

Application Note

TI プロセッサおよびマイコン対応の産業用通信プロトコル



Kathryn Kalouf, Christof Vogt, Bharath Kartha

概要

このアプリケーション レポートは、TI のマイコンと Sitara Arm Cortex-A プロセッサ製品ラインアップの各デバイスがサポートしている産業用通信プロトコルおよび Arm® Cortex® と、それらのプロトコルの詳細を入手する場所と方法について説明します。

目次

1 はじめに.....	2
2 通信プロトコル.....	3
2.1 PROFINET.....	3
2.2 EtherCAT.....	4
2.3 EtherNet/IP.....	5
2.4 IO-Link.....	7
2.5 並列冗長性プロトコル (PRP).....	7
2.6 高可用シームレス冗長性 (HSR).....	7
2.7 OPC UA.....	8
2.8 Modbus TCP/IP.....	8
3 サードパーティプロトコルスタックの Sitara 対応.....	9
4 改訂履歴.....	10

図の一覧

図 1-1. パッケージ マーキング (位置 F の文字がフルスタックのサポートを決定).....	2
図 1-2. 統合型産業用通信スタックを使用した実装.....	2
図 3-1. PRU-ICSS とサードパーティーまたはカスタマー スタックを使用したソフトウェアの実装.....	9

表の一覧

表 2-1. サポートされている機能セット.....	3
表 2-2. サポートされている機能セット.....	4
表 2-3. サポートされている機能セット.....	5
表 2-4. サポート機能セット.....	7

商標

Arm® and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited (or its subsidiaries) in the US and/or elsewhere.

PROFINET® and IO-Link® are registered trademarks of PROFIBUS.

EtherCAT® is a registered trademark of Beckhoff Automation GmbH.

EtherNet/IP® is a registered trademark of ODVA, INC.

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

産業用通信は通常、TI のプロセッサとマイコン (MCU) 内にある 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) で処理されます。PRU-ICSS は、プログラマブル リアルタイム (PRU) コアとイーサネット メディア アクセス コントローラ (EMAC) を搭載したコプロセッサ サブシステムであり、ファームウェアを使用して低水準の産業用イーサネットとフィールドバスの各プロトコルを実装しています。プロトコル スタックの上位層は、Arm コア上で動作するソフトウェアに実装されています。このプロトコル ソフトウェア用の 3 つのモデルがサポートされており、TI のフルスタックやサードパーティーのプロトコル スタック、またはお客様ご自身のスタックをご利用いただけます。

PRU コアは主に産業用通信で使用されますが、モーター制御やカスタムインターフェイスなど、その他のアプリケーションにも利用することができます。PRU-ICSS は、デバイス内のメインの Arm コアを、制御やデータ処理などの他の機能のために解放します。

このドキュメントでは、TI が直接サポートする認証済み産業用プロトコルについて説明します。これらのプロトコルは TI が提供しており、評価ボード上で検証および認証済みです。スタックに対応するパーツ番号を使用することが、生産において唯一の要件となります。IND-COMMS-SDK 産業用ツールキットには、AM64x、AM243x、AM261x、AM263x、AM263Px の各デバイスで動作する産業用通信プロトコルのバイナリ バージョンが含まれています。これらのプロトコルを使用すると、AM2432AS F GHAALXR などのパーツ番号で F (下線付きおよびボールド) で指定したフル スタックに対応します。これは、図 1-1 に表示されるのと同様に、デバイス固有のデータシートのフィールド f にも表示されます。評価モジュール、スタータ キット、LaunchPad はすべて、スタックを実現するパーツ番号を使用しています。

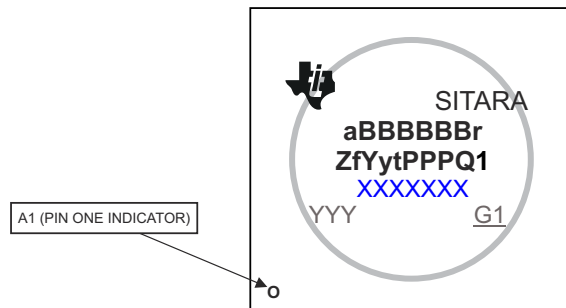


図 1-1. パッケージ マーキング (位置 F の文字がフルスタックのサポートを決定)

