

# 産業用イーサネット 通信プロトコルの現在



**Zhihong Lin,**  
Strategic Marketing Manager  
Texas Instruments

**Stephanie Pearson,**  
Strategic Marketing Manager  
Texas Instruments

**競争力を維持し成功を収めるために、多くの企業が高度な産業用オートメーションに転換しつつあり、生産性、量産効果、品質を最大限に高めています。ネットワーク接続環境が増えるにつれ、必然的に工場の作業場もネットワーク接続されていきます。**

**ヒューマン・マシン・インターフェイス (HMI)、プログラマブル・ロジック・コントローラ (PLC)、モーター制御およびセンサをスケーラブルかつ効率的な方法で接続する必要があります。**

従来、多くの産業用コンポーネントは、コントローラ・エリア・ネットワーク (CAN)、Modbus<sup>®</sup>、PROFIBUS<sup>®</sup>、CC-Linkなどのさまざまなシリアル・フィールドバス・プロトコルで接続されてきました。近年、産業用イーサネットは普及し、さまざまな場所で見受けられるようになり、高速化、接続距離の拡大、多数のノードとの接続機能が提供されています。さまざまな産業用機器メーカーによって、多くの異なる産業用イーサネット・プロトコルが使用されています。これらのプロトコルには、Ether-CAT<sup>®</sup>、PROFINET<sup>®</sup>、EtherNet/IP<sup>™</sup>、Sercos<sup>®</sup> III、CC-Link<sup>®</sup> などがあります。このホワイト・ペーパーでは、多くの産業用イーサネット・プロトコルの詳細と、複数の規格に対応し、産業用通信に必要なリアルタイム性、デタミニスティック（確定的）な手法、低レイテンシを提供する統合ハードウェアおよびソフトウェア・プラットフォームの増加する必要性について説明します。

## 産業用オートメーションのコンポーネント

産業用オートメーションには、PLCコントローラ、HMIパネル、産業用ドライブ、センサの4つの主要なコンポーネントがあります。

PLCコントローラは、産業用オートメーション・システムの頭脳にあたり、リレー制御、モーション制御、産業用入出力プロセス制御、分散型システム、ネットワーク制御を行います。PLCは厳しい環境条件での動作が必要なことも多く、高温、低温、湿気、振動などの過酷な条件への耐久性を備え、信頼性の高い通信リンクを介して、産業用オートメーション・システムの他の部分に高精度かつデタミニスティックなリアルタイム制御を提供します。

HMIは、工業用コントロール用のグラフィカル・ユーザ・インターフェイスです。産業用機械を制御するためのコマンド入力およびフィードバック出力インターフェイスを提供します。HMIは、産業用システムの他の部分と共通の通信リンクを介して接続されています。



図 1：産業用オートメーション・コンポーネントおよび通信リンク

産業用ドライブは、最適なモーター動作を制御するために使用されるモーター・コントローラです。このドライブは、非常に多様な産業用アプリケーションに使用され、幅広い電圧およびパワー・レベルに対応します。産業用ドライブには、AC/DCドライブだけでなく、モーター・フィードバック・システムを使用してサーボ機構の動作および性能を制御、調整するサーボ・ドライブも用意されています。

センサは、産業用オートメーション・システムの手と足にあたり、産業用の動作条件、検査、測定などをリアルタイムで監視します。センサは産業用オートメーション・システムには不可欠であり、システム制御のトリガ・ポイントと制御のためのフィードバックを提供します。

通信は、効率的な自動生産システム用の全産業用コンポーネントの中核を成します。次のページは、通信リンクを介した全コンポーネントの連携動作を示しています。

## レガシー産業用通信プロトコル

従来、産業用通信はシリアルベースのインターフェイス上で開発されてきましたが、さまざまな会社が独自に開発したものが後に規格となりました。その結果、市場には多くの異なる規格が存在します。大企業がこれらの規格を奨励しているため、産業用オートメーション機器企業はこれらのプロトコルの多くを産業用システムに実装する必要があります。産業用システムのライフ・サイクルは長いいため、PROFIBUS、CANバス、Modbus、マスタ/スレーブ構成のCC-Linkを含む多くのシリアルベースのプロトコルが、今日でも非常に普及しています。

PROFIBUSは世界で最も成功したフィールドバス・テクノロジーで、ファクトリ/プロセス・オートメーションを含む産業用オートメーション・システムに広く採用されています。PROFIBUSは、最大12Mbpsの速度でプロセス・データと補助データのデジタル通信を提供し、最大 126 のアドレスをサポートします。

集積度の高いシリアル・バス・システムであるCANバスは、自動車用バスとして独自に開発され、その後、産業用オートメーションのフィールドバスの1つとして使用されるようになりました。CANは最大1Mbpsの速度で、シリアル通信の物理/データ・リンク層を提供します。CANopen<sup>®</sup>とDeviceNetは、CANバス上で標準化された上位プロトコルであり、同じ産業用ネットワーク上のデバイスとの相互運用性を実現します。CANopenはネットワーク上の127のノードをサポートする一方、DeviceNetは同じネットワーク上の64のノードをサポートします。

