

Application Note

FPD-Link III および FPD-Link 向けのリモート ウェークアップ モード、スリープ モード、監視モード



Johannes Kargl, Harry Shin

概要

ここ数年、さまざまな車載電子システムで省電力を最大化する要件が増加しています。特に、カメラやレーダー センサを利用する監視システムでは、車両が駐車中の動作時間を最大化するため、消費電力を最小限に抑えることが求められます。そのため、車両が駐車中は、システム コンポーネントの大部分を低消費電力のスリープ モード構成にする必要があります。このアプリケーション ノートでは、監視モード動作時の消費電力を最小限に抑えるために、FPD-Link III および IV を用いたカメラの低消費電力モード動作を実装する方法について、リモート ウェークアップ機能の有効化方法を含めて説明します。

目次

1 FPD-Link の概要.....	2
2 同軸ケーブル経由の電力供給コンセプト.....	3
3 FPD-Link III および FPD-Link IV を用いたスリープ モードおよびリモート ウェークアップに関するシステム検討事項.....	4
3.1 コンパレータ回路による電圧検出.....	4
3.2 スーパーバイザによる電圧検出.....	6
3.3 プログラマブル ロジック デバイスによる電圧の検出.....	6
3.4 逆方向ウェークアップ用の同軸ケーブル経由の電力供給.....	7
4 まとめ.....	9
5 参考資料.....	10

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 FPD-Link の概要

FPD-Link は、複数の業界標準ビデオ プロトコルからのデータを集約し、同軸ケーブルまたはツイスト ペア ケーブルを介して伝送するマルチプロトコル対応の物理層技術です。図 1-1 に示すように、最も一般的な用途は、ビデオ スクリーンや運転支援カメラなどの車載用途におけるデジタル ビデオおよびオーディオの転送です。

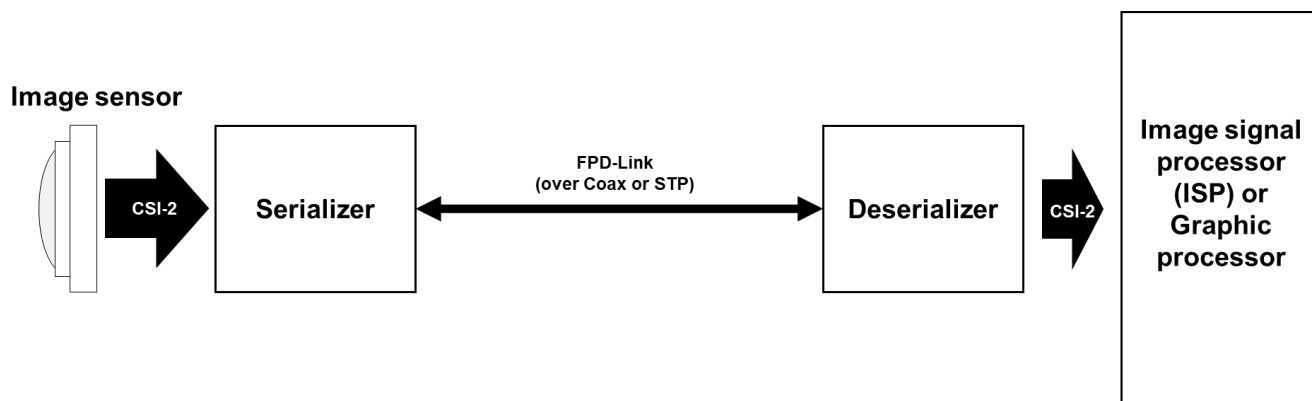


図 1-1. FPD-Link の代表的なアプリケーション

FPD-Link のフォワード チャンネルは、ビデオ、オーディオ、または I2C や GPIO などの制御データを、低レイテンシでエンドポイント デバイスへ送信するために使用されます。低速データは、周波数分割デュプレックスを用いて、デシリアライザからシリアライザへバック チャンネルを介して同時に伝送されます。

2 同軸ケーブル経由の電力供給コンセプト

同軸ケーブル経由電力供給 (PoC) ネットワークは、高速データ信号と、同軸ケーブル上の DC 電源信号を分離します。[図 2-1](#) に、FPD-Link と DC 電源で 1 本の同軸ケーブルを共有する方法の概要を示します。同軸ケーブルの内部導体は DC 電源の電源ラインとして使用され、同軸ケーブルのシールドはグランドに接続され、DC 電源の帰路として使用されます。PoC ネットワークはローパス フィルタとして動作し、FPD-Link の動作周波数帯では高インピーダンスとなることで、DC 電源による高速信号への干渉を最小限に抑えます。

