

*Application Note***PPP を使用したゲートウェイ接続の確立**

Bailey Looper, Schuyler Patton

**概要**

このドキュメントでは、AM62x TI プロセッサに接続されたセルラ モデム上でポイントツー ポイントプロトコル (PPP) を設定し、ゲートウェイを確立する手順について説明します。PPP はデータリンク層の通信プロトコルであり、2 つのネットワークノードまたはエンドポイント間に直接接続を確立します。PPP によって、Linux を実行するプロセッサはモデムを介して IP トラフィックをやり取りできます。この場合、モデムが GSM または LTE ネットワークへのブリッジとして機能します。

**目次**

<b>1 使用事例</b> .....	<b>2</b>
<b>2 プラットフォームと製品</b> .....	<b>2</b>
2.1 ハードウェア.....	2
2.2 ソフトウェア.....	4
<b>3 方法</b> .....	<b>5</b>
<b>4 インターフェイスを起動して接続を確立する手順の概要</b> .....	<b>6</b>
<b>5 トラブルシューティング</b> .....	<b>6</b>
5.1 最初に電源投入と初期化.....	6
5.2 PPP の前のネットワーク確認.....	6
5.3 最初に手動ダイヤルをテストし.....	6
5.4 ダイヤルアップ時のタイミング.....	6
5.5 シリアル通信.....	7
5.6 チャットスクリプト.....	7
5.7 PPP オプション.....	7
5.8 信号強度とアンテナ設定.....	8
5.9 モデムのリセット.....	8
<b>6 まとめ</b> .....	<b>8</b>
<b>7 参考資料</b> .....	<b>10</b>

**商標**

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 1 使用事例

多くのアプリケーションでは、リモートデバイスの通信、監視、または制御を可能にするために、インターネットへの信頼性の高いゲートウェイが必要です。従来の有線接続が利用できない場合や、無線（例：802.11）のカバレッジが不安定な場合に、セルラ モデムは効果的な設計手段を提供します。PPP を利用することで、プロセッサはセルラ モデムをネットワークインターフェイスとしてシームレスに統合できます。

重要なアプリケーションの 1 つは、高密度の都市環境で使用される電気自動車の充電ステーションです。建物の構造は Wi-Fi 信号を減衰させたり遮断したりすることが多く、決済処理やグリッド ネゴシエーションにおける接続性を制限します。イーサネットは原理的には使用可能ですが、有線インフラへの物理的アクセスは、セキュリティ上の懸念やコストによって制限されることがあります。セルラ モデムは魅力的な代替手段となり、インターネットへの安全で専用の経路を提供します。

ビル オートメーションも、セルラ経由の PPP が有用な分野の一つです。多くの設備では、Wi-Fi が届かない施設の奥まった場所でもカバレッジが必要とされます。セルラ接続は、有線バックホール（例：イーサネットや光ファイバー ケーブル）に依存せずに通信を可能にする、信頼性が高く保守しやすい手段を提供します。PPP は、長距離トラック輸送や配送車両が広範な地理的地域で信頼性の高い通信を維持するためにセルラ回線へ依存している交通および物流分野でも広く採用されています。

## 2 プラットフォームと製品

### 2.1 ハードウェア

必要なハードウェアは、プロセッサ、UART または USB 接続を備えた携帯電話モデム、およびコンソール ベースの開発手段です。

この実装は、TI AM625 プロセッサ上で、BeaglePlay シングルボード コンピュータと Quectel BG95 マルチモード LPWA セルラ モジュールを組み合わせて開発されました。ただし、このアプリケーションノートで説明している手順は、プロセッサに依存しないため、Linux を実行する他の TI ARM プロセッサでも使用できます。

プロセッサとモデム間の接続は、UART 通信のための microBUS クリック ヘッダを介して実現されましたが、一般的な設計では USB もサポートされています。ここでは UART が使用されているため、この実装は低ビットレートのアプリケーションに限定されています。有効な Hologram SIM カードがモデムに挿入されました。開発とデバッグは、BeaglePlay に接続された Linux ホストシステム上で実行されました。

