

センサ向けの適切な産業用通信規格 の選定

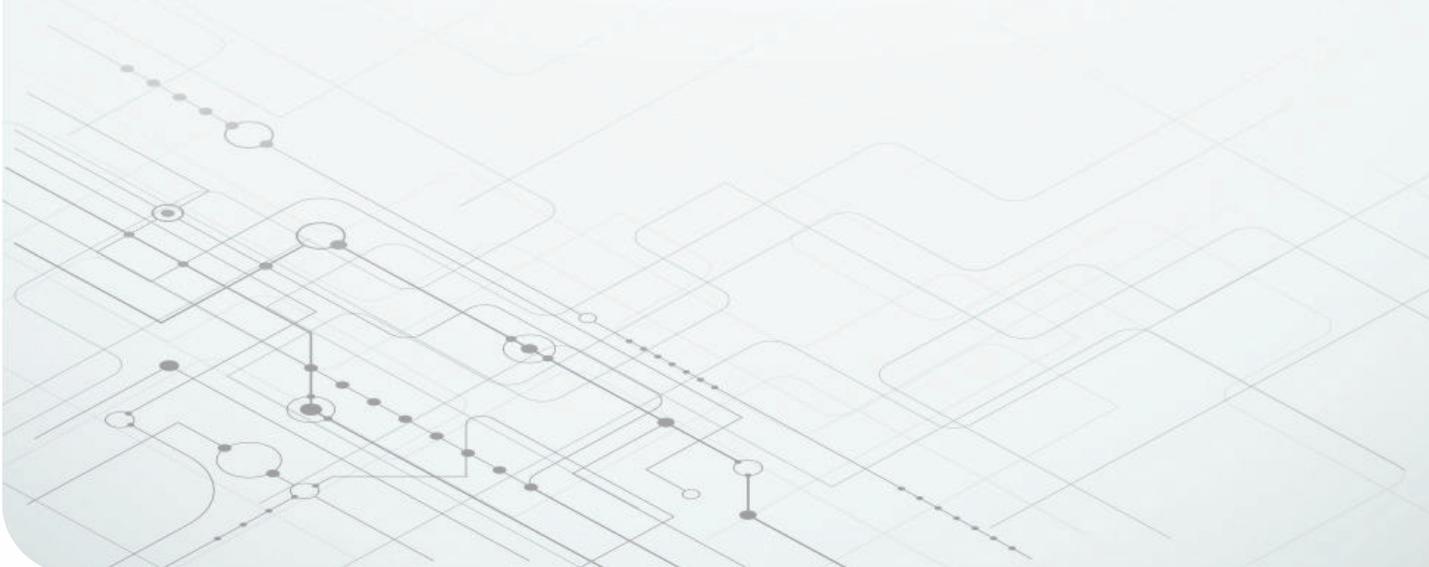


Thomas Leyrer

Distinguished Member of Technical Staff -
Industrial Systems

Miro Adzan

General Manager, System Engineering -
Factory Automation and Control



工場向けの高度な通信と制御は、インダストリ 4.0 を推進します。これは、蒸気機関、組み立てライン、初期のオートメーションという従来の各種革命に続く流れです。

この動きにより、M2M (マシン・ツー・マシン、機械相互間) 通信が進展し、データ、帯域幅、ネットワークが指数関数的な増加を示すと同時に、あらゆるレベルでより応答性の優れたオートメーションを実現する、いわゆるスマート・ファクトリの具体化が進んでいます

ロボットや、互いに協調する複数の組み立てラインのような大規模システムは、注意を要する事項に対処することができませんが、この種のシステムが実現するオートメーションは、センサやアクチュエータなしでは動作しません。オートメーション機能は、複数の生産ラインを稼働させるプログラマブル・ロジック・コントローラ (PLC) との通信を頻繁に実施します。センサとアクチュエータはローカルとリモートの両方で機能を果たしますが、その数は、サポート対象の複雑な機器をはるかに上回っているのが普通です。あらゆる規模のシステムで幅広い要件を満たすには、ファクトリ全体の通信を最適化する必要があります。

