューティング機能のために使用できます。

ある意味、IT サーバーラックの計算密度を高めることは、電力分配の問題よりもさらに重要です。AI ベースの IT ラックでは、数百のプロセッサを使用して、AI が最高の状態で機能するために必要な計算量を迅速に処理します。これらのプロセッサは、高密度のフットプリントで互いに通信できる必要があります。電力変換の大部分を IT ラックから取り除くことで、より小さなスペースでより多くのプロセッサを搭載できます。この場合、ラック内の各 IT トレイは、この 800V_{DC} または $\pm 400V_{DC}$ のバス電圧を入力として受け付けます。その後で、トレイ内の中間バスコンバータは、その電圧を変換して IT トレイ上で分配します。選択したアーキテクチャに応じて、分配電圧は 48V、12V、または 6V になることがあります。

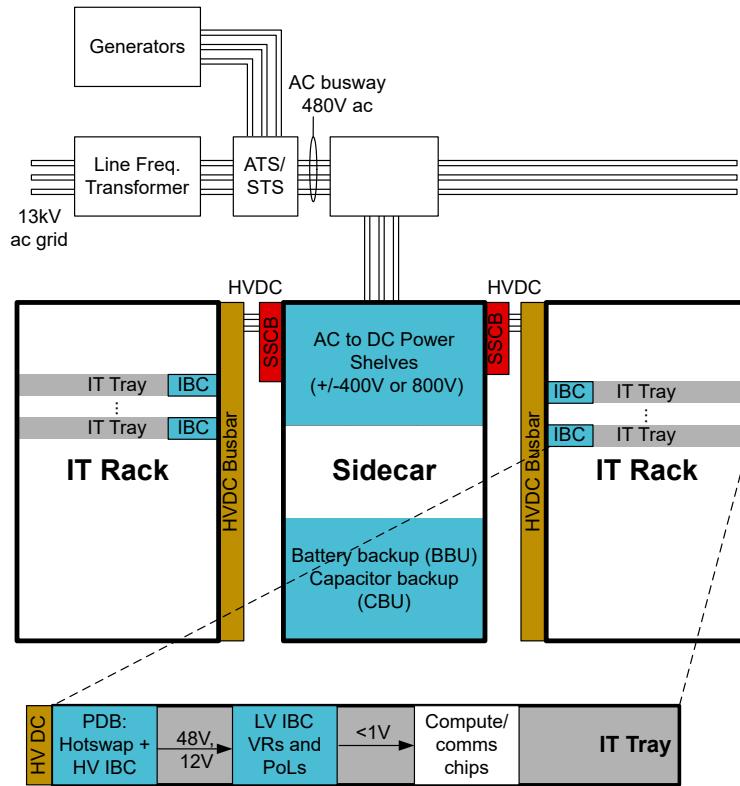


図 4. 第 3 世代 - AI コンピューティングの DC 分配サイドカー

今後の予想される発展

第 3 世代アーキテクチャは、電力分配効率を向上させ、IT ラック内の計算密度を大幅に向上させるという大きな役割を果たしていますが、その代償としてデータセンターの IT フロアのスペースをより多く占有します。その結果、データセンターの進化における次のステップは、サイドカーの AC/DC 電力変換機能を IT フロアからユーティリティルームに移行することです。

図 5 に、第 4 世代アーキテクチャの提案を示します。このアーキテクチャでは、サイドカーに BBU 機能が収納され、AC/DC 機能はソリッドステートトランジスタ (SST) に移されています。第 1、第 2、第 3 世代のアーキテクチャでは、入力電圧はグリッドから供給される 13kV の中電圧です。この電圧は、3 相の 480V_{AC} 分配バスに変換されてから、DC 分配バスの電圧に変換されます。SST は、13kV トランジスタと、800V_{DC} または ±400V_{DC} への電力変換の両方を置き換えます。SST は、単一の電力変換段で PFC 機能、電圧降圧、DC への変換を実現します。この場合、バックアップ発電機は中電圧ノードに、または AC/DC コンバータを経由して SST の出力に、接続する必要があります。その結果、電力分配ネットワークの効率が向上し、IT フロアでコンピューティング用に使用できるスペースが増えます。

