参考資料

Application Note

標準イーサネットからシングル ペア イーサネットへの移行ガイド

Gregory Kobyakov

概要

ロボット分野では、カメラ、センサ、モーターから取得した膨大なデータを効率的に収集し、処理する必要があります。イーサネットは、センサ、モーター コントローラ、ロボット コントローラの間でリアルタイム通信を行うためのインターフェイスを提供します。より効率的で機動性の高いロボットに対する需要が高まっている中、部品のサイズと重量の最適化が求められています。この最適化を実現するための方法として、ロボットの通信インターフェイスを標準イーサネットからシングル ペア イーサネット (SPE) に切り替えることが、ますます一般的な選択肢になっています。SPE に使用するケーブルはより小型で軽量であるため、より柔軟でコンパクトなロボット設計が可能です。軽量化は、ロボットの動作に必要な消費電力の低減にもつながります。この手法は、システム性能の最大化を検討している、ロボット以外の多くの分野にも適用できます。このアプリケーション ノートは、標準イーサネットから SPE に設計を切り替える際の主な検討事項に関するガイドとして活用できます。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

1 概要

標準イーサネットから SPE への移行は、システム実装、PHY レベルの違い、およびリアルタイム信号伝送プロトコルの選択というカテゴリに分けられます。このアプリケーション ノートでは、これらの検討事項について説明し、両方のタイプのイーサネット アプリケーションを比較します。

テキサス インスツルメンツは、標準イーサネットと SPE の両方のアプリケーションを対象として、さまざまなイーサネット PHY トランシーバを提供しています。ロールオーバの検討事項の例として、このドキュメントでは DP83826A 標準イーサネット PHY と DP83TC813-Q1 SPE PHY について説明します。DP83826A PHY は、低レイテンシ、低消費電力で、10BASE-Te および 100BASE-TX イーサネット プロトコルをサポートしています。DP83TC813-Q1 は、IEEE802.3bw と Open Alliance に準拠した 100BASE-T1 PHY です。

2 標準実装とシングル ペア実装の比較

標準イーサネット PHY とシングル ペア イーサネット PHY の両方が、メディア非依存インターフェイスを経由してプロセッサに接続され、メディア依存インターフェイス (MDI) を経由してリンク パートナー PHY に接続されます。デバイス間の主な違いは、MDI 接続の実装です。標準イーサネットでは、データ送信に最大 4 対の差動ワイヤを使用します。10Mbps (10BASE-TX) および 100Mbps (100BASE-TX) イーサネットの場合、2 対のみが使用されます。図 2-1 にこの例を示します。1Gbps (1000BASE-T) 標準イーサネットの場合、4 対のすべてが使用されます。コネクタからの DC 絶縁、EMC イベントからの保護、インピーダンス整合のために、PHY とコネクタの間にトランスを配置します。

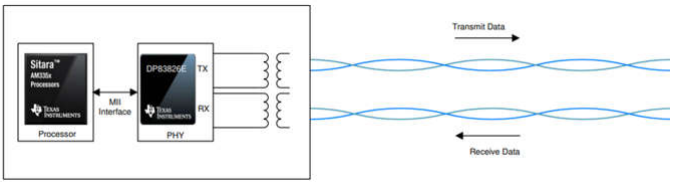


図 2-1. 標準イーサネット PHY の実装

シングル ペア イーサネットでは、MDI に使用するのは 1 対のワイヤのみであり、トランスは必要ありません。この実装を図 2-2 に示します。

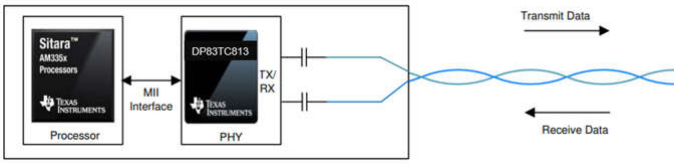


図 2-2. シングル ペア イーサネット PHY の実装

シングル ペア イーサネット PHY の実装では、MDI で追加の部品も使用します。同相モード チョーク (CMC) は、PHY レシーバへの悪影響を防止し、放射エミッションを低減するために、同相モード ノイズをフィルタリングします。DC 絶縁には 2 つのコンデンサを使用します。これにより、トランスを使用する標準イーサネットの実装に比べて、小型化が可能となります。標準イーサネットの場合とシングル ペア イーサネットの場合の PHY 接続全体の比較を、図 2-3 に示します。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