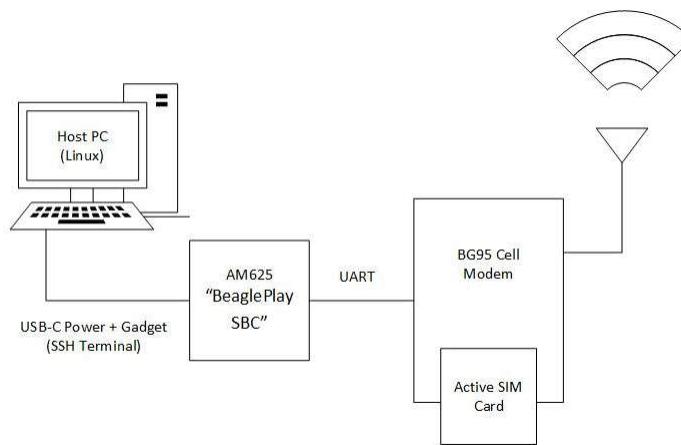


図 2-1. 必要なハードウェア

上記の BeaglePlay とセルラ モデムへの接続だけで、全体の実装を行うことができます。BeaglePlay ボードに電源が入ると、USB Type-C ポートは主電源としてだけでなく USB ガジェットとしても機能し、開発用のアクセス ポイントを提供します。この接続を介して、ホスト PC はボードに対して SSH セッションを確立できます（[Connect WiFi - step 2 ssh debian@192.168.8.1](#) を参照してください）。これにより、追加のインターフェイスを必要とせずに、モデムの設定や PPP 接続の開始を行える便利な環境が整います。

BeaglePlay から BG95 への接続は、mikroBUS クリック ヘッダを利用する場合 UART に限定されますが、多くの場合、プロセッサとモデムの間には USB が使用されます。