はじめに

イーサネットを産業用途に応用する各種プロトコルは、ファクトリの現場におけるフィールドバスという形で一般化されてきました。EtherCAT® や Profinet など、この種の産業用イーサネット・プロトコルは、自動化製造分野で必要とされている他の複数の機能に加え、高帯域幅、長距離にわたる物理的接続、低レイテンシ、デタミニスティック (確定的) なデータ配信という特長を実現しています。さらに、これらの規格をベースとする各種フィールド・ネットワークは、より大規模なプラント・データ・ネットワークやインターネットに簡単に接続することができます。

ただし、センサとアクチュエータで使用する場合、産業用イーサネットはたいいていの場合、非常に優れた信頼性と能力を実現します。この種のシステムは通常、フィールドバスではなくポイント・ツー・ポイント通信を必要とします。また一般的に、帯域幅要件は低い値で済みます。革新的なソリューションとして、IO-Link を挙げることができます。これは、標準的なケーブル配線と物理的な相互接続をベースとする、双方向の通信プロトコルです。IO-Link はファクトリの現場から PLC へ効率的にデータを送信することに加え、セットアップ、診断、保守の改善もサポートしており、既存のフィールドバスのケーブル配線を補完する役割を果たします。

IO-Link と各種産業用イーサネットは互いに補完する位置付けであり、ネットワーク接続型のファクトリ・システムを取り扱う設計者の皆様が、これら 2 種類の規格がどのように連携して動作するのか理解しておくくと便利です。このホワイト・ペーパーは、これらのテクノロジーの間の違いを説明し、TI (テキサス・インスツルメンツ) が提供する、産業用通信を設計する際に役立つさまざまなソリューションについて紹介します。TI は、一般的な通信、および産業用アプリケーション全体に関係する通信をサポートする各種製品で構成された、幅広い製品ラインアップを提供しています。TI の多数のソリューションは、産業用オートメーション分野の通信に特化しており、その土台や裏付けになっているのは、さまざまなお客様との長期的なお取引引きや相互の協力によって得られた専門知識です。製造テクノロジーに関する自社の利点と、

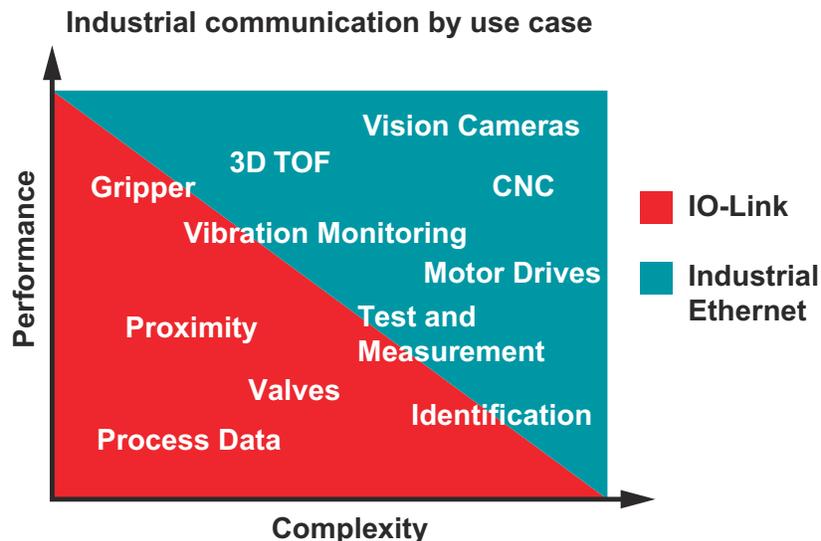


図1. 使用事例別の産業用通信。

詳細な設計サポート能力を活用して、TI は産業用システムの開発業務の発展と、スマート・ファクトリの最新のニーズへの対応を支援します。

低帯域幅向けの IO-Link

センサとアクチュエータはオートメーションの最も基本的なユニットであり、ネットワーク接続された複数のシステムに情報を供給し、それらのシステムからの命令に従って動作します。従来、センサやアクチュエータのようなデバイスは、インテリジェンスがごく限定的なインターフェイスを経由して制御ユニットに接続していました。その結果、交換できる構成情報や診断情報はごくわずか、または皆無でした。新しいデバイスを取り付けるには、使用する時点で手動の構成が必要だったほか、診断機能がないので、本当に必要なときに予知保全を実施することも不可能でした。