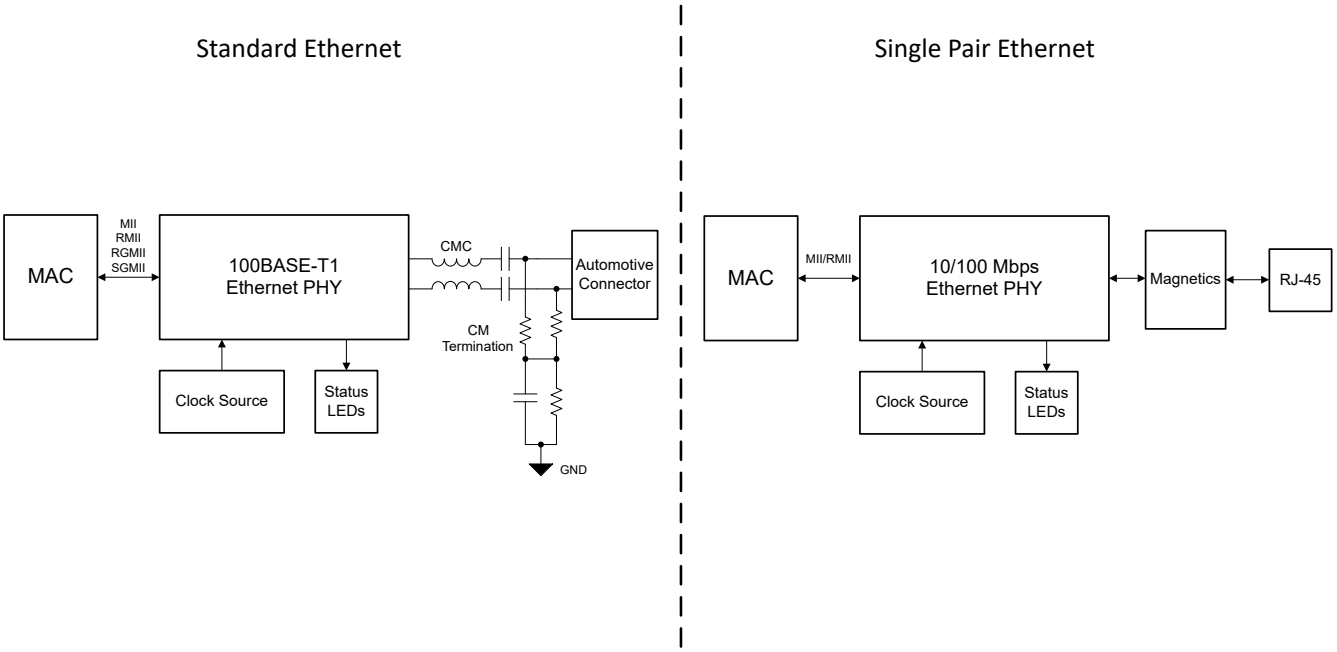


図 2-3. 標準 PHY と SPE PHY の実装の比較

トポロジ、ケーブルとコネクタの種類、サンプル アプリケーションを含めた、標準イーサネットと SPE の全体的な概要を、IEEE802.3 規格に従って図 2-4 に示します。

IEEE802.3 | Key Types of Ethernet PHYs

*TI expected performance

	Standard ENET			Single Twisted Pair ENET			
Cable type	2+ twisted pairs / 4+ wires (10/100M, 1GbE)			1 twisted pair / 2 wires			
Description	10BASE-T	100BASE-TX 100BASE-FX	1000BASE-T 1000BASE-X	10BASE-T1S	10BASE-T1L	100BASE-T1	1000BASE-T1
Hero Parts	DP83822 (FX), DP83826A (TX)		DP83867/9	DP83TD5x5-Q1	DP83TD510	DP83TC813/5-Q1	DP83TG720/1-Q1
Maximum Bandwidth (Mb/s)	10M	100M	1000M	10M		100M	1000M
Standard Cable Reach (m/link)	100m / *150m			25m / *100m	1km / *2km	15m / *40m	40m
Node count support				8 / *32			
Point-to-point, Line, Ring, Star, Extended Star	✓						
Multidrop				✓			
Data Transfer	Full-duplex or Half-Duplex			Half-Duplex	Full-duplex		
Industrial Protocols	EtherCAT		*EtherCAT G				
	Profinet						
Sending Power over Ethernet	Power over Ethernet (PoE)			Multidrop Power over Ethernet (MPoE)	Power over Data Line (PoDL)		
IEEE 1588			*1588v2 Timestamp			*802.1AS Timestamp & sync	
Cable / Connectors	Cat 7, Cat 6, Cat 5e, RJ-45, SMF, SFP			Rosenberger	Type A/ Type B Automotive Cables, Leoni Dacar547/647	Rosenberger, BM04B-GHS-TBT, MATEnet	
Application Requirements	Real-time, deterministic, lowest latency			Multidrop	1km reach	Small space, lightweight	
Applications	Industrial automation | Energy infrastructure Robotics | Building Automation | Data Center			Automotive HVAC Robotics	Building & process automation	Automotive Robotics Industrial Automation	

