

インダストリ 4.0 サーボ・ドライブに Sitara™ プロセッサおよびマイコンを 活用

**Eddie Esparza**

Product Marketing - Sitara™ Processors
Texas Instruments

Jason Reeder

Systems Engineer - Motor Drives
Texas Instruments

Martin Staebler

Systems Engineer - Motor Drives
Texas Instruments

製造業界とオートメーション業界は長年にわたってサーボ・モーター制御を使用してきましたが、インダストリ 4.0 とスマート・ファクトリの登場に伴い、オートメーション・システムの採用が加速しています。その結果、より多くの機能と、より多くの軸を制御できる能力を実装した、よりスマートなサーボ・ドライブを求める需要が強くなってきました。

概要

本稿では、サーボ・ドライブ市場の動向と、インダストリ 4.0 とスマート・ファクトリ・システムの新しい要件とに Sitara マイコン (MCU) およびプロセッサ (MPU) がどのように対応しているかを説明します。



1

性能

単体性能がより高い MPU/MCU の方が、制御処理をより迅速に完了させることができ、より大きい計算帯域幅を持っているため、自動化とインテリジェント化の要求の高まりに応えるより多くのサービスと機能を提供できます。



2

産業用通信

産業用サーボ・ドライブ分野で最も顕著なことの 1 つは、マルチプロトコル産業用イーサネットの採用が急速に進んでいることです。Sitara デバイスは、装置間のリアルタイムおよび低レイテンシ通信を実現し、性能、安全性、信頼性の向上に貢献します。



3

機能安全

自律的意思決定および動作を目指す傾向と、人と機械の相互作用の機会が増えているという事実は、より多くのファクトリ・アプリケーションで機能安全の要求を高めました。

従来、ハイエンド・マイコンと大規模な FPGA (フィールド・プログラマブル・ゲートアレイ) がローレベルの制御アルゴリズムを実行し、付属のペリフェラルを使用してドライブの出力とモーターのフィードバックを接続してきました。サーボ・ドライブに

課されるサポート要件として、迅速な変更能力、および機器のいっそうのスマート化と性能向上を挙げることができます。エッジ側でより多くのサービスを提供するため、リアルタイム産業用通信、機能安全、予防保守、クラウド・コネクティビティなどの機能はサーボ制御基板に統合されつつあります。このような統合レベルの向上とより高い性能の必要性のために、インダストリ 4.0 アプリケーションの処理要求に対応する画期的な製品 (TI の Sitara™ MPU および MCU など) に設計者は注目しています。

性能

各種サーボ・モーター・ドライブ・アプリケーションで、モーター制御は通常、複数の制御ループ・レイヤに分割されています。電流 / トルク・ループ、速度ループ、位置ループ、より上位に位置するモーション制御ループがこれらに該当します。これらのループは通常、カスケード形式で配置されており、各ループは独自の「リアルタイム」処理要件を課しています。電流ループ、言い換えるとトルク・ループは、最も厳格な制御を行うループです。この種の電流 / トルク・ループより前に、各アップストリーム・ループが複数回動作し、ダウンストリーム・ループに対して入力参照値を提供します。図 1 に、標準的なカスケード制御トポロジーを示します。

図 1 の各ブロックは、単一の異種プロセッサの中に存在する、またはプロセッサとマイコンの両者間に存在する複数のコアにまたがる論理的なパーティションに従い、それぞれの機能を適切に実装しています。マルチコア MPU または MCU 内の複数のコアにまたがる形で各種ループを分散すると、各ループ専用の処理帯域幅を最大化することができます。単一の MPU または MCU コアが自らの制御ループに対する入力

データを受け取った時点で、そのコアはアルゴリズムを実行し、できるだけ早く完了させることができます。その後、参照値をダウンストリーム・ループに提供し、次いで、次の入力データ・セットの準備ができるまで他のサービスの提供を続けます。

単体性能がより高い MPU/MCU の方が、制御処理をより迅速に完了させることができ、付加的なサービスや機能に対してより多くの帯域幅を割り当てることができます。32kHz の制御ループでサイクル時間が 31.25 μ s に近づくにつれて、または複数の軸からの入力を事実上同時に処理する必要が生じるにつれて、高速処理が特に不可欠になります。