IO-Link (国際電気標準会議 [IEC] 61131-9) は、オープン規格をベースとするプロトコルであり、センサやアクチュエータのような小型デバイスに関するインテリジェント制御のニーズに対処します。この規格は、デバイスとマスターの間で低速のポイント・ツー・ポイント・シリアル通信を実現します。この場合のマスターは通常、フィールドバスや PLC に到達するためのゲートウェイとして機能します。接続の確立後にこのインテリジェント・リンクを使用すると、データ交換、構成、診断を目的とする通信を容易に実施できます。

シールドなしの 3 線ケーブルは最大 20m の長さに対応し、一般的に M12 コネクタを両側に取り付けて、IO-Link 接続を

確立します。データ・レートの範囲は最大 230kbps に達し、非同期の最小サイクル時間は $400\mu\text{s} + 10\%$ です。4 つの動作モードは、双方向の入出力 (I/O)、デジタル入力、デジタル出力、非アクティブ化に対応しています。セキュリティ・メカニズムとディタミニスティック (確定的) なデータ配信は規定されていません。IODD (IO Device Description、IO デバイス記述) というプロファイルは、通信プロパティ、デバイス・パラメータ、ID (識別子) とプロセスと診断に関するデータ、デバイスとメーカーに関する固有の情報を保持しています。

IO-Link システムの多くの利点として、標準化済みの配線、データ可用性の向上、リモートの監視と構成、複数のデバイスのシンプルな置き換え、先進的な診断機能を挙げることができます。IO-Link を採用すると、ファクトリのマネージャは、センサからの更新情報を受け取り、今後の保守や交換に関する計画を立てることができます。交換を必要としているセンシング・ユニットまたはアクチュエータ・ユニットの交換と、PLC から IO-Link マスター経由での新しいユニットの構成を実施すると、手動のセットアップが不要になり、ダウンタイムを短縮できます。ファクトリの現場へ足を運ばずに、ある構成から他の構成へと製造をリモートで切り替えることができるので、製品のカスタマイズがもっとも容易になります。IO-Link は既存の標準的な I/O 設備と配線に対する上位互換性があるので、ファクトリは製造ラインを IO-Link に簡単にアップグレードすることができます。総合すると、これらの特長を活用して全体のコストを削減し、プロセスの効率と機械の可用性を向上させることができます。

