

## Application Note

**BQ41xxx 量産開始前キャリブレーション ガイド**

## 概要

このアプリケーション ノートでは、bq41xxx デバイスに関する、メーカー試験、セル電圧キャリブレーション、BAT 電圧キャリブレーション、PACK 電圧キャリブレーション、電流キャリブレーション (CC)、温度キャリブレーションについて詳述しています。

## 目次

1 メーカー試験.....	2
2 キャリブレーション.....	3
2.1 セル電圧キャリブレーション.....	4
2.2 BAT 電圧キャリブレーション.....	5
2.3 PACK 電圧キャリブレーション.....	7
2.4 電流キャリブレーション.....	7
2.5 温度キャリブレーション.....	10
3 参考資料.....	12
4 改訂履歴.....	13

## 商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 1 メーカー試験

メーカー試験の流れを向上させるため、バッテリー残量計デバイスでは **ManufacturerAccess()** コマンドを使用して特定の機能をオンまたはオフに切り替えることができます。例えば、**PRE-CHG FET()**、**CHG FET()**、**DS FET()**、**Lifetime Data Collection()**、**Calibration()** の各機能です。試験対象の機能のみを有効にすると、機能の干渉を回避して量産開始前の試験の流れを簡素化できます。これらの切り替えコマンドでは **RAM** データのみが設定されます。つまり、ゲージにリセットまたはシールが発行されると、これらのコマンドで設定された条件がクリアされます。**ManufacturingStatus()** は各機能のステータス (イネーブルまたはディスエーブル) を追跡します。

データフラッシュ **ManufacturingStatus** には、通常動作における個別の機能を有効または無効にするオプションがあります。リセットまたはシール コマンドが実行されると、**ManufacturingStatus()** がデータフラッシュ **ManufacturingStatus()** から再ロードされます。また、**ManufacturingStatus()** が更新されて機能を有効または無効にした場合、リセットコマンドまたはシール コマンドが送信される時のみゲージが新しい設定を取得します。

## 2 キャリブレーション

デバイスには、電流、電圧、温度の読み取りのキャリブレーションを支援するルーチンが内蔵されており、**ManufacturingStatus()[CAL]** ビットがオンのときに **0xF081** または **0xF082** を **ManufacturerAccess()** に書き込むとアクセスできます。キャリブレーションがアクティブの間、未加工 ADC データは **ManufacturerData()** で利用できます。他の MAC コマンドが送信された場合、またはデバイスがリセットもしくはシールされた場合、デバイスは **ManufacturerData()** によるキャリブレーション データの通知を停止します。

### 注

キャリブレーションが完了した後は、**ManufacturingStatus()[CAL]** ビットをオフにする必要があります。このビットはリセット時またはシール後にクリアされます。

ManufacturerAccess()	説明
0x002D	<b>ManufacturingStatus()</b> [CAL] を有効化/無効化
0xF080	<b>ManufacturerData()</b> の未加工の ADC データ出力を無効化
0xF081	<b>ManufacturerData()</b> で電圧、電流、温度の未加工 ADC データを出力します
0xF082	<b>ManufacturerData()</b> で電圧、電流、温度の未加工 ADC データを出力します。このモードでは、クーロン カウンタ入力 (SRP、SRN) の内部短絡がイネーブルになります。

**ManufacturerData()** 出力の形式は次のとおりです: ZZYYaaAAAbbBBccCCddDDeeEEffFGggGGhhHHiiiJJkkKK

ここで

値	フォーマット	説明
ZZ	バイト	8 ビット カウンタ。未加工 ADC 値をリフレッシュするとインクリメントされます (250ms ごと)
YY	バイト	出力ステータス <b>ManufacturerAccess() = 0xF081:1</b> <b>ManufacturerAccess() = 0xF082:2</b>
AAaa	2 の補数	電流 (クーロン カウンタ)
BBbb	2 の補数	セル電圧 1
CCcc	2 の補数	セル電圧 2
DDdd	2 の補数	セル電圧 3
EEee	2 の補数	セル電圧 4
FFff	2 の補数	PACK 電圧
値	フォーマット	説明
GGgg	2 の補数	BAT 電圧
HHhh	2 の補数	セル電流 1
IIii	2 の補数	セル電流 2
JJjj	2 の補数	セル電流 3
KKkk	2 の補数	セル電流 4