TEXAS INSTRUMENTS

図 2-4. IEEE イーサネット規格

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

3 PHY の主な違い

標準イーサネット設計からシングル ペア イーサネット設計に移行する場合、PHY レベルの違いをいくつか考慮する必要があります。主に、サイズや消費電力などの要素を検討する必要があります。さらに、標準 PHY と SPE PHY は多くの場合、動作温度範囲が異なります。次の表では、これらのパラメータを定義するとともに、標準イーサネット PHY とシングル ペア イーサネット PHY の間で、各パラメータにどのような違いがあるかを示しています。

表 3-1. PHY レベルの違い

パラメータ	標準イーサネット DP83826A	シングル ペア イーサネット DP83TC813-Q1
データ レート	10/100Mbps	100Mbps
IC サイズ	5x5mm	5x4mm
消費電力	160mW 未満	230mW 未満
動作温度	DP82826AE：-40°C ～ +105°C DP82826AI：-40°C ～ +85°C	–40°C ～ +125°C
EMC	ESD 直接接触：±9kV クラス A	ESD 直接接触：±8kV
レイテンシ (TX + RX)	210ns	724ns

IC サイズに加えて、PHY の実装に必要な基板面積も考慮することが重要です。この比較のために、以下に DP83826A 評価基板と DP83TC813-Q1 評価基板 の PCB のレイアウト図をそれぞれ示します。これはサンプル アプリケーションで使用される基板面積の一例ですが、標準イーサネットよりも SPE の方が必要な基板面積が少ないという一般的な傾向を示しています。