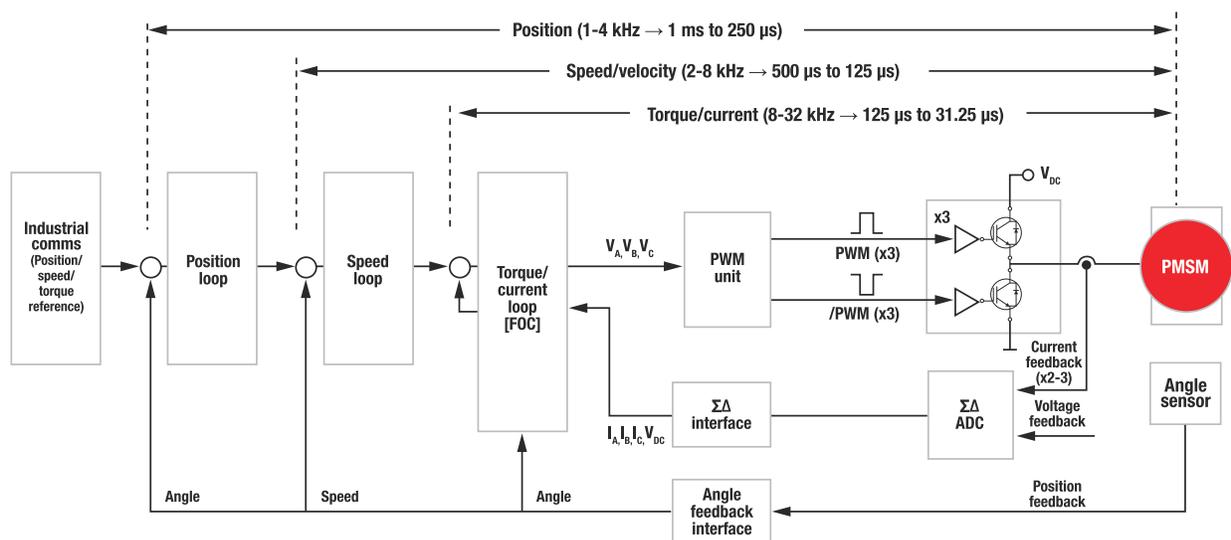


図 1. サーボ・モーター制御ループの代表的なトポロジー

現在は、サーボ・ドライブに対してインダストリ 4.0 のサービスを追加する必要が生じた結果、標準的な Arm Cortex[®]-A と Cortex-R の各コアを採用する流れが生じました。Cortex-A コアは、非常に高い帯域幅を達成することができます。この特性は迅速なプロトタイプ製作に役立ちますが、このコアには、Cortex-R が搭載しているリアルタイム・コンポーネントが欠けています。それが、サーボ制御などのリアルタイム制御アプリケーションに Cortex-R が Cortex-A よりも適している理由です。一方、モーション制御、予防保守、Linux ベース Web サービスなど、その他の多くのサービスでは、Cortex-R より Cortex-A の方が明らかに適しています。幸い、Sitara AM64x MPU および AM243x MCU などのマルチコア・デバイスは、上述の処理エレメントをすべて内蔵できるため、必要とされる全エレメントをシングル・チップで実現できます。

サーボ制御の厳格なリアルタイム処理要件に関するいくつかの処理オプションとして、デジタル信号プロセッサ (DSP)、FPGA、標準的な Arm[®] プロセッシング・コアを利用することもできます。ただし、適切なプロセッシング・コアを選定することはそれほど容易ではない可能性もあります。フレキシビリティと、制御アルゴリズムの最適化の間でバランスを維持する必要が生じるからです。以前は、制御アルゴリズムの最適化が第 1 の優先事項でした。そのため、DSP、ASIC (特定用途向け集積回路)、FPGA が明確な選択肢になっていました。