PRU-ICSS は柔軟かつ強力で、ほとんどの産業用通信プロトコルを十分にサポートすることができます。現在 TI は、100Mb バージョンのプロトコルとギガビット TSN をサポートしています。AM64x および AM243x ファミリーは、ギガビットの速度の機能をサポートするアップグレードされた PRU-ICSS を搭載しています。CPSW 上で TSN を実行すると、AM261x および AM64x、さらに AM243x でギガビット TSN を使用することができます。TI では、サードパーティー パートナーと協力して、製品提供範囲の拡大に継続的に取り組んでいます。そのため、このドキュメントに特定のプロトコルが明示されていない場合は、E2E を使用して TI にお問い合わせいただくか、お近くの TI 販売代理店にお問い合わせください。

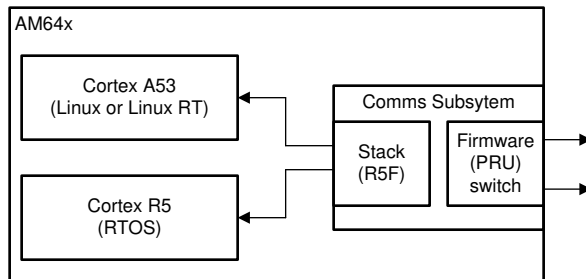


図 1-2. 統合型産業用通信スタックを使用した実装

TI では、TI ファームウェアがサポートするプロトコルに加え、サードパーティスタックによるプロトコル、ならびにサードパーティーパートナーがサポートするその他の複数のプロトコルもサポートしています。AM335x、AM437x、AM57x の各ファミリーは、このサードパーティー モデルをサポートしています。AM64x、AM243x、AM261x、AM263x、AM263Px などの他の

ICSS 対応デバイスの場合、C(f の位置)の文字を除くすべてのパーツ番号でも、サードパーティー モデルがサポートされています。PRU-ICSS 産業用通信をサポートするサードパーティーの包括的なリストについては、[サードパーティー検索ツール](#)をご覧ください。

2 通信プロトコル

2.1 PROFINET

ICSS 対応デバイスは、Siemens ERTEC デバイスタックに基づく PROFINET® RT と IRT デバイスをサポートしています。表 2-1 に、サポートされている機能セットをまとめています。

表 2-1. サポートされている機能セット

機能	概要	関連適合性クラス	サポート
必須機能 CC-A			
リアルタイム サイクリック-クラス 1	非同期リアルタイムサイクリックプロトコル	CC-A、B、C	あり
リアルタイム アサイクリック	リアルタイム アサイクリックプロトコル	CC-A、B、C	あり
デバイス診断/アラーム	診断およびメンテナンス アラーム	CC-A、B、C	あり
デバイス識別 (I&M0)	サポートされている必須の識別レコード	CC-A、B、C	あり
近隣検出	LLDP プロトコル	CC-A、B、C	あり
PROFINET を介したポート関連のネットワーク ステータス	PDEV レコード	CC-A、B、C	あり
オプション機能 CC-A			
拡張識別およびメンテナンス	サポートされている拡張 I&M レコード	CC-A、B、C	I&M1、2、3、4
	拡張 I&M レコードはサポートされていません	CC-A、B、C	I&M5
共有入力	さまざまなコントローラによる入力への複数のアクセス	CC-A、B、C	あり
共有デバイス	デバイス機能の各種コントローラへの分散	CC-A、B、C	あり
スレーブ間通信	IO デバイス間の直接通信	CC-A、B、C	なし
必須機能 CC-B			
ネットワーク診断	SNMP プロトコル	CC-B、C	あり
オプション機能 CC-B			
DCP、PDEV による名前の割り当て	デバイス交換後のデバイスの自動アドレス付与	CC-B、C	あり
実行時の設定 (CiR)	動作中の設定変更	CC-B、C	あり
時刻同期	I/O データのタイム スタンプ	CC-B、C	あり
光ファイバ ケーブルのサポート	POF/HCS 用光ファイバ ケーブル診断	CC-B、C	なし
高速起動	電圧回復後の高速起動によるスイッチング動作	CC-B	あり
メディア冗長性プロトコル	リング冗長性によるより高い可用性	CC-B	あり
システム冗長性 (PA の場合のみ必須)	2 つの I/O コントローラによるシステム冗長性	CC-B	あり
必須機能 CC-C			
IRT 付き PROFINET	500µs 以上の更新レートによる帯域確保	CC-C	あり
IRT 付き PROFINET	250µs の更新レートによる帯域確保	CC-C	進行中
オプション機能 CC-C			
IRT 付き PROFINET	アイソクロナス操作	CC-C	あり
	250µs 未満の更新レート	CC-C	なし
DFP	ライトボロジ向けに最適化された IRT モード	CC-C	なし
双方向伝送 MRPD	調和のとれた冗長性スイッチオーバーによるより高い可用性	CC-C	なし