FPD-Link を使用する PoC の詳細については、[FPD-Link ADAS 用同軸ケーブル経由電力供給設計ガイドライン](#)を参照してください。

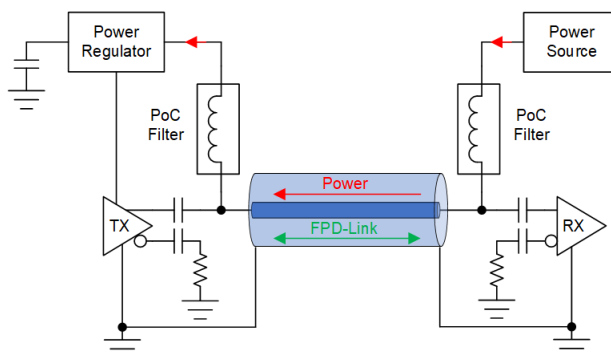


図 2-1. 同軸ケーブル経由電力供給のアプリケーション

3 FPD-Link III および FPD-Link IV を用いたスリープ モードおよびリモート ウェークアップに関するシステム検討事項

FPD-Link III および IV デバイスには、双方向のウェークアップ機能を備えた内蔵スリープ モード機能はありません。そのため、双方向ウェークアップを備えたスリープ モード機能は、システム レベルで実装する必要があります。以下図 3-1 に、FPD-Link III または IV のデバイスを使用するリモート センサ システムに対して、堅牢なスリープ 機能および双方向ウェークアップ機能をコスト効率よく追加する方法の提案を示しています。従来の車載カメラ システム実装と比較した追加のシステム構成要素および考慮事項は、赤色で示されています。

システム レベルの提案は、2 つの機能に基づきます。スリープ モードへの移行および復帰は、PoC 電圧の調整に基づいて行われます。通常動作時には高い PoC 電圧が使用され、スリープ モード動作時には低い PoC 電圧が使用されます。PoC 電圧の調整は、デシリアライザ側 (ADAS やセントラル ECU など) で制御されます。SLEEP モード動作中、デシリアライザの電源を完全にオフにすることで、システムの消費電力を最小限に抑えることができます。シリアライザ側 (例: リモート カメラ) に配置された電圧検出回路により、パワー ダウン ピン (PDB) を介してシリアライザの有効 / 無効を制御し、消費電力を最小化するとともに、ECU からリモート センサへのウェークアップ機能を実現します。

通常モードおよびスリープ モード用の PoC 電圧レベルは、電源経路の DC 抵抗による電圧降下や、電圧検出および PoC 電圧制御の精度を考慮して慎重に選定する必要があります。システム要件に応じて、スリープ モード時の PoC 電圧は、シリアライザ 側で他のデバイス (例: 低消費電力の動体 / 人物検出モードで動作するイメージ センサ) に電力を供給する PMIC が低電圧ロックアウト (UVLO) に入らないよう、十分に高い値に設定する必要があります。一例として、通常モード時の PoC 電圧は 12V、スリープ モード動作時は 7 ~ 8V に設定することができます。

動きや人間検出機能を備えたカメラなど、高度なシステム機能を実現するには、シリアライザ側からデシリアライザ側へのウェークアップを実装する必要があります。この機能は、スリープ モード中に個々のカメラ チャネルの PoC 電流を監視することで実現可能です。リモート接続されたセンサのいずれかがアクティブ状態に移行すると、ECU 側で消費電力の増加が検出され、システムのウェークアップを開始することができます。スリープ モードのまま待機している他のリモート センサは、PoC 電圧を通常モード レベルまで引き上げることで有効化されます。

以下のセクションでは、双方向ウェークアップ機能のための検出回路の実装例を示します。最初の 3 つのオプションでは、ECU 側からのウェークアップを実現するために、カメラ側で電圧検出回路を実装する方法を示しています。4 つ目のオプションでは、リモート センサ (カメラ) によって開始される逆方向ウェークアップ シナリオにおいて、ECU 側での電流検出の実装方法を示しています。