## 2.1 セル電圧キャリブレーション

図 2-1 はセル電圧キャリブレーションを示しています。

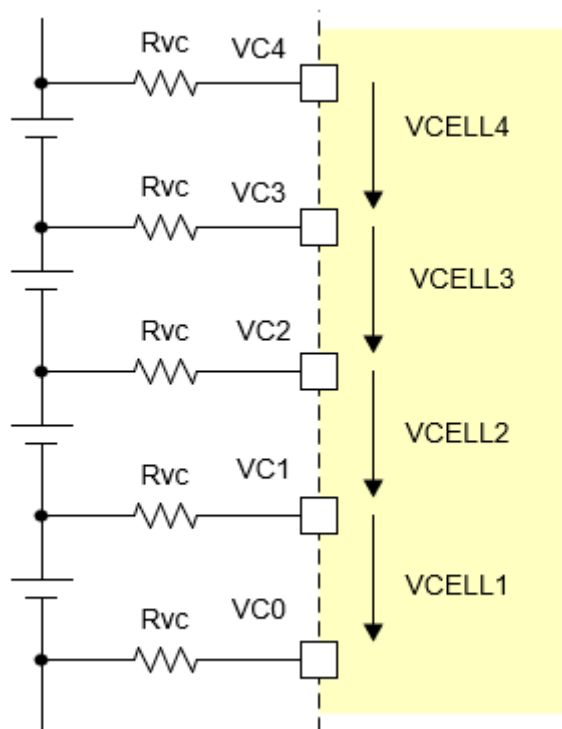


図 2-1. セル電圧キャリブレーション

TI bq41zXXX デバイスには、セル電圧をキャリブレーションするための 2 つのプロセスがあります。これは、グローバルセルゲインキャリブレーションと個別セルゲインキャリブレーションです。グローバルセルゲインキャリブレーションはすべてのセル全体で特異な平均ゲイン値を計算および適用し、個別セルゲインキャリブレーションは各セルに基づいて個別のゲイン値を計算および適用します。

最高の精度を得るため、TI では、セル電圧のキャリブレーションに個別セルゲインキャリブレーションプロセスを使用することを推奨しています。

いずれプロセスでも、最初のステップは同じです：

1. セル電圧入力に mV 単位の既知の電圧を印加します：
  - VC1 ピンと VSS ピン間の  $V_{CELL1}$
  - VC2 ピンと VC1 ピン間の  $V_{CELL2}$
  - VC3 ピンと VC2 ピン間の  $V_{CELL3}$
  - VC4 ピンと VC3 ピン間の  $V_{CELL4}$

### グローバルセルゲインキャリブレーション

1.  $ManufacturerStatus()[CAL] = 0$  の場合は、0x002D を  $ManufacturerAccess()$  に送信して [CAL] フラグを有効にします。
2. 0xF081 または 0xF082 を  $ManufacturerAccess()$  に送信して、 $ManufacturerData()$  の未加工セル電圧出力を有効にします。
3. データの読み取り前に、8 ビットのカウンタ値が 2 でインクリメントされるまで  $ManufacturerData()$  をポーリングします。
4. セル電圧の ADC 変換の読み取りを  $ManufacturerData()$  から読み取ります：

$$ADC_{CELL1} = ManufacturerData() \text{ の } BBbb$$

ADC<sub>CELL1</sub> < 0x8000 ですか? その場合、ADC<sub>CELL1</sub> を使用します。それ以外の場合は、ADC<sub>CELL1</sub> = -(0xFFFF - BBbb + 0x0001) です。

- 精度を高めるために数回の読み取りを平均します。ZZ がインクリメントされて、更新値が利用可能であることを示すまで、*ManufacturerData()* をポーリングします:

$$ADC_{CELL1} = [ADC_{CELL1}(n \text{ を読み取り}) + \dots + ADC_{CELL1}(1 \text{ を読み取り})]/n$$