2.2 EtherCAT

ICSS により、デバイスは EtherCAT® SubDevice をサポートできます。EtherCAT は、パーツ番号全体の中で f の位置にある E または F を使用するもので、ICSS-PRU によりサポートされています。IND-COMMS-SDK 内にある TI EtherCAT サブデバイス スタックは、F のパーツ番号で動作します。パーツ番号 E の場合、ETG EtherCAT サブデバイス スタックは EtherCAT グループ (ETG) メンバーが無償で利用できます。これは[実装ガイド](#)に記載されています。TI EtherCAT サブデバイス スタックでサポートされている機能セットを表 2-2 にまとめています。

表 2-2. サポートされている機能セット

機能	概要	実装
分散クロック	分散クロックを使用することにより、EtherCAT リアルタイム イーサネット プロトコルは、非常に狭い公差範囲内ですべてのローカル バス デバイスの時間を同期させることができます。	あり
オブジェクト ディクショナリ	自由に定義可能であり、制限されるのは利用可能なリソースのみです	あり
CiA 402	このプロファイルにより、サーボドライブ、周波数インバータ、ステッパ モーター用のコントローラの機能動作を標準化します。	あり
メール ボックス キュー	メール ボックス サービスはキューに格納されます。メール ボックス サービスは並行して処理できます。	あり
AoE	ADS over EtherCAT サービスのサポート。	あり
CoE	CANopen over EtherCAT サービスのサポート。	あり
完全なアクセス サポート	SDO サービスを持つオブジェクトのすべてのエントリへのアクセスがサポートされています。	あり
セグメント SDO のサポート	セグメント化された SDO サービスをサポートしています。	あり
SDO 応答インターフェイス	SDO 応答をすぐに生成できない場合は、ABORTIDX_WORKING を返します。	あり
診断サポート	診断メッセージがサポートされています。	あり
緊急サポート	緊急メッセージがサポートされています。	あり
VoE	ベンダー固有の Protocol over EtherCAT サービスのサポート。	なし
SoE	Sercos over EtherCAT サービスのサポート。	なし
EoE	Ethernet over EtherCAT サービスのサポート。	あり
FoE	EtherCAT を介したファイル アクセスのサポート。	あり
OP 状態にはプロセス データが必要です	SafeOP 状態から OP 状態に移行するには、プロセス データが必要です。	あり
明示的なデバイス ID	明示的なデバイス ID リクエストが処理されます。	あり
エラー カウンタ	RX 無効フレーム カウンタ ポート 0/1	あり
	RX ERR カウンタ ポート 0/1	あり
	転送されたエラー カウンタ ポート 0/1	あり
	ECAT 処理ユニット エラー カウンタ	あり
フィールド バス メモリ管理ユニット (FMMU)	内部アドレスマッピングによって論理アドレスを物理アドレスに変換します	4
SYNC (研究開発) マネージャ	EtherCAT マスターとスレーブ デバイスのローカル アプリケーション間における、一貫性のあるセキュアなデータ交換を保証します	4
EtherCat コマンド	NOP、APRD、APWR、APRW、FPRD、FPWR、FPRW、BRD、BWR、BRW、LRD、LWR、LRW、ARMW、FRMW	すべてサポート
プロセス データ	最大入力	1024 バイト
	最高出力	1024 バイト
サイクル時間	フリーラン	31.25µs
	DC モード	50µs