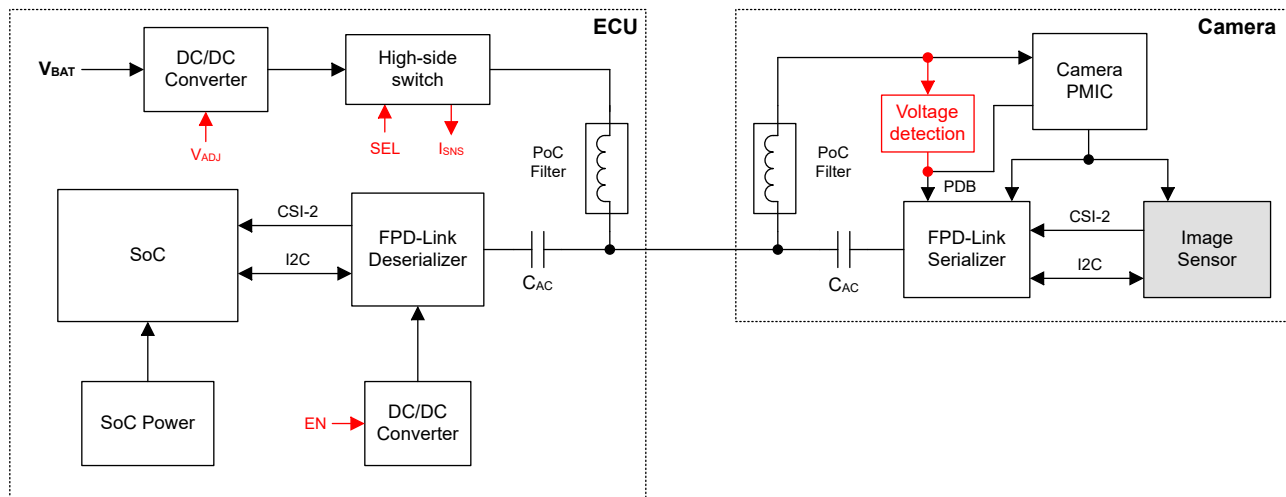


図 3-1. システム レベルのブロック図

3.1 コンパレータ回路による電圧検出

シリアライザ側に PoC 電圧検出を実装する最初のオプションは、図 3-2 に示すように抵抗デバイダを持つコンパレータ回路を使用することです。このオプションは最も容易でコスト効率の高いアプローチですが、部品の許容誤差の影響により、システム レベルでより多くの検討が必要となります。外部分圧抵抗を使用して、スリープ モードと通常モードを切り換え

るためのスレッショルド電圧を設定します。電圧レギュレータの出力レール (例: 1.8V) は、コンパレータの基準電圧として使用します。PoC 電圧がスレッショルドを下回ると、コンパレータの出力は Low になり、システム スリープ モードに対してシリアルライザはパワーダウンされます。この方法では、外付け抵抗デバイダに許容誤差 1% の抵抗を推奨します。

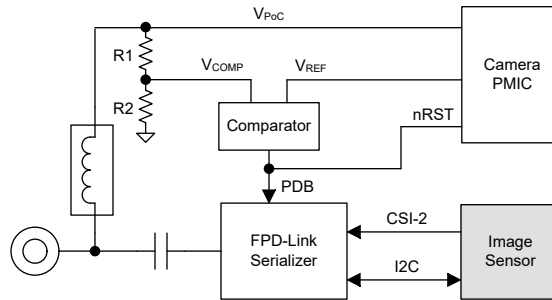


図 3-2. コンパレータによる電圧検出

以下の例は、表 3-1 に示すように、特定の構成において、スリープモードおよび通常モードのコンパレータ入力の電圧レベルを推定する方法を示しています。

抵抗の許容誤差、PoC 電圧、基準電圧、ならびに PoC フィルタ ネットワークおよび同軸ケーブルの IR ドロップに応じて、システム設計者は最悪条件を想定した上で、スリープ モードと通常モードが正しく検出されることを確保する必要があります。

表 3-1. アプリケーション例の設計パラメータ

パラメータ	条件	最小値	標準値	最大値	単位
V _{PoC (norm)}	PoC 電圧通常モード	8.55	9	9.45	V
V _{PoC (sleep)}	PoC 電圧スリープ モード	4.75	5	5.25	V
R1	抵抗のハイサイド	68.31	69	69.69	kΩ
R2	抵抗のローサイド	26.73	27	27.27	kΩ
V _{REF}	リファレンス電圧	1.71	1.8	1.89	V
V _{IR (norm)}	同軸パス上での IR ドロップ	I _{PoC (norm)} × R _{DC (max)}	500		mV
V _{IR (sleep)}	同軸パス上での IR ドロップ	I _{PoC (sleep)} × R _{DC (max)}	40		mV