以下の追加の設定は、さらにデバッグするために役立ちます。

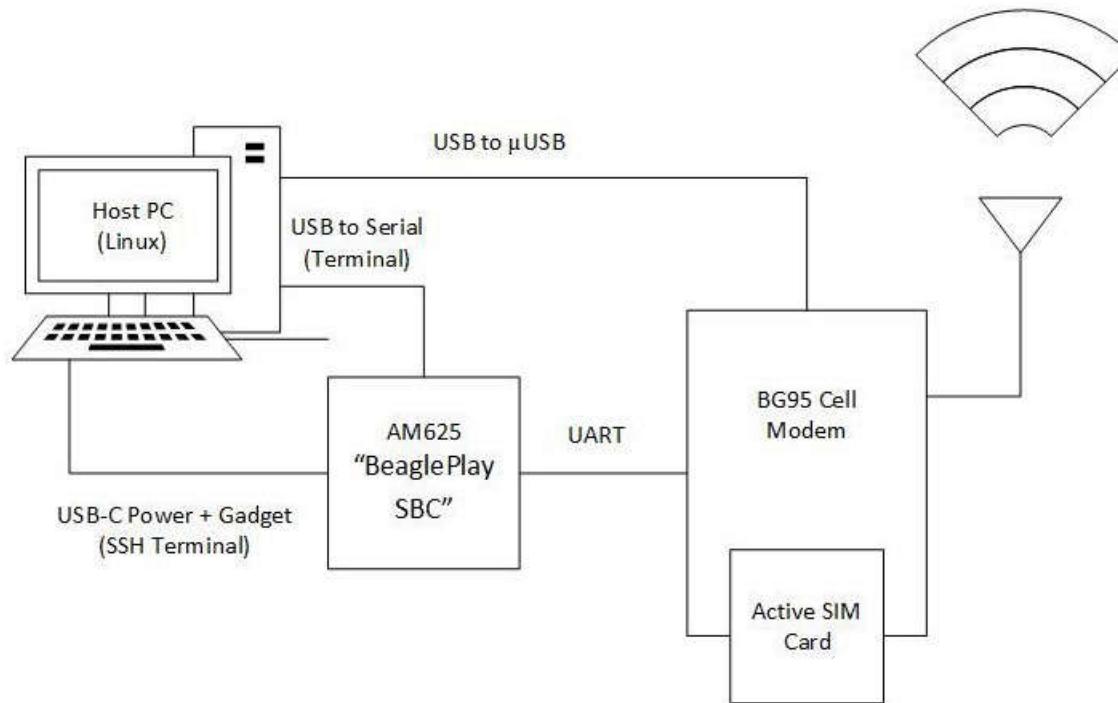


図 2-2. 追加のハードウェア

BeaglePlay とホスト PC 間の UART 接続により、起動時のインタラクティブなブートコンソールやブートログへのアクセスが可能になります。起動が正常に完了すると、同じログは SSH セッションを介して `dmesg` コマンドを使って確認できます。この接続はオプションです。

ホスト PC と BG95 間を USB-to-Micro-USB で接続することで、BeaglePlay を介した通信を試みる前に、モデムの機能を直接確認できます。この接続はオプションです。

## 2.2 ソフトウェア

Application	← Tools (e.g. curl, ping, browser, ICMP)
Socket API	← BSD sockets (used by apps to access TCP/IP) (library)
TCP / UDP Layer	← Manages connections (TCP) or datagrams (UDP)
IP Layer	← IP addressing and routing (usually IPv4)
PPP	← Point-to-Point Protocol: encapsulates IP over serial
Serial Driver	← /dev/ttyS0, /dev/ttyUSB0, etc.
AT Commands	← ATD*99# to dial, AT+CGDCONT for APN, etc.
GSM Modem HW	← Quectel BG95, SIM800, etc.
GSM/LTE Network	← T-Mobile, AT&T, Verizon towers

図 2-3. ネットワーク スタック

ハードウェア接続が確立されると、PPP は Linux ネットワーク スタックとモデム間のブリッジを提供します。PPP デーモン (pppd) は、モデムのシリアルポート上でポイントツー ポイントプロトコル セッションを確立し、管理します。これにより PPP セッションがネゴシエートされ、必要に応じて (CHAP や PAP などの) 認証が実行され、ホスト上に ppp0 ネットワークインターフェイスが設定されます。これには、IP アドレスの割り当て、ルーティングの設定、DNS サーバの設定が含まれ、システムが接続を通じて IP トラフィックを送受信できるようにします。

モデムは AT コマンドを通じて制御され、セルラ ネットワークへの登録とデータ セッションの開始を行います。AT コマンドは業界標準であり、モデムの機能にアクセスするためのテキストベースのインターフェイスを提供します。たとえば、AT + CGDCONT=1, "IP", "<APN>" は目的の APN で PDP コンテキストを設定し、ATD\*99# は実際の接続を開始します。モデムが CONNECT を返すと、PPP セッションがアクティブになり、モデムは透過的なリンク層パイプとして機能し、カプセル化された IP パケットをセルラ ネットワーク上で転送します。

オペレーティングシステムからのデータは、ppp0 ネットワークインターフェイスを経由して流れます。IP パケットは PPP によってカプセル化され、シリアルリンクを介してモデムに送信されます。モデムはこれらのパケットをセルラ データに変換し、GSM または LTE ネットワークと通信して、インターネット全体との間でデータを送受信します。このようにして、PPP セッションはシリアルインターフェイスを介して、ホストの IP レイヤとセルラ ネットワークをブリッジしてモデムに接続します。

### 3 方法

PPP は、リモート ネットワーク アクセスやインターネット接続によく使用されます。このアプリケーションでは、PPP はシリアル ベースの軽量な仕組みを提供し、IP パケットを転送します。

Linux カーネルには、PPP サポートがネイティブに含まれています。PPP デーモン (`pppd`) は PPP 接続を管理します。`pppd` はカーネルの PPP ドライバと連携し、IP アドレスのネゴシエーションや認証処理を含む PPP 接続の確立、維持、設定を行います。

PPP を動作させる前に、モデムをシリアル ポート経由で AT コマンドを用いて設定する必要があります。PPP がダイヤルアップされると、シリアル ポートはプロセッサとネットワーク接続間のデータパスになります。一般的に AT コマンドには次のものがあります：