表 2-2. サポートされている機能セット (続き)

機能	概要	実装
分散クロック	精度	64 ビット
	SYNC0	生成シングルショットおよびサイクリックモードのサポート
	SYNC1	SYNC0 サイクル時間の倍数の SYNC1 サイクル時間

2.3 EtherNet/IP

TI は、複数の ICSS 対応デバイス向けに EtherNet/IP® アダプタ設計を提供しています。表 2-3 に、サポートされている機能セットをまとめています。

表 2-3. サポートされている機能セット

機能	概要	実装
EtherNet/IP デバイス クラス	アダプタ	あり
	スキャナ	なし
デバイス プロファイル	汎用デバイス	あり
デバイス設定	EDS ファイル	あり
接続タイプ	独占オーナー	あり
	入力のみ	あり
	リッスン オンリー	あり
接続トリガタイプ	サイクリック	あり (1ms)
	アプリケーションがトリガされました	なし
	状態変更	あり
最大接続数	クラス 1	8
	クラス 3	32
明示的なメッセージング	接続	あり
	未接続	あり
標準オブジェクト	ID オブジェクト (0x01)	あり
	メッセージ ルータ オブジェクト (0x02)	あり
	アセンブリ オブジェクト (0x04)	あり
	接続マネージャーオブジェクト (0x06)	あり
	デバイス レベルのリング オブジェクト (0x47)	あり
	QoS オブジェクト (0x48)	あり
	TCP/IP インタフェース オブジェクト (0xF5)	あり
	イーサネット リンク オブジェクト (0xF6)	あり

表 2-3. サポートされている機能セット (続き)

機能	概要	実装
サポートされている要素データ型	BOOL	あり
	SINT	あり
	INT	あり
	DINT	あり
	LINT	あり
	USINT	あり
	単位	あり
	UDINT	あり
	ULINT	あり
	REAL	あり
	LREAL	あり
	STRING	予定
	バイト	あり
	WORD	あり
	DWORD	あり
	LWORD	あり
	STRING2	予定
	SHORT_STRING	あり
	EPATH	あり
サポートされている構造化データ型	正式配列	あり
IP アドレッシングモード	DHCP	あり
	BOOTP	あり
	静的	あり
VLAN タギング	IEEE802.1Q、3 ビット PCP (8 レベル)	あり
	キュー切り替え	4
統計値	インターフェイスごとにサポートされるメディア カウンタ (デュアル ポート スイッチ)	あり
	インターフェイスごとにサポートされるインターフェイス カウンタ	あり
CIP 同期 (PTP/IEEE1588)	ドライブ プロファイルをサポート: E2E クロック	あり
	UDP 経由の PTP	あり
	トランスペアレントクロックをサポート	あり
	通常クロックをサポート	あり
	シングル ステップ クロックと 2 ステップ クロックをサポート	あり
サポートされているネットワーク機能	デバイス レベル リング (DLR) : ビーコン ベース	あり
	アドレス競合検出 (ACD)	あり
	サービス品質 (QoS)	あり
	CIP リセットサービス	タイプ 0、1、および 2 の識別オブジェクトリセット サービス
デバイス レベル リング (DLR)	ビーコン ベース	あり
	自動設定	あり
	最小ビーコン インターバル	200μs
	最小ビーコン タイムアウト	400μs
ボー レート	100 Mbit/s	あり
	10 Mbit/s	あり

表 2-3. サポートされている機能セット (続き)