Field Level Communication

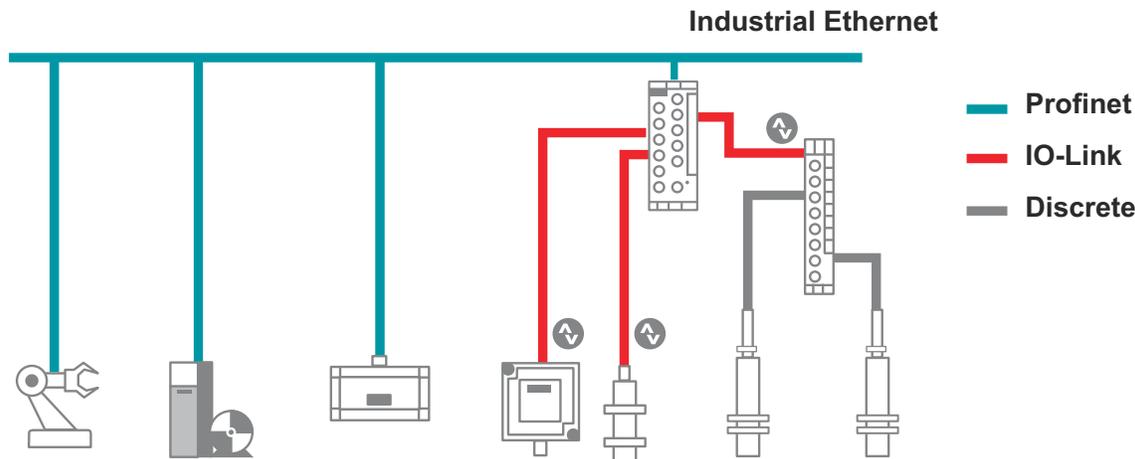


図2. 現場レベルの通信。

産業用イーサネット:スマート・ファクトリのバックボーン

近年、産業用イーサネットは高度自動化ファクトリでその価値を実証しており、複雑なシステム、PLC、ゲートウェイのような大規模なフィールド（現場）ネットワークで標準的な選択肢になりつつあるほか、外部ネットワークとの相互通信をサポートしています。高速、共通インターフェイス、長い接続距離という特長により、イーサネットは各種データ・ネットワークで普遍的に採用されています。さらに、産業用イーサネットは修正済みのメディア・アクセス制御 (MAC) 層を使用して、非常に短い待ち時間とデタミニスティック (確定的) なデータ配信を実現し、各種タイム・トリガ・イベントをサポートしています。リングとスター両方のトポロジーに加えて、従来のインライン接続もサポートしているので、ケーブル切断や接続解除が発生した場合でも安全性と信頼性を確保できます。

「産業用イーサネット」とは、独自の単独仕様ではなく、現場レベルのアプリケーションでの実装を意図してさまざまな産業用機器のメーカーが推進している、互いに違いのあるプロトコル実装で構成された大規模なグループの総称です。一般的なプロトコルとして、EtherCAT、Profinet、Ethernet/IP、Sercos III、CC-Link IE Fieldなどを挙げるすることができます。『[産業用イーサネット通信プロトコルの現在](#)』ホワイトペーパーは、これらの各プロトコルを比較し、CAN (Control Area Network)、Modbus、Profibusなど、イーサネット・ベースではない従来のシリアル・フィールドバス・プロトコルについて説明しています。

非常に幅広く使用されている2つのプロトコルは、ProfinetとEtherCATです。これらの産業用イーサネットについて、互いにどのように異なっているか、またIO-Linkとどのように異なっているかを示しています。どちらも100Mbpsの転送速度と、最大100mという距離を規定しています。Profinetはデータ・ケーブルの電力とは独立した電力供給を必要とするのに対し、EtherCATの1つのバージョン (EtherCAT_P) は、電力とデータを同じケーブルで伝送することができます。Profinetは全二重トラフィックをサポートしており、ネットワーク内の各ノードにパケットを送信することができます。また、このプロトコルは3つのクラスを実現しており、ユーザーはネットワークが必要とする性能レベルに合わせてクラスを選択することができます。対照的に、EtherCATはネットワーク内の一方方向で1つの共有フレームを送信し、すべてのスレーブが自らのデータをそのフレームの中に書き込むことになります。これは、非常に高速な伝送時間をサポートする方式です。

ProfinetとEtherCATはどちらもIO-Linkより高速なサイクル時間を実現しており、許容差は大幅に少なくなっています。両方とも、ネットワーク同期を基本的なタイミングとして使用しています。この点は、通信開始を基本的なタイミングとして使用するIO-Linkとは異なっています。追加の各種プロトコルは、接続に関する機能安全を実現します。オートメーション環境との統合を簡素化する目的で、産業用イーサネット・プロトコルは全般的に、多数のサービスを提供しています。