- すべてのセルを平均して、すべての電圧が平均化されたシングル セル ゲインを作成します:

$$Cell \ Gain = \frac{V_{cell1} + V_{cell2} + V_{cell3} + V_{cell4}}{ADC_{cell1} + ADC_{cell2} + ADC_{cell3} + ADC_{cell4}} \times 2^{16} \quad (1)$$

- 新しいセル ゲインの値をデータ フラッシュに書き込みます。
- 電圧の読み取りを再確認し、正確でない場合は、手順 4~8 を繰り返します。
- すべてのキャリブレーションが完了したら、0x002D を *ManufacturerAccess()* に送信して [CAL] フラグをクリアします。

### 個別セル ゲイン キャリブレーション

- ManufacturerStatus()[CAL] = 0* の場合は、0x002D を *ManufacturerAccess()* に送信して [CAL] フラグを有効にします。
- 各セル接続に印加されている既知の電圧を 16 進数に変換します。
- ManufacturerAccess()* への 0x0341 コマンドを使用して、各セル接続に既知の電圧を 16 進数 (リトル エンディアン) で送信します。入力は次のようにする必要があります: [デバイス アドレス + 開始アドレス + 長さ + 0x0341 コマンド + 印加セル 1 電圧 + 印加セル 2 電圧 + 印加セル 3 電圧 + 印加セル 4 電圧]。使用していないセル、またはキャリブレーション対象でないセルがある場合は、予測される電圧を 0x0000 として入力します。

例: すべての既知のセル電圧が 4000mV (0x0FA0) である 4S パックのキャリブレーション:  
0x0B 0x44 0x0A 0x41 0x03 0xA0 0x0F 0xA0 0x0F 0xA0 0x0F 0xA0 0x0F

- 電圧の読み取りを再確認し、正確でない場合は、手順 1~3 を繰り返します。
- すべてのキャリブレーションが完了したら、0x002D を *ManufacturerAccess()* に送信して [CAL] フラグをクリアします。

## 2.2 BAT 電圧キャリブレーション

図 2-2 は BAT 電圧キャリブレーションを示しています。

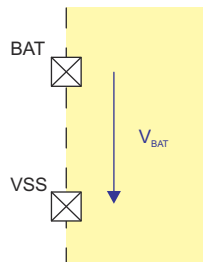


図 2-2. BAT 電圧キャリブレーション

- 電圧入力に mV 単位の既知の電圧を印加します:
  - VC4 ピンと VSS ピン間の VBAT
- ManufacturerStatus()[CAL] = 0* の場合は、0x002D を *ManufacturerAccess()* に送信して [CAL] フラグを有効にします。
- 0xF081 または 0xF082 を *ManufacturerAccess()* に送信して、*ManufacturerData()* の未加工セル電圧出力を有効にします。
- データの読み取り前に、8 ビットのカウンタ値が 2 でインクリメントされるまで *ManufacturerData()* をポーリングします。
- スタック電圧の ADC 変換の読み取りを *ManufacturerData()* から読み取ります:
  - ADC<sub>BAT</sub> = *ManufacturerData()* の GGgg、

6. 精度を高めるために数回の読み取りを平均します。ZZ がインクリメントされて更新値が利用可能であることを示すまで、**ManufacturerData()** をポーリングします:
  - $ADCBAT = [ADCBAT(n \text{ を読み取り}) + \dots + ADCBAT(1 \text{ を読み取り})]/n$
7. ゲイン値を計算します:

$$BAT \text{ Gain} = \frac{V_{BAT}}{ADC_{BAT}} \times 2^{16} \quad (2)$$

8. 新しい BAT ゲインの値をデータ フラッシュに書き込みます。
9. 電圧の読み取りを再確認し、正確でない場合は、手順 4~6 を繰り返します。
10. すべてのキャリブレーションが完了したら、0x002D を **ManufacturerAccess()** に送信して [CAL] フラグをクリアします。