機能	概要	実装
二重モード	半	あり
	フル	あり
	オートネゴシエーション	あり
適合性		ODVA CT21

2.4 IO-Link

TI は、複数の ICSS 対応デバイス用に IO-Link® マスターサポートを提供しています。この設計の主な利点は、IO-Link メッセージ処理を PRU サブシステムにオフロードできることです。この設計は、低い CPU 負荷で高性能を実現できます。

表 2-4. サポート機能セット

機能	概要	実装
IO-Link タイプ	IO-Link マスター	あり
IO-Link 標準	IO-Link 仕様 IEC 61131-9 V1.1.4	あり
	IODD V1.1	あり
通信クラス	Com1、Com 2、Com 3 (4.8、38.4、230.4 Kbit/s)	あり
テレグラム タイプ	すべて	あり
IO-Link 最大チャネル数	8	あり
IO-Link スタック	ハードウェア インターフェイス (BSP、HW 制御)	あり
	メッセージ ハンドラ	あり
	アプリケーション レイヤー (オン リクエストのデータ オブジェクト、プロセスデータ オブジェクト)	あり
	システム マネージメント	あり
	データ ストレージ (マスター)	あり
	API を介した標準マスターインターフェイス	あり
	UART を介した標準マスタインターフェイス	あり
	LWIP を介した標準マスターインターフェイス	あり
デバイス設定	IO-Link マスター設定ツール	あり

2.5 並列冗長性プロトコル (PRP)

TI プロセッサは現在、ICSS を使用して 100M と 1G の PRP をサポートしています。AM64x/AM243x は、100M/1G PRP をサポート可能です。また、AM335x/AM473x/AM57x は、100M PRP をサポートする他の ICSS 対応デバイスです。ICSS ベースの設計は、受信時に重複削除をオフロードします。評価ソフトウェアと量産ソフトウェアは、プロセッサ SDK の RTOS バージョン、またはプロセッサ SDK の Linux バージョンから入手できます。

その他の資料:

- <http://www.ti.com/tool/TIDEP0054> (RTOS TI 設計)
- <http://www.ti.com/tool/TIDEP-0103> (Linux TI 設計)

2.6 高可用シームレス冗長性 (HSR)

TI プロセッサは現在、ICSS を使用して 100M と 1G の HSR をサポートしています。AM64x/AM243x バージョンは、100M/1G HSR をサポート可能です。また、AM335x/AM473x/AM57x は、100M HSR をサポートする他の ICSS 対応デバイスです。評価ソフトウェアと量産ソフトウェアは、プロセッサ SDK の RTOS バージョン、またはプロセッサ SDK の Linux バージョンから入手できます。ICSS ベースの設計は、カットスルースイッチングをサポートしており、受信時の重複除去とノードテーブルのメンテナンスの負荷をさらに軽減します。

その他の資料:

- <http://www.ti.com/tool/TIDEP0053> (RTOS TI Design)
- <http://www.ti.com/tool/TIDEP-0096> (Linux TI Design)

2.7 OPC UA

Sitara プロセッサは現在、PRU-ICSS または CPSW を使用する TI のイーサネット MAC を使用して、OPC UA サーバー(デバイスまたはエンド ポイント)をサポートしています。以下は、open62541.org からの オープン ソースの OPC UA サーバースタックへのリンクです。

その他のリソース:

- [TI Design](#)
- open62541.org スタックに関するドキュメント

2.8 Modbus TCP/IP

最新の [IND-COMMS-SDK](#) を使用して、PRU-ICSS を介した AM64x、AM243x、AM261x で Modbus TCP/IP をサポートしています。

3 サードパーティプロトコルスタックの Sitara 対応

TI ファームウェアがサードパーティのスタックでサポートするプロトコルについては、ファームウェアおよびドライバは、IND-COMMS-SDK 上で動作するアドオンパッケージとして、または Linux SDK の一部として統合された形で、TI から入手することができます。このドキュメントの他のセクションにリストされたプロトコルに加えて、PROFIBUS 用のファームウェアも入手することができます。AM335x、AM437x、AM57x 用の以前の TI RTOS ベース プロセッサ SDK リリースでは、プロトコルはアドオン パッケージ [PRU-ICSS 産業用ソフトウェアパッケージ](#) から入手できます。プロトコルスタックは、通常、TI のサードパーティー パートナーから購入できます。図 3-1 では、TI のファームウェアとサードパーティー スタックがサポートするプロトコルに対応する、TI のプロセッサとマイコンで動作する産業用通信の代表的な使用事例が示されています。PRU-ICSS 産業用通信をサポートするサードパーティーの包括的なリストについては、[サードパーティー検索ツール](#)をご覧ください。