AT コマンド	説明
AT+CPIN ?	SIM カードのロックが解除され、使用できる状態になっているかどうかを確認します
AT+CEREG ?	携帯電話ネットワーク上のデバイスの登録ステータスを報告します
AT+COPS?	現在選択されているネットワーク オペレータを照会します
AT+CSQ	受信信号強度表示 (RSSI) とビットエラーレート (BER) を返します
AT+CGDCONT ?	APN 設定を含む、定義済みの PDP コンテキストを表示します
ATD*99#	ネットワーク接続を確立するための PPP データコールを開始します
AT+QNWINFO	アクティブな無線アクセス テクノロジ (RAT) および周波数帯域 (Quectel 固有) を報告します

モデムがネットワークに登録されていることが確認され、データ プロファイルがアクティブになつたら、PPP を起動できます。一般的なワークフローとしては、AT コマンドでモデムの状態を確認し、信号強度やネットワーク登録を確認した後、`chat` と `pppd` の両方を呼び出すピア構成ファイルを使用して PPP を開始します。`chat` ユーティリティはダイヤルアップ用の AT コマンドを送信し、`CONNECT` が返されると `pppd` がそのセッションに引き継いで動作します。`chat` スクリプトはダイヤルアップ処理を自動化し、手動でダイヤルした場合に発生するタイミングの問題を回避します。AT コマンドと Quectel モデムおよびそれ以降の使用について詳しい情報は、[Quectel\\_BG95&BG77&BG600L\\_Series\\_AT\\_Commands\\_Manual\\_V2.0](#) を参照してください。

## 4 インターフェイスを起動して接続を確立する手順の概要

ポイントツー ポイント プロトコルを介したゲートウェイ接続の確立手順については、[beagleboard の Web サイト](#)でセル モデムを使用したゲートウェイの確立を参照してください。

Beagleboard の記事には、次のものがあります：

- セルラー モデムの電源を入れる。
- モデムとのシリアル接続を確立する。
- AT コマンド: モデムの設定、信号強度の確認、そしてモデムがネットワークに登録されていることの確認。
- Linux コマンド: モデムのダイヤルアップの自動化、PPP の起動、ネットワーク接続のテスト。

## 5 トラブルシューティング

モデムが期待通りにダイヤルアップやネットワーク接続を行わない場合のデバッグ手順には、次のようなものがあります：

### 5.1 最初に電源投入と初期化

まず、モデムに十分な電力が供給されていること、リセット状態から復帰していること、そして AT コマンドに応答していることを確認します。簡単な確認方法として、AT+CPIN? を実行し、ダイヤルを試みる前に SIM が検出され準備完了であることを確認します。

### 5.2 PPP の前のネットワーク確認

PPP を開始する前に、モデムが十分な信号を受信しており、ネットワークに正しく登録されていることを確認します。

まず AT+CSQ を実行して信号強度を確認します。安定した動作のためには RSSI 値が 15 以上であることを目標にします。信号が弱い場合は、別の物理的な場所に移動するか、アンテナを調整します。詳細については、「アンテナの信号強度」セクションを参照してください。

次に、AT+COPS? と AT+CEREG? とのネットワーク登録を確認します。AT+COPS? が引き続き +COPS を返す場合: 1 ~ 2 分待っても値が 0 のままの場合は、AT + COPS=? を使ってネットワークスキャンを強制してください。ただし、この処理には数分かかることがあります。その間モデムは他の AT コマンドに応答しません。現在の無線アクセス技術 (RAT) と周波数バンドは AT+QNWINFO で確認でき、モデムが想定した技術 (例: LTE Cat-M1) に接続されているかを確認できます。[AT+COPS: を参照してください](#)モード、パラメータ、使用例でオペレータ選択モード、オペレータ、無線アクセス技術 (RAT) に関する情報を参照します。デバイスの登録状態の詳細については、[+CREG vs. +CGREG vs. +CEREG](#) を参照します。