コンパレータの入力電圧は、以下の式で算出できます。

$$V_{\text{comp}} = \frac{(V_{\text{PoC}} - V_{\text{IR}}) \times R2}{(R1 + R2)} \quad (1)$$

上記の例では、最悪条件における通常モード時のコンパレータ入力電圧は次のようになります：

$$V_{\text{comp(norm, min)}} = \frac{(V_{\text{PoC(norm, min)}} - V_{\text{IR(norm)}}) \times R2(\text{min})}{R1(\text{max}) + R2(\text{min})} = \frac{(8.55\text{V} - 0.5\text{V}) \times 26.73\text{k}\Omega}{69.69\text{k}\Omega + 26.73\text{k}\Omega} = 2.231\text{V} \quad (2)$$

スリープ モードについては、最悪条件を式 3 により算出できます。

$$V_{\text{comp(sleep, max)}} = \frac{(V_{\text{PoC(sleep, max)}} - V_{\text{IR(sleep)}}) \times R2(\text{max})}{R1(\text{min}) + R2(\text{max})} = \frac{(5.25\text{V} - 0.04\text{V}) \times 27.27\text{k}\Omega}{(68.31\text{k}\Omega + 27.27\text{k}\Omega)} = 1.486\text{V} \quad (3)$$

算出された値から、基準電圧範囲に対して少なくとも 200mV の十分なマージンがあることが分かります。

考慮すべき他のシステム パラメータとしては、コンパレータのオフセット電圧およびオフセット電圧ドリフトがあります。ただし、これらの値は通常低 mV の範囲なので、無視できます。

電圧過渡に対する堅牢性を確保するため、コンパレータの入力に小さなコンデンサを追加できます。

TI は、低静止電流かつ低入力オフセット電圧を特長とする **LM393LV-Q1** など、本ソリューションに適した各種コンパレータを提供しています。

3.2 スーパーバイザによる電圧検出

電圧検出回路を実装する別のオプションは、電圧スーパーバイザを使用しています。前述の方式と比較して、このアプローチでは外付けの抵抗デバイダが不要となるため、より高い精度が得られます。図 3-3 に示すように、電圧スーパーバイザは PoC 電圧レールに直接接続します。

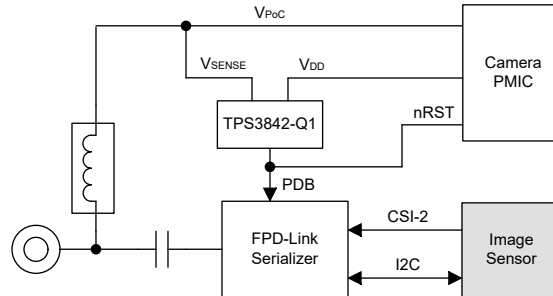


図 3-3. スーパーバイザによる電圧検出

電圧スーパーバイザは、内部電圧リファレンスおよび選択可能な内部スレッシュホールド電圧を使用します。

次の例は、表 3-2 に従って、特定の構成において、通常モードおよびスリープ モードについてスーパーバイザの入力で想定される電圧範囲を示しています。

表 3-2. スーパーバイザの設計パラメータ例

パラメータ	条件	最小値	標準値	最大値	単位
V _{PoC (norm)}	PoC 電圧通常モード	8.55	9	9.45	V
V _{PoC (sleep)}	PoC 電圧スリープ モード	4.75	5	5.25	V
V _{THR}	スレッシュホールド電圧	6.40	6.5	6.60	V
V _{IR (norm)}	同軸パス上での IR ドロップ	I _{PoC (norm)} × R _{DC (max)}	500		mV
V _{IR (sleep)}	同軸パス上での IR ドロップ	I _{PoC (sleep)} × R _{DC (max)}	40		mV

スーパーバイザの入力電圧は、以下の式 4 により算出できます。

$$V_{SVS} = V_{PoC} - V_{IR} \quad (4)$$

上記の例では、最悪条件における通常モード時のスーパーバイザ入力電圧は次のようになります：

$$V_{SVS(norm, min)} = V_{PoC(norm, min)} - V_{IR(norm)} = 8.55V - 0.5V = 8.05V \quad (5)$$

スリープ モードについては、最悪条件を式 6 により算出できます。

$$V_{SVS(sleep, max)} = V_{PoC(sleep, max)} - V_{IR(sleep)} = 5.25V - 0.04V = 5.21V \quad (6)$$