産業用通信

インダストリ 4.0 を実現すると、新しい魅力的な要素をいくつもファクトリ (工場) に導入できますが、産業用サーボ・ドライブの分野で最も顕著なのは、マルチプロトコル産業用イーサネットを迅速に採用できるという事実でしょう。産業用イーサネットのフィールド・バスとポジション・エンコーダ向けの市場には 10 種類以上の通信プロトコルが存在していますが、各プロトコルには独自の長所と短所があります。EtherCAT[®]、PROFINET[®]、EtherNet/IP はいずれもサーボ・ドライブ市場でごく一般的に使用されているイーサネット・ベースのプロトコルであるのに対し、ポジション・エンコーダ・プロトコルとしては、Hiperface[®] Digital Servo Link (DSL)、EnDat 2.2、C (BiSS C: Bidirectional Interface for Serial/Synchronous C) の方がより一般的に使用されています。

これらのプロトコルの多くには、対応する ASIC が存在しています。この種の ASIC をホスト・プロセッサに追加すると、特定

の通信プロトコルをサポートできます。特定の状況でマルチチップ・ソリューションを使用すると、プロトコルのスタックがホスト・プロセッサ上で動作し、ASIC はメディア・アクセス制御 (MAC) レイヤを実行します。単一のプロトコルのサポートのみを計画しているメーカー各社は、この分散アーキテクチャを優先します。ASIC は通常、特定の通信規格向けに最適化済みだからです。複数のプロトコルをサポートする必要が生じた時点で、以下に示すいくつかの理由によりマルチチップ・ソリューションはその魅力を失います。新しいプロトコルを採用するたびに、開発者は新しいデバイスに精通する必要が生じ (新たな開発労力およびコストが必要です)、各プロトコルに対応するためメーカーは複数のバージョンのボードを維持する必要があります。

Sitara MPU および MCU などのソリューションは、ホスト・プロセッサにマルチプロトコル・サポートを統合しており、コストの削減、ボード面積の節減、開発労力の低減に加え、外部コンポーネントとホストの間で実施する通信に関連する待ち時間の最小化に貢献します。Sitara AM64x プロセッサおよび AM243x MCU ファミリのデバイスにはスタックがあらかじめ組み込まれており、EtherCAT、Profinet RT/IRT、Ethernet/IPなどをサポートできます。複数の規格をサポートする単一プラットフォームを活用すると、ボードのハードウェアを 1 種類に抑えて、最終製品で使用するさまざまなバージョンを維持することができます。

開発する製品の将来性を考慮する必要がある場合、TSN (Time Sensitive Networking) サポートの必要性についても考慮する必要があります。産業用通信向けで選定するプラットフォームは、進化を続けている各種 TSN 規格を採用できる十分フレキシブルなものにする必要があります。この要件を満たせない場合、各種規格が最終的に制定された時点で、製品が時代遅れになるリスクが生じます。PRU-ICSS (プログラマブル・リアルタイム・ユニット産業用通信サブシステム) を採用すると、ギガビット TSN に加えて、EtherCAT のような従来の 100Mb イーサネットに対応できます。Sitara AM6x MPU および AM243x MCU ファミリーは、このフレキシブルな PRU-ICSS を使用して、ソリューションを実現します。

機能安全

装置の自律的な意思決定と動作を目指す傾向と、潜在的に危険な工場環境で人と装置の相互作用の機会が増えているという事実は、スマート・ファクトリ内の多くのアプリケーション (サーボ・ドライブなど) で機能安全の重要性が高まっていることを意味します。機能安全規格の詳細と、産業用環境での Sitara MPU および MCU の使い方の詳細については、ホワイトペーパー『[The state of functional safety in Industry 4.0](#)』(英語) をご覧ください。

システム・パーティション

1 台のサーボ・ドライブ内で複数の制御ループをカスケード接続すると、通常は少なくとも 2 枚の回路基板にまたがる形であり、それらの基板を強化絶縁境界で分離することになります。この絶縁境界は、「ホット・サイド」(高電圧側) および「コールド・サイド」(低電圧側) と呼ぶ領域を作り出すことになります。ホット・サイドはモーターに最も近接した領域であり、モーターに電力を供給する高電圧部品を搭載しています。コールド・サイドは絶縁をはさんだもう一方の領域であり、通常は制御ユニットを搭載しています。