### 5.3 最初に手動ダイヤルをテストし

PPP に依存する前に、ATD\*99# で手動でダイヤルしてみてください。接続が確立されない場合、PPP も成功しません。

### 5.4 ダイヤルアップ時のタイミング

モデム設定から PPP ネゴシエーションに移行するときは、タイミングが重要です。PPP デーモンは、モデムが PPP モードになった直後に接続する必要があります。端末から AT コマンドを手動で発行し、pppd を起動するように切り替えると、競合状態のために失敗することがよくあります。代わりに、チャット スクリプトを使用して設定とダイヤル シーケンスを自動化します。これにより、PPP がシームレスに接続されるようになります。

## 5.5 シリアル通信

UART 経由で通信する際は、**tio** のような端子エミュレータを使用して、コマンドとレスポンスの動作を確認します。**chat** スクリプトで使用するコマンドをデバッグするには、端子を 2 つ開きます。1 つは **cat /dev/ttys0** を実行して受信を監視し、もう 1 つは **echo -e "AT\r" > /dev/ttys0** を実行してコマンドを送信します。この設定により、**pppd** と統合する前にコマンドシーケンスとモデム応答を検証できます。

問題が解決しない場合は、シリアル ポートの設定を再確認します。既知の動作構成は次のとおりです：

```
sudo stty -F /dev/ttys0 115200 cs8 -cstopb -parenb -crtscs
```

設定は、モデムまたはプロセッサによって異なる場合があります。シリアル ポート構成の詳細については、[Linux のマニュアル ページ](#)を参照してください。設定を確認するには、**PPP** を再試行する前に、再起動、再設定、および **cat** と **echo** で再テストします。シリアル構成の詳細については、**stty** のマニュアル ページを参照してください。

一度にシリアル ポートにアクセスできるプログラムは 1 つだけであることに注意してください。**cat /dev/ttys0** や **tio** を **pppd** や **chat** と一緒に実行しないでください。

## 5.6 チャット スクリプト

ピア ファイル内の行

```
connect "/usr/sbin/chat -v -f /etc/ppp/peers/bg95-chat"
```

ダイヤルおよびパケットデータプロトコル (PDP) の設定を処理します。AT コマンドが失敗した場合は、チャット スクリプトを詳しく調べてフォーマットの問題を調べます。

デバッグの際は、スクリプト内で **ECHO ON** を有効にするか、以下のコマンドで **chat** を手動実行し、**pppd** を介さずにやり取りを確認します。

```
chat -v -f script > /dev/ttys0 < /dev/ttys0
```

**chat** スクリプト内の余分な文字や不可視文字が、予期しない失敗の原因となることがあるので注意してください。**UNIX** の行の末尾を使用して、プレーンテキストエディタで編集します。中止条件は厳格であり、一致するアボート文字列が検出されると、スクリプトは即座に停止します。実験中は、スクリプトが途中で終了してしまうのを避けるために、アボート条件をコメントアウトすることを検討してください。

## 5.7 PPP オプション

デバッグと **nodetach** をピア ファイルに追加して、トラブルシューティング中にフル ログを有効にします。動作がスムーズになるように、**usepeerdns** と **defaultroute** を使用して DNS とルーティングを自動的に設定するように PPP を設定します。

使用されていないプロトコルを無効にすることで、ネゴシエーションを効率化でき、遅延が軽減されます。無効にできるプロトコルには、次のものがあります：

- **noipv6**
- **nobsdcomp**
- **nodeflate**
- **novj**

利用可能なオプションの詳細については、[PPP デーモンのドキュメント](#)を参照してください。

## 5.8 信号強度とアンテナ設定

AT+CSQ は、受信信号強度とビットエラー レートを次の形式でレポートします:

+CSQ:<RSSI>, <BER>

RSSI は受信信号強度表示のことと、有効な RSSI 値は 0~31 の範囲にあり、値が大きいほど信号が強いことを示します。値が 99 の場合は、信号がないことを意味します。少なくとも 15 の RSSI を目標にします。BER はビットエラーレートであり、このコンテキストでは通常は無視できます。

モデムの物理的な位置は、信号に大きな影響を与える可能性があります。信号強度が 10 未満のままの場合は、テスト環境をウインドウ近くに移動してみてください。これで信号が改善されない場合は、テスト設定をセルタワーの近くに移動してみてください。