大半のセンサは、産業用イーサネット接続が提供している高信頼性機能セットを必要としていませんが、重要な例外として視覚的センシング機能を挙げることができます。ビデオ・カメラが作成する大量のデータ自体が、IO-Link が実現できるデータ・レートを上回る高速データ・レート接続を必要とする十分な理由になります。視覚的、また時には他の種類のセンシングが実現する固有の入力量が原因で、リアルタイム・プロセス制御が必要になります。その結果、産業用イーサネットは、ディタミニスティック (確定的) な配信を必要としています。

たとえば、タイム・オブ・フライト (ToF) アプリケーションは物品の 3D 方向の移動を追跡し、予測します。代表的な応答として、物品をピッキング (取得) するために自ら動作するロボット・アームを挙げるすることができます。IO-Link はこの種のアプリケーションで物品の存在のみをセンスする、という限定的な用途では十分な速度と分解能を実現できる可能性があります。産業用イーサネットは十分な帯域幅と非常に短い待ち時間を実現しており、物品およびその周囲にある空間のいくつかの特性を判定することもできます。ギガビット・イーサネットを経由する場合、カメラからの入力を使用してさらに高い水準の識別を実施できる可能性もありますが、ここで説明した産業用イーサネット・プロトコルは、このようなギガビット単位の速度とその場合の動作についてまだ規定していません。

Selection example: Time of Flight (ToF)

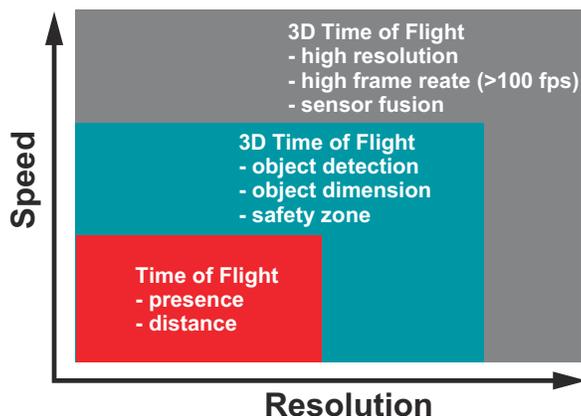


図3. 選択肢の例:タイム・オブ・フライト。

スマート・ファクトリでの通信に適した TI のテクノロジー

カメラ、モーター、ロボット、PLC、その他の複雑なシステムに関するサービス提供を想定した、コンピュータ業界の各種イーサネット・プロトコルには、多くの選択肢があります。シンプルなセンサやアクチュエータであっても、より大規模な産業用イーサネット環境で効果的に動作させる必要があります。自動装置との間で通信を行う目的で多くのオプションを利用できるので、産業用システムの設計者の皆様は、フレキシビリティの高さと使いやすさを両立したソリューションを必要としています。TI のテクノロジーはこの種の要件を満たすために、産業用通信に適した統合型ソリューションを提供しています。これらの産業用通信は、IO-Link や一般的な産業用イーサネット・プロトコルの大半を含めた多くの規格に基づくものです。

TI の TIOL111x トランシーバ・ファミリは、IO-Link の包括的な機能に加えて、自動化システム内のセンサとアクチュエータを対象にした、静電気放電 (ESD)、電気的高速過渡 (EFT)、サージに関する保護機能も搭載しています。評価基板 (EVM) を使用すると、動作中の各種デバイスを確認できます。また、各種リファレンス・デザインは、トランスミッタ、近接スイッチ、ソレノイド・ドライバ、超音波、その他のアプリケーションの迅速な開発に役立ちます。

10/100Mbps 対応のイーサネット PHY である DP83822 は、±16kV の HBM (人体モデル) ESD に対処する保護機能と、class B の放射型電磁波の分類に基づき、過酷な環境に対処できる強化型の保護機能を実現しています。この製品は、銅線とファイバ、両方のメディアをサポートしています。これより高速なデータ・レートを必要とするシステムの場合、1Gbps のイーサネット PHY である DP83867 も、過酷な環境に適した強化型の保護機能を実現しており、往復待ち時間が 380ns で、TSN (time-sensitive network: 時間に制約のあるネットワーク) 準拠という特長があります。