## 2.3 PACK 電圧キャリブレーション

図 2-3 は PACK 電圧キャリブレーションを図示しています。

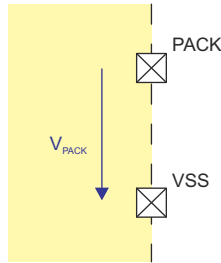


図 2-3. PACK 電圧キャリブレーション

- 電圧入力に mV 単位の既知の電圧を印加します:
  - PACK ピンと VSS ピン間の  $V_{PACK}$
- $ManufacturerStatus()[CAL] = 0$  の場合は、 $0x002D$  を  $ManufacturerAccess()$  に送信して [CAL] フラグを有効にします。
- $0xF081$  または  $0xF082$  を  $ManufacturerAccess()$  に送信して、 $ManufacturerData()$  の未加工セル電圧出力を有効にします。
- データの読み取り前に、8 ビットのカウンタ値が 2 でインクリメントされるまで  $ManufacturerData()$  をポーリングします。
- パック電圧の ADC 変換の読み取りを  $ManufacturerData()$  から読み取ります:
  - $ADC_{PACK} = ManufacturerData()$  の FFff
- 精度を高めるために数回の読み取りを平均します。ZZ がインクリメントされて更新値が利用可能であることを示すまで、 $ManufacturerData()$  をポーリングします:
  - $ADC_{PACK} = [ADC_{PACK}(n \text{ を読み取り}) + \dots + ADC_{PACK}(1 \text{ を読み取り})]/n$
- ゲイン値を計算します:

$$PACK \text{ Gain} = \frac{V_{PACK}}{ADC_{PACK}} \times 2^{16} \quad (3)$$

- 新しい PACK ゲインの値をデータフラッシュに書き込みます。
- 電圧の読み取りを再確認し、正確でない場合は、手順 4~6 を繰り返します。
- すべてのキャリブレーションが完了したら、 $0x002D$  を  $ManufacturerAccess()$  に送信して [CAL] フラグをクリアします。

## 2.4 電流キャリブレーション

図 2-4 は電流キャリブレーションの図を示しています。

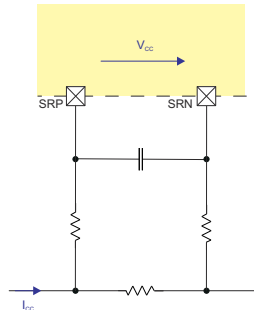


図 2-4. 電流キャリブレーション

### 2.4.1 CC オフセット キャリブレーション

#### 注

このデバイスのハードウェアが改善されたため、CC オフセットのキャリブレーションは必要ありません。電流が存在しないときに電流が観測される場合にのみ、CC オフセットのキャリブレーション手順を実行します。

1. 既知の 0mA の電流を印加して、SRP ピンと SRN ピン間に接続されたセンス抵抗に電流が流れていないことを確認します。
2. CC オフセット キャリブレーション中に最良の結果を得るため、SRN ピンと SRP ピンを外部で短絡します。
3. `ManufacturerStatus()[CAL] = 0` の場合は、0x002D を `ManufacturerAccess()` に送信して [CAL] フラグを有効にします。
4. 0xF081 を `ManufacturerAccess()` に送信して、`ManufacturerData()` の未加工電流出力を有効にします。
5. データの読み取り前に、ZZ が 2 でインクリメントされるまで `ManufacturerData()` をポーリングします。
6. 電流の ADC 変換の読み取りを `ManufacturerData()` から取得します：
  - $ADC_{CC} = \text{ManufacturerData}() \text{ の } AAaa$   
 $ADC_{CC} < 0x8000$  ですか? その場合、 $ADC_{CC}$  を使用します。それ以外の場合は、 $ADC_{CC} = -(0xFFFF - AAaa + 0x0001)$  です。
7. 精度を高めるために数回の読み取りを平均します。ZZ がインクリメントされて更新値が利用可能であることを示すまで、`ManufacturerData()` をポーリングします：
  - $ADC_{CC} = [ADC_{CC}(n \text{ を読み取り}) + \dots + ADC_{CC}(1 \text{ を読み取り})]/n$
8. クーロン カウンタ オフセット サンプルをデータフラッシュから読み取ります。
9. オフセット値を計算します：
  - $CC \text{ オフセット} = ADC_{CC} \times (\text{クーロン カウンタ オフセット サンプル})$
10. 新しい「CC オフセット」の値をデータフラッシュに書き込みます。
11. 電流の読み取りを再確認し、正確でない場合は、手順 1～10 を繰り返します。
12. すべてのキャリブレーションが完了したら、0x002D を `ManufacturerAccess()` に送信して [CAL] フラグをクリアします。