1 台のモーター・ドライブ内に存在するさまざまな制御ループはモジュール形式を採用しているため、設計者の皆様が絶縁境界にまたがるシステムのパーティションを作成する際に、多くの選択肢を利用できます。[図 2](#)、[図 3](#)、[図 4](#) に、サーボ・ドライブに関して利用可能ないくつかのパーティションを示します。

図 2 に、絶縁境界を使用して 2 個のシステム・オン・チップ (SoC) を分離した、2 チップ構成のソリューションを示します。この分割方法は、分散制御アーキテクチャとしばしば呼ばれます。このアーキテクチャの利点は、フィールド・オリエンテツ

ド・コントロール (FOC、磁界方向制御) ループに対してモーターからの入力が発生した時点から、それに応じて電流を変化させるという帰還制御までに要する合計時間が短いことです。ループ全体が電力段ボード上で動作しているからです。

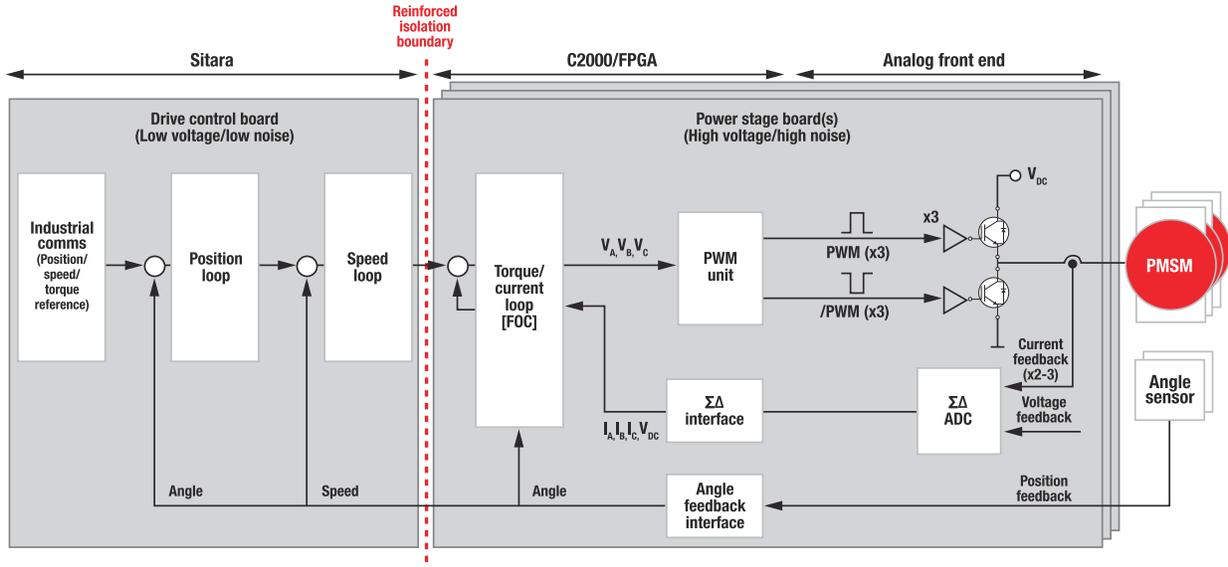


図 2. システムのホット・サイドにある独立した制御ユニットと絶縁境界をまたいで通信するための Sitara プロセッサ/マイコンの使用例

図 3 も 2 チップ構成のソリューションを示していますが、今回はどちらの SoC もコールド・サイドの制御ボード上にあります。制御ループは、2 個の SoC の間で分割されています。一方の SoC はアルゴリズムの処理を取り扱い、もう一方の SoC はアグリゲータ (集約機能) として動作し、絶縁境界をま

たぐ PWM (パルス幅変調) を生成します。すべての制御ロジックを 1 枚の基板に実装したシステム分割は、集中制御アーキテクチャとしばしば呼ばれます。このアーキテクチャの利点は低コストの電力段基板を能用することです。しかし、図 2 に示す分割と同じ性能レベルを維持するには、2 つの SoC の間に高速インターフェイスを必要とします。