アプリケーション設計者の皆様が、より広い帯域幅とディタミニスティック (確定的) なタイミングを必要とする場合、開発中のシステムが複数のフィールドバス環境との互換性を達成するために、サポートしようとする産業用イーサネット・プロトコルの数を判断する必要があります。以前は、複数のプロトコルを追加するには、追加のインターフェイスを製作するか、マザーボードに接続する交換可能モジュールを製作する必要がありました。どちらの方針に決定する場合でも、追加のハードウエ

アの設計、多くの部品表 (BOM) の選定、テストと認証に関する長いサイクルが必要になります。

ハードウェアを追加する代わりに、TI Sitara™ ファミリの Arm® プロセッサが提供している統合型のプログラマブル・リアルタイム・ユニットと産業用通信サブシステム (programmable real-time unit and industrial communication subsystem, PRU-ICSS) を使用すると、マルチプロトコルの産業用イーサネットをサポートできます。

PRU は、デバイスの実行時に各種産業用プロトコルのファームウェアをロードします。EtherCAT、Profinet、Ethernet/IP の各オプション、および [こちらのアプリケーション・ノート](#) で説明している他の選択肢が使用できます。リアルタイムの重要なタスクを処理するために、従来は ASIC (特定用途向け集積回路) または FPGA (フィールド・プログラマブル・ゲートアレイ) を採用していましたが、PRU-ICSS はこのようなタスクを処理できます。その結果、新機能や新しいプロトコルが必要になる場合でも、アップグレード可能なソフトウェア・ベースのソリューションを採用することができます。Sitara プロセッサを採用すると、複数の産業用イーサネット・プロトコルを使用するファクトリ・オートメーションに対応するシングルチップ・ソリューションを製作できます。

TI は、産業用イーサネットと、CAN などの他の規格向けに幅広いインターフェイスを提供しています。スタンドアロン・ソリュー

ーションの形態と、他の統合型ソリューションの一部として使用できるテクノロジー・モジュールの形態の両方を入手できます。

TI の多くのネットワーク製品は、回路とユーザーを保護するために強化絶縁機能を採用しており、それ以外の製品でも、他のデバイスを採用して設計に強化絶縁機能を追加することができます。産業用自動機器のさまざまなアプリケーション向けの多様な開発サポートとして、ソフトウェア、ツール、EVM、リファレンス・デザインを入手することができます。

スマート・ファクトリの将来に対応できるテクノロジー

個別の機器に、ファクトリの通信ニーズ全体に関係する要件が課されています。スマート・ファクトリの進展は、これらの要件を満たす多様なネットワーク機能に依存しています。産業用イーサネット・プロトコルはそれぞれ、高帯域幅と保証された高速なタイミングで、PLC、カメラ、ロボット、その他の複雑な自動システムとのフィールドバス接続を確立します。IO-Link は、フィールドバス・マスターと、センサやアクチュエータの間のポイント・ツー・ポイント接続にとって明快な選択肢を提供するとともに、構成や保守にも対応しています。TI は、多様なソリューションのラインアップとフレキシビリティの高いテクノロジーを提供しており、設計者の皆様は第 4 次産業革命でオートメーションの革新を作り出す際に、補完性の高いこれらの各種規格を活用することができます。