### 2.4.2 ボードオフセット キャリブレーション

#### 注

このデバイスのハードウェアが改善されたため、ボード オフセットのキャリブレーションは必要ありません。ボード オフセット キャリブレーションの手順は、ボード オフセット電流が観測された場合にのみ実行します。

1. まずオフセット キャリブレーションが実行済みであることを確認します。
2. 既知の 0mA の電流を印加して、SRP ピンと SRN ピン間に接続されたセンス抵抗に電流が流れていないことを確認します。
3. `ManufacturerStatus()[CAL] = 0` の場合は、0x002D を `ManufacturerAccess()` に送信して [CAL] フラグを有効にします。
4. 0xF081 を `ManufacturerAccess()` に送信して、`ManufacturerData()` の未加工電流出力を有効にします。
5. データの読み取り前に、ZZ が 2 でインクリメントされるまで `ManufacturerData()` をポーリングします。
6. 電流の ADC 変換の読み取りを `ManufacturerData()` から取得します：
  - $ADC_{CC} = \text{ManufacturerData}() \text{ の } AAaa$   
 $ADC_{CC} < 0x8000$  ですか? その場合、 $ADC_{CC}$  を使用します。それ以外の場合は、 $ADC_{CC} = -(0xFFFF - AAaa + 0x0001)$  です。
7. 精度を高めるために数回の読み取りを平均します。ZZ がインクリメントされて更新値が利用可能であることを示すまで、`ManufacturerData()` をポーリングします：
  - $ADC_{CC} = [ADC_{CC}(n \text{ を読み取り}) + \dots + ADC_{CC}(1 \text{ を読み取り})]/n$
8. クーロン カウンタ オフセット サンプルをデータフラッシュから読み取ります。
9. オフセット値を計算します：

- ボード オフセット =  $(ADC_{CC} - CC \text{ オフセット}) \times \text{クーロン カウンタ オフセット サンプル}$
10. 新しい「ボード オフセット」値をデータ フラッシュに書き込みます。
  11. 電流の読み取りを再確認します。読み取りが正確でない場合は、手順 1～10 を繰り返します。
  12. すべてのキャリブレーションが完了したら、0x002D を *ManufacturerAccess()* に送信して [CAL] フラグをクリアします。

### 2.4.3 CC ゲイン キャリブレーション

1. 既知の電流 (通常は 1A~2A) を印加して、SRP ピンと SRN ピン間に接続されたセンス抵抗に ICC が流れていることを確認します。
2. `ManufacturerStatus()[CAL] = 0` の場合は、0x002D を `ManufacturerAccess()` に送信して [CAL] フラグを有効にします。
3. 0xF081 を `ManufacturerAccess()` に送信して、`ManufacturerData()` の未加工 CC 出力を有効にします。
4. データの読み取り前に、ZZ が 2 でインクリメントされるまで `ManufacturerData()` をポーリングします。
5. 電流の ADC 変換の読み取りを `ManufacturerData()` から読み取ります:

- $ADC_{CC} = \text{ManufacturerData}()$  の AAaa

$ADC_{CC} < 0x8000$  ですか? その場合、 $ADC_{CC}$  を使用します。それ以外の場合は、 $ADC_{CC} = -(0xFFFF - AAaa + 0x0001)$  です。

6. 精度を高めるために数回の読み取りを平均します。ZZ がインクリメントされて更新値が利用可能であることを示すまで、`ManufacturerData()` をポーリングします:

- $ADC_{CC} = [ADC_{CC}(n \text{ を読み取り}) + \dots + ADC_{CC}(1 \text{ を読み取り})]/n$

7. クーロン カウンタ オフセット サンプルをデータフラッシュから読み取ります。
8. ゲイン値を計算します:

$$CC \text{ Gain} = \frac{I_{CC}}{ADC_{CC} - \frac{Board \text{ Offset} + CC \text{ Offset}}{Coulomb \text{ Counter Offset Samples}}} \times 2^{16} \quad (4)$$

9. 新しい CC ゲインと値をデータフラッシュに書き込みます。
10. 電流の読み取りを再確認します。読み取りが正確でない場合は、手順 1~9 を繰り返します。
11. すべてのキャリブレーションが完了したら、0x002D を `ManufacturerAccess()` に送信して [CAL] フラグをクリアします。

#### 注

容量ゲインは BQ41xxx 製品ファミリーで使用されず、使用や変更ができなくなりました。

## 2.5 温度キャリブレーション

図 2-5 は温度キャリブレーションを示しています。

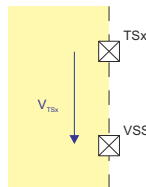


図 2-5. 温度キャリブレーション

### 2.5.1 内部温度センサ キャリブレーション

1. 0.1°C の既知温度を適用し、Temp<sub>TINT</sub> がデバイスに適用されていることを確認します。
2. 内部温度オフセットから TINT offset<sub>old</sub> を読み取ります。
3. `DAStatus2()` から通知された温度を読み取ります:
  - $TINT = \text{DAStatus2}()$  の AAaa.  $TINT > 0$  ですか? その場合、 $TINT = AAaa - 2732$ 。
4. 温度オフセットの計算:

$$TINT \text{ offset} = TEMP_{TINT} - TINT + TINT \text{ offset}_{old} \quad (5)$$

5. 新しい内部温度オフセット値をデータフラッシュに書き込みます。
6. `DAStatus2()` の読み取りを再確認します。読み取りが正確でない場合は、手順 1~5 を繰り返します。

## 2.5.2 TS1–TS2–TS3–TS4 キャリブレーション

1. 0.1°C の既知温度を適用し、TEMP<sub>TSx</sub> が TSx ピンに接続されたサーミスタに適用されていることを確認します。「TSx」とは、TS1、TS2、TS3、または TS4 のいずれか該当するものを指します。
2. TSx offset<sub>old</sub> を外部 x 温度オフセットから読み取ります。ここで、x は 1、2、3、または 4 です。
3. DAStatus2() ブロックから適切な温度を TSx として読み取ります。
4. 次のように温度オフセットを計算します:

$$TSx\ offset = TEMP_{TSx} - TSx + TSx\ offset_{old} \quad (6)$$

ここで、x は 1、2、3、または 4 です。

5. 新しい外部 x 温度オフセット (ここで、x は 1、2、3、または 4) 値をデータフラッシュに書き込みます。
6. DAStatus2() の読み取りを再確認します。読み取りが正確でない場合は、手順 1~5 を繰り返します。

### 3 参考資料

- テキサス インスツルメンツ、『[BQ41Z50 1-シリーズ、2-シリーズ、3-シリーズ、4-シリーズのリチウム イオン バッテリ パック マネージャ](#)』、データシート。
- テキサス インスツルメンツ、『[BQ41Z50 テクニカル リファレンス マニュアル](#)』、テクニカル リファレンス マニュアル。
- テキサス インスツルメンツ、『[BQ41Z50 リチウムイオンバッテリーパックマネージャ評価基板](#)』評価基板ユーザー ガイド。

## 4 改訂履歴

### Changes from Revision \* (July 2024) to Revision A (April 2026)

Page

- 「セル電圧キャリブレーション」セクションの番号 5 の ADCCELL1 の値に「+」符号を追加しました。.....4
- 式 1 から係数「VCELL1」を削除しました。.....4
- 個別セル ゲイン キャリブレーションセクションを追加.....4
- 「BAT 電圧キャリブレーション」セクションのステップ 6 の「...」に「+ J +」を追加しました。.....5

## 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](#)、[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