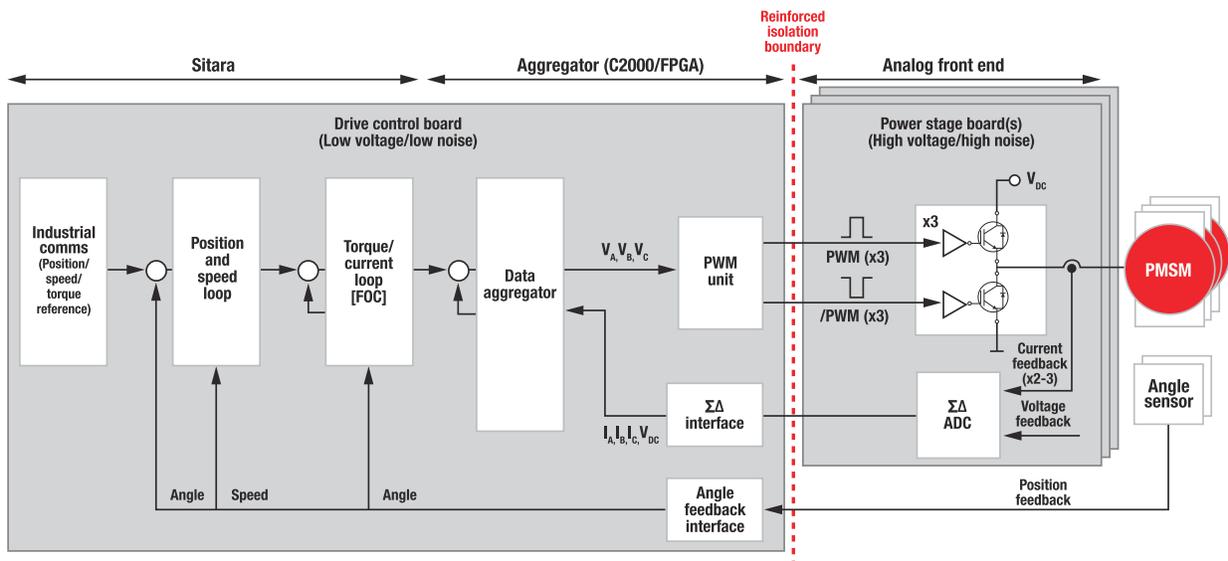


図 3. システムのコールド・サイドの C2000™ マイコンまたは FPGA の負荷を軽減する制御機能を備えたサーボ・プロセッサとしての Sitara プロセッサ/マイコンの使用例

図 4 では、PWM とモーション・プロファイル生成機能 (通常は PLC、つまりプログラマブル・ロジック・コントローラが処理) を含めた制御ループ全体を、コールド・サイドの 1 つの SoC に

統合しています。このアーキテクチャを採用すると、統合を通じていっそうのコスト削減を実現し、複数の SoC 間のインターフェイスに関連する待ち時間を排除することができます。