バンドを固定することで、モデムが弱いバンド間を切り替えるのを防ぎ、優先バンドに留まらせることで接続の安定性をさらに向上させることができます。デバイスが現在使用している帯域を確認するには、選択したアクセス テクノロジ、オペレータ、選択した帯域などのネットワーク情報を示す AT+QNWINFO コマンドを実行します。バンドをロックするためのコマンドは次のとおりです:

- バンドにロック: AT+QCFG=BAND, 0, <mask>, 0
  - ロックを元に戻してすべてのバンドを復元するには、次の手順に従います: AT+QCFG=BAND, 0, 0, 0
- 変更後にモデムをリセットします: AT + CFUN = 1, 1

これが失敗した場合は、RAT/ バンドを工場出荷時にリセットし、モデムをフルオートにする方法もあります:

- 自動モード (LTE-M + NB-IoT + GSM フォールバック) : AT+QCFG =nwscanmode, 0, 1
- 次の順序で RAT を試してください →まず Cat-M/LTE-M、その次に GSM、最後に NB-IoT。  
AT+QCFG=nwscanseq, 020301, 1
- CAT-M&NB-IoT のいずれかを自動的に選択: AT+QCFG =iotopmode, 2, 1
- すべてのバンドを有効にする: AT+QCFG=BAND, 0, 0, 0

アンテナが接続されていることを必ず確認してください。RSSI が Low のままの場合は、アンテナの配置と方向を調べます。

## 5.9 モデムのリセット

モデムが一貫してネットワークに登録できなかったり応答しなくなったりする場合、リセットが必要になることがあります。リセットを保証する条件には、以下が含まれます:

- 数分経過しても登録に失敗し、AT + COPS? や AT + CEREG? が成功を示さない場合があります。
- 完全なネットワークスキャンの後でも登録できません (AT + COPS=?).
- AT+CSQ = 99,99 や AT+QNWINFO = No Service が継続的に報告される場合、信号が受信できていないことを示します。
- PPP セッション終了後に AT コマンドへ応答しなくなる場合があります。

以下のリセットオプションがあります:

- AT コマンドリセット: AT + CFUN = 1, 1
- たとえば、GPIO トグルによるハードウェアリセット
  - gpioset --mode=exit \$(gpiofind MIKROBUS\_GPIO1\_12)=0
  - gpioset --mode=exit \$(gpiofind MIKROBUS\_GPIO1\_12)=1

## 6 まとめ

セルラー モデムで PPP を介してゲートウェイ接続を確立することは、有線接続が現実的でない場合に、リモート デバイスをインターネットと通信させるためのシンプルかつ堅牢な方法を提供します。AM625 のような TI プロセッサは、UART または USB を介してモデムと接続でき、Linux の PPP サポートを利用することで、接続が確立するとモデムは標準的なネットワークインターフェイスとして扱われます。

AT コマンドによるモデム初期化と **pppd** によるセッション管理を組み合わせることで、システムは IP ベースのアプリケーションからセルラ ネットワークへの透過的なブリッジを構築します。このアプローチは、電気自動車の充電インフラからビルオートメーションに至るまで、信頼性が高くりモート管理された接続が不可欠な市場で広く適用されています。

## 7 参考資料

1. Beagleboard、[WiFi 接続](#)フォーラム。
2. Quectel、[Quectel\\_BG95&BG77&BG600L\\_Series\\_AT\\_Commands\\_Manual\\_V2.0](#) マニュアル。
3. Beagleboard、[PPP](#) によりセル モデムを使用したネットワーク ゲートウェイの確立 ブログ。
4. Onomondo、[AT+COPS](#): モード、パラメータ、サンプル ブログ。
5. Onomondo、[+CREG と +CGREG の比較](#) +CEREG ブログ。
6. Linux、[stty \(1\)- Linux](#) マニュアルページ、Web ページ。
7. Samba、<https://ppp.samba.org/pppd.html>、Web ページ。

## 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、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](#) 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

## 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、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 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