IO Link Master with Sitara AM437x Processor

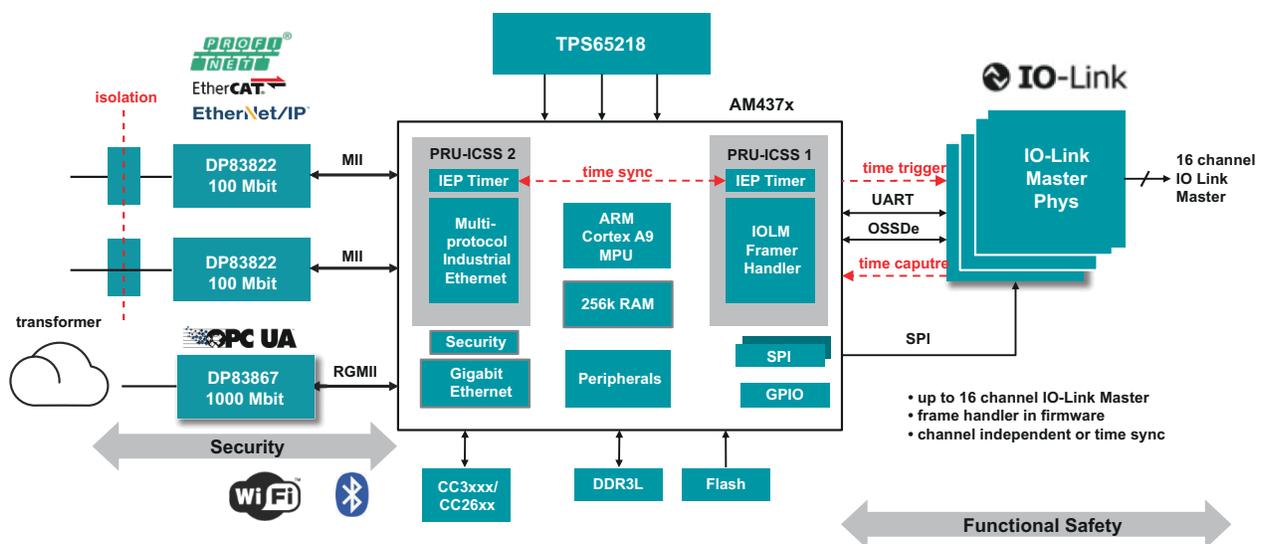


図 4. IO-Link マスターとの直接的な通信を実施する、Sitara™ ベースのシステム。

機能	IO Link	Profinet	EtherCAT	コメント
物理層	230 キロビット以下、半二重、20m、同じケーブルで電力を伝送	100Mbit、全二重、100m、電力は別配線	100Mbit、共有パケット、100m、同じケーブルでの電力伝送を定義済み	パケットの同時送受信をサポートしているのは Profinet のみです
トポロジー	ポイント・ツー・ポイント	ライン、リング、スター	ライン、リング、スター	イーサネットを採用する場合、大規模ネットワークを使用できます
最小サイクル時間	400 μ s + 10%	250 μ s (最短 31.25 μ s と DFP の組み合わせ)	31.25 μ s	IO-Link を採用する場合、+10% の追加公差を許容できます
時間同期	通信開始を基本タイミングとして使用	PTCP は $\pm 1\mu$ s 未満、IRT 試験は 250ns 未満	分散クロック ± 100 ns	IO-Link はアプリケーション側の時間を想定していません
セキュリティ	使用不可	Profinet のトラフィックが存在していないとき、という制限	使用不可	IT 接続を実施する場合、いずれも追加のセキュリティ・プロトコルを必要とします
機能安全	冗長チャンネルが動作している場合のみ該当	Profisafe	EtherCAT 全体が機能安全に対応	イーサネットの送信は、ブラック・チャンネルとして見えます
プロファイルとサービス	スマート・センサ、フィールドバスの統合、ファームウェアの更新、OPC UA	Profidrive、CiR、システム冗長性、診断	SoE、CoE、EoE、FoE、AoE、EAP	いずれもオートメーション・ネットワークへの統合をサポートしています。IO-Link はドライブ・プロファイルをサポートしていません

表 1. 製造現場での通信に使用できる IO-Link と産業用イーサネットの対比

Important Notice: The products and services of Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries described herein are sold subject to TI's standard terms and conditions of sale. Customers are advised to obtain the most current and complete information about TI products and services before placing orders. TI assumes no liability for applications assistance, customer's applications or product designs, software performance, or infringement of patents. The publication of information regarding any other company's products or services does not constitute TI's approval, warranty or endorsement thereof.

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

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](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる TI 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。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。

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、TI 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 © 2022, Texas Instruments Incorporated