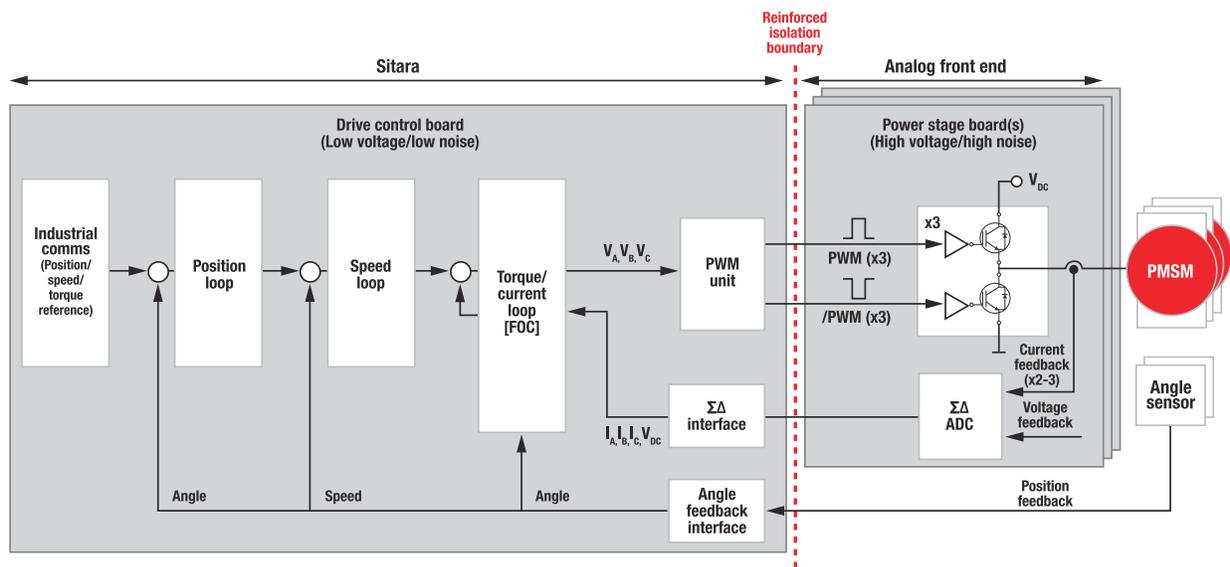


図 4. コールド・サイドのサーボ制御全体を実装するための Sitara プロセッサ/マイコンの使用例

TI (テキサス・インスツルメンツ) のソリューション

Sitara MPU および MCU ファミリーには、スタンドアロンの産業用通信モジュールからフル機能の多軸サーボ・ドライブまで、本稿で説明したすべてのシステム分割のためのすべての機能を処理するための SoC が揃っています。Sitara AMIC プロセッサは PRU-ICSS サブシステムを搭載しており、スタンドアロンのマルチプロトコル産業用通信モジュール向けに最適化済みです。AM64x および AM243x ファミリーは、マルチプロトコル産業用通信、リアルタイム・モーター制御、クラウド・コネクティビティ、その他のインダストリー 4.0 サービスのためのシングルチップ・ソリューションを提供することで、統合を次の段階に進めます。

まとめ

インダストリー 4.0 と共に、サーボ・ドライブの新しい指針とシステム要件が導入されつつある中で、現在と将来のサーボ・ドライブの要求に適したソリューションを設計者が選択することの重要性が増しています。Arm コアを内蔵し、100Mb および 1Gb 産業用ネットワークをサポートする Sitara AM64x MPU および AM243x MCU などのデバイスは、既存のサーボ・ドライブと将来のサーボ・ドライブに対応できます。また、TI は他の Sitara MPU、MCU、C2000™ マイコンを含めた多様な

製品を提供しており、産業用市場のニーズの変化に対応できます。

その他の資料

1. TI のホワイト・ペーパー『[The state of functional safety in Industry 4.0](#)』(英語) をご覧ください。
2. [Sitara AMIC110 のマルチプロトコル産業用通信](#)については、TI のデモをご確認ください。
3. TI のアプリケーション・ノート『[Industrial Communication Protocols Supported on Sitara™ Processors and MCUs](#)』(英語) をご覧ください。
4. [Sitara AM6442 MPU](#) と [Sitara AM2432 MCU](#) をご確認ください。
5. TI のホワイト・ペーパー『[Revolutionizing Performance in Real-Time Control, Networking and Analytics With Sitara™ AM2x MCUs](#)』(英語) をご覧ください。

重要なお知らせ:ここに記載されているテキサス・インスツルメンツ社および子会社の製品およびサービスの購入には、TI の販売に関する標準の使用許諾契約への同意が必要です。お客様には、ご注文の前に、TI 製品とサービスに関する完全な最新情報のご入手をお勧め致します。TI は、アプリケーションに対する援助、お客様のアプリケーションまたは製品の設計、ソフトウェアのパフォーマンス、または特許の侵害に対して一切責任を負いません。ここに記載されている他の会社の製品またはサービスに関する情報は、TI による同意、保証、または承認を意図するものではありません。

Sitara™ and C2000™ are trademarks of Texas Instruments.
Arm® and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited (or its subsidiaries) in the US and/or elsewhere.
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](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる TI 製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。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。

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

郵送先住所 : Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2022, Texas Instruments Incorporated