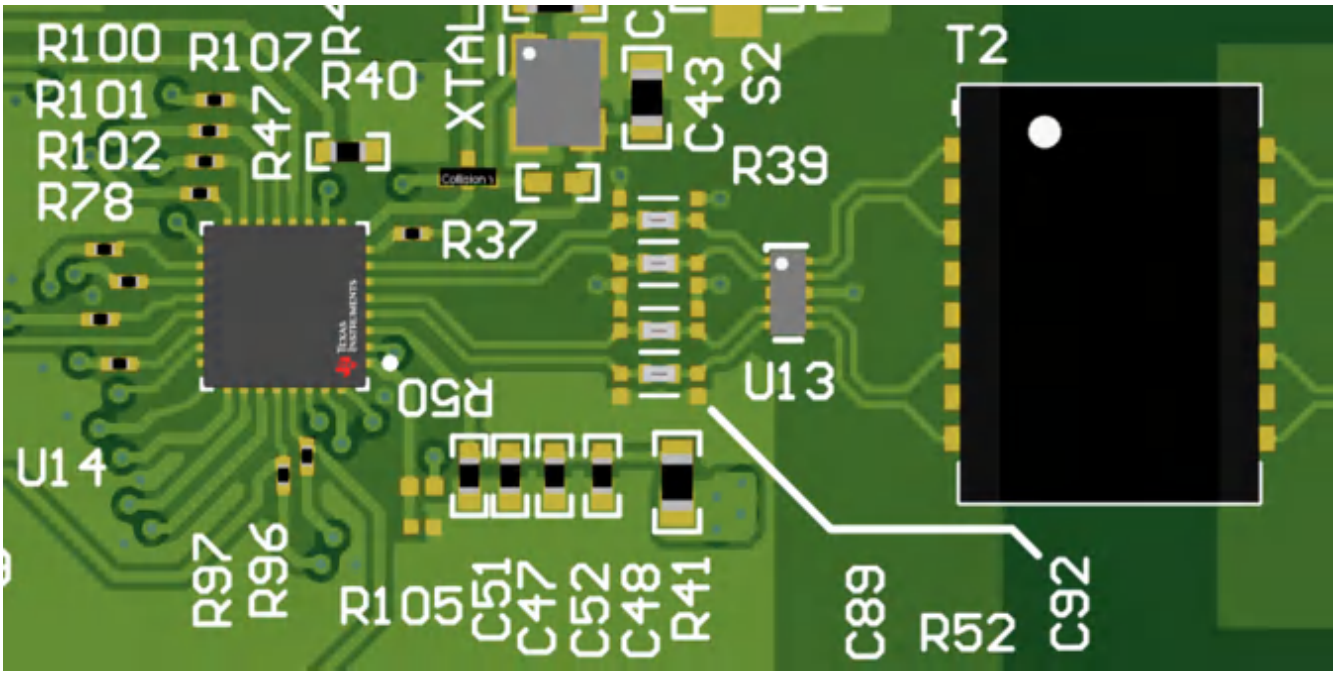


図 3-1. DP83826A EVM レイアウト

基板面積：約 40mm × 25mm

PHY ボディ サイズ：5mm × 5mm

トランス (T2)：12.7mm × 9.09mm

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

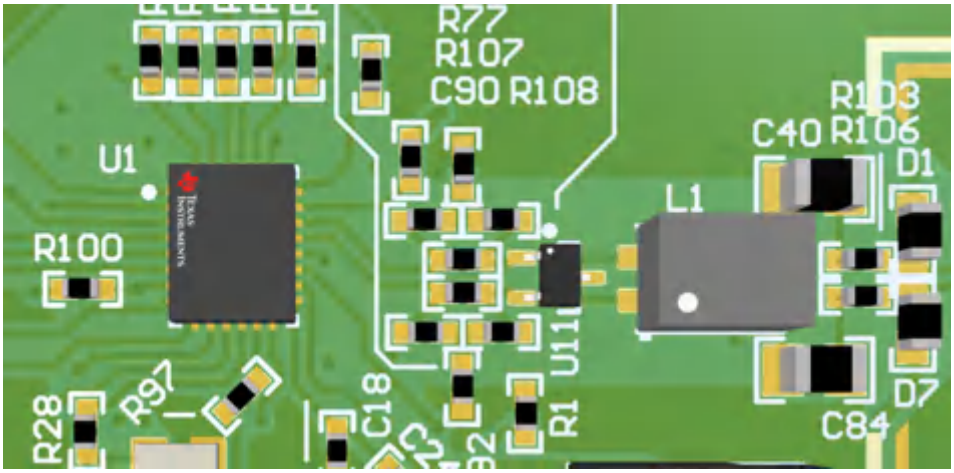


図 3-2. DP83826A EVM レイアウト

基板面積:約 30mm × 15mm

PHY ボディ サイズ:5mm × 4mm

CMC (L1):4.5mm × 3.2mm

最後に、標準イーサネットと SPE のフォーム ファクタの違いを確認する必要があります。ケーブル、コネクタ、その他の外付け部品の違いは、システム実装の全体的なサイズや重量に影響を与えます。表 3-2 に、これらの検討事項の概要を示します。この表に示す SPE の主な利点の 1 つは、一般的に必要とされるケーブル サイズと重量が小さいことです。

表 3-2. フォーム ファクタの違い

部品	標準イーサネット	シングル ペア イーサネット
ケーブル	ワイヤ数:4 本または 8 本 全体の直径:5 ～ 6.5mm 総重量:30 ～ 50kg/km	ワイヤ数:2 本 全体の直径:2.5 ～ 4.0mm 総重量:15 ～ 50kg/km
コネクタ	RJ45 コネクタ:30g、2cm³	M8 コネクタ:20g、直径約 8mm M12 コネクタ:30g、直径約 12mm
磁気部品	イーサネット接続には、別個の絶縁トランス (約 1cm²) が必要	外部磁気部品は不要

English Document: SDAA576
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

4 EtherCAT と TSN

通常のイーサネット通信では、ロボットのリアルタイム制御など、多くのアプリケーションにとって、通信速度や予測可能性が十分でないことがよくあります。産業用プロトコルは、超低レイテンシで高精度のデータ転送を実現するソリューションを備えています。最も広く使用されているプロトコルの 1 つは、EtherCAT (Ethernet for Control Automation Technology) です。EfherCAT は、Beckhoff Automation が産業用アプリケーション向けに開発したもので、イーサネットと同じ物理層 / データ リンク層を使用しています。イーサネット システムでは、データはコントローラ / ペリフェラル構成のさまざまなノードを介してルーティングされ、パケット要求に基づいて送受信されます。EtherCAT システムでは、データ フレームを送信できるノードはコントローラのみです。コントローラは、ノード ネットワーク全体に対してデータを送信し、データ パケットは各ノードを通過します。このトポロジを、図 4-1 に示します。