スレッシュホールド電圧範囲が 6.4 ~ 6.6 V であることを考慮すると、電圧スーパーバイザ方式は、外付け抵抗デバイダを用いたコンパレータ方式と比較して、はるかに大きなマージンを確保できます。

このオプションに適したスーパーバイザ デバイスは **TPS3842-Q1** です。このデバイスは高精度、ヒステリシスが組み込まれ、プログラム可能なセンス遅延があるため、電圧過渡に対して堅牢であり、PoC 電圧の変動がより大きくなります。

3.3 プログラマブル ロジック デバイスによる電圧の検出

前述の 2 つのオプションは、通常モード中に PoC 電圧がスレッシュホールド電圧を下回った状態が長時間続く条件に対しては、十分なロバスト性を備えていません。これにより、図 3-4 の図に示すように、PDB ピン経由でシリアルライザのパワー ダウンが発生します。

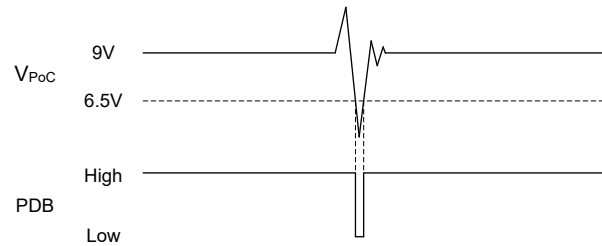


図 3-4. 過渡イベント時の PDB 出力

シリアルライザ側で電圧検出回路を実装する 3 つ目のオプションとして、プログラマブル ロジック デバイスを使用する方法があります。これにより、通常モード動作中にスリープ モードが意図せず有効化されることを防ぐため、設計者がカスタム構成を選択できます。表 3-3 に、プログラマブル ロジック デバイスを使用した電圧検出機能の構成例の機能表を示します。

表 3-3. プログラマブル ロジック デバイスの機能表

入力		出力
IN_1	IN_2	PDB
Low	$V_{IN_2} < V_{THR}$	Low
High	$V_{IN_2} < V_{THR}$	High
Low	$V_{IN_2} > V_{THR}$	High
High	$V_{IN_2} > V_{THR}$	High

この例では、IN_1 ピンはスリープモード制御用イネーブル入力として機能します。IN_1 ピンの入力がロジック Low で、かつ IN_2 ピンの電圧が設定されたスレッシュホルドを下回る場合、シリアルライザの PDB ピンに接続された出力ピンは Low に設定され、シリアルライザがパワー ダウンされます。これにより、通常モード動作中に PoC 電圧が設定された電圧スレッシュホルドを下回った場合でも、意図しないスリープ モードの有効化を防ぐことができます。図 3-5 に、上記の構成例でのプログラマブル ロジック デバイスの実装を示します。IN_1 入力は PMIC の GPIO に接続されており、リモートのホスト ECU から I2C 経由で制御されます。システム アーキテクチャによっては、コイメージ センサの GPIO ピンとすることも可能です。

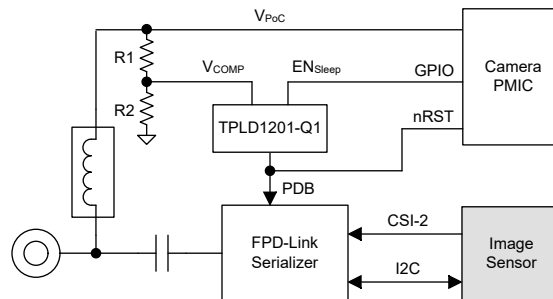


図 3-5. プログラマブル ロジック デバイスによる電圧の検出

TI は、コンパレータ、LUT、カウンタ、発振器を内蔵した TPLD1201-Q1 などの電圧検出機能に適した多様なプログラマブル ロジック デバイスを提供しています。

3.4 逆方向ウェークアップ用の同軸ケーブル経由の電力供給

センサ側から ECU 側へのウェークアップが必要となる高度なシステムでは、追加のシステム レベルでの検討が求められます。図 3-6 に、センサから ECU 側にウェークアップ機能をコスト効率の優れた方法を示します。