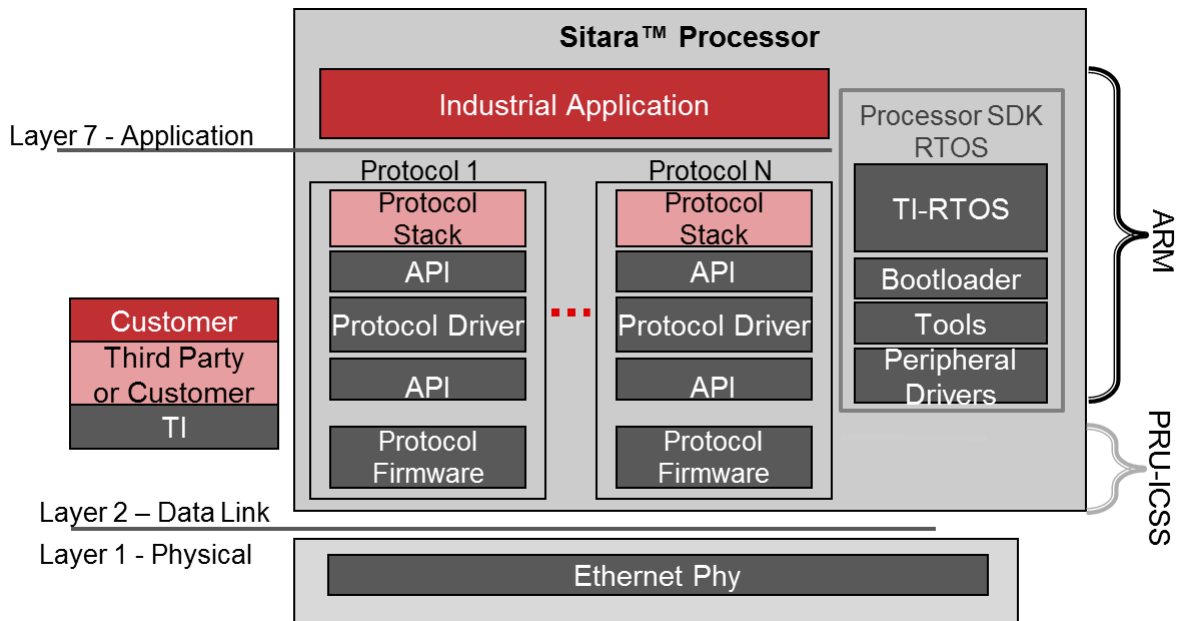


図 3-1. PRU-ICSS とサードパーティーまたはカスタマー スタックを使用したソフトウェアの実装

4 改訂履歴

Changes from Revision E (May 2024) to Revision F (September 2025)	Page
• ドキュメントのタイトルから Sitara を削除.....	1
• ドキュメント全体を通してリンクを更新.....	1
• はじめにセクションにデバイスを追加.....	2
• 追加情報を追加するために表 2-1 を更新.....	3
• 現在の製品ラインアップを反映するように表 2-2 を更新.....	4
• 現在の製品ラインアップを反映するように表 2-2 を更新.....	5
• セクションを更新し、AM243/AM64 1G を追加.....	7
• セクションを更新し、AM243/AM64 1G を追加.....	7

Changes from Revision D (September 2021) to Revision E (May 2024)	Page
• ドキュメント全体にわたって表、図、相互参照の採番方法を更新。.....	2
• はじめにセクションを更新。.....	2

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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、テキサス・インスツルメンツ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 テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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 テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用される テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツ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 © 2025, Texas Instruments Incorporated