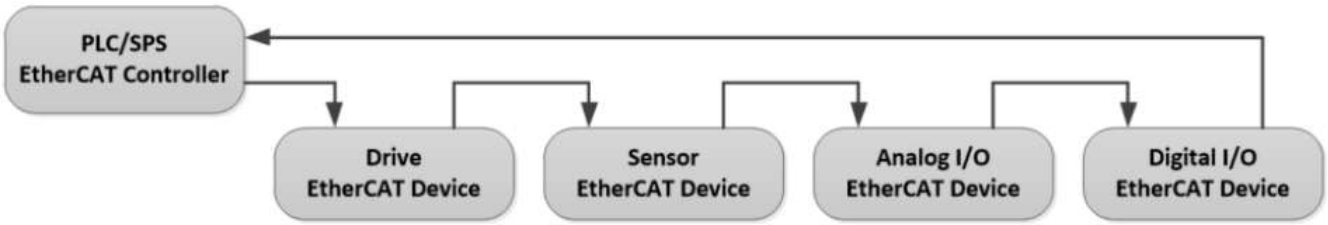


図 4-1. EtherCAT のトポロジ

EtherCAT の主な特徴は次のとおりです。

- 分散クロック:EtherCAT デバイスとコントローラの間で、高精度の時間同期手法を使用
- ループバックによる高速リンクドロップ検出:イーサネット PHY がリンク ダウンを検出すると、PHY は EtherCAT MAC に通知。EtherCAT MAC は 10µs 以内に EtherCAT フレームをループ バック
- リング トポロジ:EtherCAT デバイスは円形構成で接続され、閉ループを形成。各デバイスは 2 つのデバイスに接続され、データ伝送のための連続的な経路を形成
- ケーブルの冗長性:2 ポート ケーブルの冗長性により、EtherCAT システム内の通信ペリフェラルの障害を補償

ただし、SPE アプリケーションでは EtherCAT はサポートされていません。したがって、シングル ペア システムに移行するときは、リアルタイム信号伝送のための別の手段を検討する必要があります。このための手段として、TSN (Time-Sensitive Networking) の採用がますます広がっています。TSN は、通常のイーサネット インフラ上で、確定的かつ時間同期されたデータを送信するための一連の IEEE 規格です。TSN コンポーネントを実現するうえで必要なプロトコルとサービスを TSN 上で有効にすることで、この一連の規格は EtherCAT と同等の機能を実現できます。TSN の実装の詳細については、「ロボット向けの確定的でスケーラブルなイーサネット バックボーンの設計」を参照してください。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

5 ロールオーバに関する主な検討事項

DP83826A の設計から DP83TC813-Q1 を使用する設計に移行する場合、このドキュメントですでに説明した一般的な移行に関する推奨事項に加えて、その他いくつかの事項を検討する必要があります。これらについては、「表 5-1」を参照してください。

両方のデバイスの実装と構成の詳細については、それぞれの回路図レビュー チェックリスト「DP83TC813 回路図レビュー チェックリスト」および「DP83826A 回路図チェックリスト」を参照してください。

表 5-1. DP83826A から DP83TC813 へのロールオーバ

	DP83826A	DP83TC813
ピン配置 / フットプリント	32 ピン QFN	28 ピン VQFN
ケーブル	2 ペアまたは 4 ペアの CAT5/6 ケーブル	シングル ツイストペア ケーブル
MDI	磁気	CMC、DC ブロッキング抵抗、MDI カップリング コンデンサ、ESD シャント抵抗
MAC インターフェイス	MII、RMII	MII、RMII、RGMII、SGMII
設定	• MDIO レジスタ書き込みまたはブートストラップにより設定可能 • 初期化スクリプトは不要	• MDIO レジスタ書き込みまたはブートストラップにより設定可能 • TC10 準拠のための初期化スクリプトが必要

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

6 まとめ

このアプリケーション ノートでは、標準イーサネットからシングル ペア イーサネット設計に移行する際の重要な検討事項について説明しています。システムとフォーム ファクタの違い、PHY の機能、リアルタイム信号伝送について記載しています。DP83826A 標準イーサネット PHY と DP83TC813-Q1 SPE PHY の大まかな比較についても紹介しています。

7 参考資料

1. テキサス インスツルメンツ、「DP83TC813x-Q1 TC-10 準拠、小型フォーム ファクタ 100BASE-T1 車載用イーサネット PHY」、データシート。
2. テキサス インスツルメンツ、「DP83826Ax 決定論的、低レイテンシ、低消費電力、10/100Mbps の産業用イーサネット PHY」、データシート。
3. テキサス インスツルメンツ、「シングル ペア イーサネットによるヒューマノイド ロボットの進歩」、アプリケーション ブリーフ。

Copyright © 2026 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