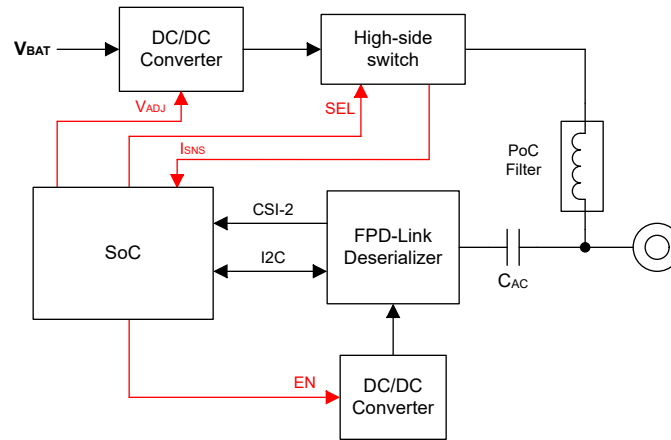


図 3-6. 逆ウェークアップの電流検出

スリープ モード中、マイコン/ SoC はハイサイド スイッチまたはカメラ プロテクタ スイッチを介して、各カメラ チャンネルの電源電流を監視しています。電流監視は、ハイサイド スイッチがアナログの電流検出出力を備えている場合は SoC 内の ADC チャンネルを用いて行うか、あるいはハイサイド スイッチに電流監視用の ADC が内蔵されている場合は I2C 経由で行うことができます。スリープ モードが有効な状態で、SoC がいずれかのチャンネルの供給電流が定義されたスレッショルドを超えて増加していることを検出すると、SoC はこれをリモート センサからのウェークアップ要求として解釈します。その後、システムの残りの部分は通常モードへ移行し、PoC 電圧を引き上げて、まだスリープ モードにある残りのリモート センサ (シリアルライザ) をウェークアップします。スリープ モードで使用される低い PoC 電圧と相まって、ウェークアップ検出の電流検出精度も低い可能性があります。ウェークアップを目的として電流消費を増加させるため、センサ側にはいくつかのオプションがあります。例えば、一時的にのみ有効化されるダミー負荷を使用する方法や、シリアルライザなど消費電力を増加させる他のデバイスを有効化する方法です。本方式による逆方向ウェークアップは、多くのカメラ システムに既存のデバイスを利用できるため、コスト効率の高い実装を実現します。

4 まとめ

車載分野におけるカメラ監視機能の需要拡大に伴い、車両が駐車中のシステム消費電力を低減し、監視モードの動作時間を最大化するためのソリューションが求められています。このアプリケーション ノートでは、**FPD-Link** カメラ システムにおいて、システム レベルで低消費電力モードを実装するためのコンセプトおよびさまざまなオプションを紹介します。これには、電圧変動、過渡、部品の許容誤差などのシステム レベルの検討事項に加え、車載カメラ システムの監視モードで最小消費電力の動作を実装するのに適したデバイスも含まれます。

5 参考資料

- テキサス インスツルメンツ、[TL331LV](#)、[TL391LV](#)、[LM393LV](#) および [LM339LV](#) 低電圧、レール ツー レール入力コンパレータ データシート (Rev. D)
- テキサス インスツルメンツ、[TPS3842-Q1](#) 車載用、42V 小型、850nA 低電圧または過電圧スーパーバイザ、プログラマブル遅延およびグリッチ除去機能付きデータシート (Rev. B)
- テキサス インスツルメンツ、[TPLD1201-Q1](#) 8 つの GPIO を備えた車載用プログラマブル ロジック デバイス データシート
- [FPD-Link ADAS](#) 同軸ケーブル経由電力供給の設計ガイドライン
- テキサス インスツルメンツ、[DS90UB9702-Q1](#)、8MP+ カメラおよびその他のセンサ向けの D-PHY CSI-2 出力ポートを搭載した車載用 FPD-Link IV デシリアライザ ハブ データシート
- テキサス インスツルメンツ、[DS90UB960-Q1](#)、デュアル MIPI CSI-2 ポートを備えた 4.16 Gbps FPD-Link III クアッド デシリアライザ ハブ データシート (Rev. D)
- テキサス インスツルメンツ、[DS90UB971-Q1](#)、8MP+ カメラ、レーダーおよびその他センサ向けの CSI-2 インターフェイスを備えた 7.55 Gbps FPD-Link IV シリアライザ データシート (Rev. A)
- テキサス インスツルメンツ、[DS90UB953-Q1](#)、2.3MP/60fps カメラ、レーダーおよびその他センサ向けの CSI-2 インターフェイスを備えた 4.16 Gbps FPD-Link III シリアライザ データシート (Rev. E)

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みいかなる保証も、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、TI は一切の責任を拒否します。

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 © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月