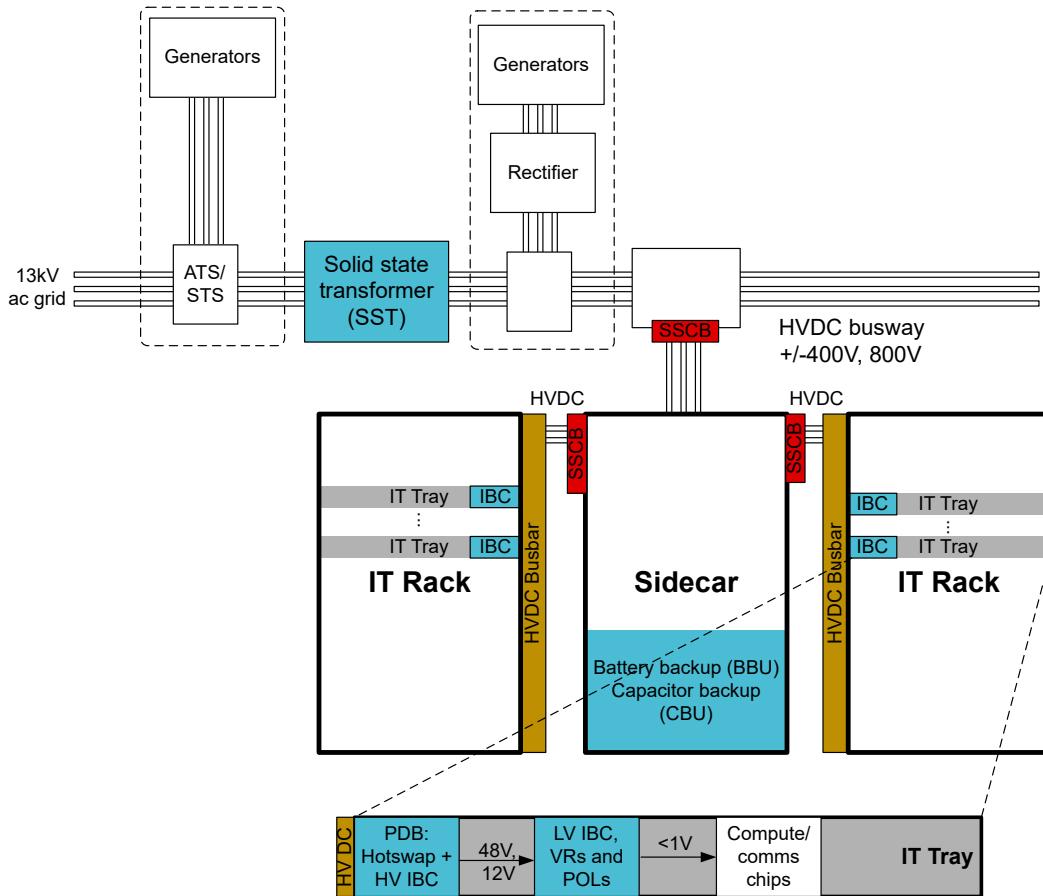


図 5. 第 4 世代 - AI コンピューティングの SST と DC 分配

このシステムを実現するために必要なテクノロジー

各世代の電力分配は、多数の高度な電力変換機能を必要とします。これらの機能には、PFC、800V_{DC} または ±400V_{DC} への DC/DC 変換、ダイオードの OR 結合、電流共有、ホットスワップ、保護、制御、電力メーターなどが含まれます。先進的な半導体は、これらの各機能が、可能な限り最高の性能と効率で動作するための鍵となります。次に例を示します。

- PFC の実行と DC バス電圧の生成には、リアルタイム マイコンが必要です [1]。
- インダクタ インダクタ コンデンサ (LLC) や PFC などのトポロジを実現するには、高効率の広帯域ギヤップ半導体スイッチが必要です [2]。
- 電力測定、制御、保護をサポートするには、電流と電圧の正確なセンシングが必要です [3]。
- システムの各種絶縁型スイッチに電力を供給するには、小型フォーム フакタで高効率のバイアス電源 [4] とゲートドライブ [5] が必要です。

まとめ

AI は、私たちが情報やデータをどのように扱うかを変化させつつあります。電力変換のニーズに対応するため、データセンターは新しい電力分配アーキテクチャを必要としています。

このシリーズの将来の記事では、PSU の詳細を探求し、エネルギー ストレージについて解説するとともに、中間バス コンバータと電圧レギュレータのトレンドと、それらを実現する主要なテクノロジーと半導体について取り上げます。

参考資料

1. テキサス・インスツルメンツ (発行年記載なし)[C2000™ リアルタイム マイコン](#): アクセス日: 2025 年 7 月 29 日。
2. テキサス・インスツルメンツ (発行年記載なし)[窒化ガリウム \(GaN\) 電力段](#): アクセス日: 2025 年 7 月 29 日。
3. テキサス・インスツルメンツ (発行年記載なし)[絶縁型 ADC の Web ページ](#): アクセス日: 2025 年 7 月 29 日。
4. テキサス・インスツルメンツ (発行年記載なし)[絶縁型パワー モジュール \(トランス内蔵\)](#): アクセス日: 2025 年 7 月 29 日。
5. テキサス・インスツルメンツ (発行年記載なし)[絶縁型ゲートドライバ](#): アクセス日: 2025 年 7 月 29 日。

その他の資料

- 記事「[サーバー用電源設計の 5 つの主要なトレンド](#)」をご覧ください。
- Data Center Frontier の [Grid-to-Gate](#) には、次の記事があります: 「[パワー マネージメントの課題を理解するためのフレームワーク](#)」および「[高電圧 DC 電源: データセンターの電源アーキテクチャの未来](#)」。
- DataCenter Knowledge で、次の詳細を参照できます: 「[高電圧 DC: AI データセンター向けの電源ソリューション](#)」。
- [ML AI アプリケーション向け ±400VDC ラック電源システム](#)のビデオをご覧ください。

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

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默示保証、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、明示的または默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、(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、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 © 2025, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月