Modbusは、一般公開されているシンプル、堅牢、ロイヤリティフリーのシリアル・バスで、リンク内の最大247ノードに接続できます。Modbusは最大115KBaudの速度で、RS-232またはRS-485物理リンク上に簡単に実装および実行できます。

CC-Linkは三菱が独自に開発したもので、日本とアジアで広く使われているオープン・アーキテクチャの産業用ネットワーク・プロトコルです。

CC-LinkはRS-485をベースにしており、最大10Mbpsの速度で同じネットワーク上の最大64のノードに接続できます。

## 産業用イーサネット通信プロトコル

イーサネットは、共通の物理リンクと高速化により普及し、コスト効率も良くなってきています。そのため、多くの産業用通信プロトコルがイーサネットベースのソリューションに移行してきています。通常、TCP/IPによるイーサネット通信は非デタミニスティック（非確定的）な手法であり、反応時間は約100msです。産業用イーサネット・プロトコルは、変更されたメディア・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な応答を達成します。また、イーサネットは柔軟なネットワーク・トポロジに対応し、システム内のノード数も柔軟に増減できます。代表的な産業用イーサネット・プロトコルのいくつかを詳しく見てみましょう。

**EtherCAT**はBeckhoffが独自に開発したプロトコルで、オンザフライ方式の packets 処理を実現し、オートメーション・アプリケーションにリアルタイム・イーサネットを提供します。これにより、大規模なPLCからI/O、センサ・レベルに至るまで、オートメーション・システム全体にスケーラブルな接続性を提供します。

EtherCATはプロセス・データに最適化されたプロトコルであり、標準のIEEE 802.3イーサネット・フレームを使用します。各スレーブ・ノードはデータグラムを処理し、各フレームが通過している間に新しいデータをフレームに挿入します。このプロセスはハードウェアで処理されるため、各ノードの処理待ち時間は最小限に抑えられ、可能な限り迅速な応答時間を実現します。EtherCATはMACレイヤ・プロトコルであり、TCP/IP、UDP、Webサーバなどの上位のイーサネット・プロトコルに対して透過的です。EtherCATはシステム内で最大65,535のノードに接続でき、標準のイーサネット・コントローラをEtherCATマスタにできるため、ネットワーク構成を簡素化できます。EtherCATは各スレーブ・ノードのレイテンシが短く、柔軟かつ低コスト、ネットワーク互換性のある産業用イーサネット・ソリューションを提供します。

**EtherNet/IP**は、Rockwellが独自に開発した産業用イーサネット・プロトコルです。MAC層プロトコルであるEtherCATとは異なり、EtherNet/IPはTCP/IP上にあるアプリケーション層プロトコルです。EtherNet/IPは、TCP/IP上で一般的な産業用プロトコル（CIP）を使用しながら、標準イーサネットの物理、データ・リンク、ネットワーク、トランスポート層を使用します。CIPは、産業用オートメーション制御システムで一般的なメッセージとサービスを提供し、複数の物理メディアで使用できます。たとえば、CANバスを介したCIPはDeviceNet、専用ネットワークを介したCIPはControlNet、イーサネットを介したCIPはEtherNet/IPと呼ばれます。EtherNet/IPは、TCP接続を介したCIP接続により、アプリケーション・ノード間で通信を確立し、1本のTCP接続で複数のCIP接続を確立できます。

EtherNet/IPは標準のイーサネットとスイッチを使用しているため、システム内のノード数に制限はありません。これにより、工場の作業場内のさまざまなエンド・ポイント間を結んだ一元的なネットワークを構築できます。EtherNet/IPは包括的な生産者対消費者間サービスを提供し、非常に効率的なスレーブ・ピア・ツー・ピア通信を実現します。EtherNet/IPは、多くの標準インターネット/イーサネット・プロトコルと互換性がありますが、リアルタイム性とデタミニスティックな手法には限りがあります。

**PROFINET**は、SiemensやGEなどの主要産業用機器メーカーが広く使用している産業用イーサネットです。PROFINETには3つの異なるクラスがあります。PROFINET Class Aは、TCP/IPを使用したリモート・プロシージャにより、イーサネットとPROFIBUSをブリッジすることにより、プロキシを通じたPROFIBUSネットワークへのアクセスを提供します。そのサイクル時間は約100msであり、主にパラメータ・データやサイクリックI/Oに使用されます。代表的なアプリケーションには、インフラストラクチャやビルのオートメーションが含まれます。PROFINET Real-Time (PROFINET RT)とも呼ばれるPROFINET Class Bは、ソフトウェアベースのリアルタイム・アプローチを導入し、サイクル時間を約10msに短縮しました。Class Bは、通常ファクトリ・オートメーションやプロセス・オートメーションで使用されます。PROFINET Class C (PROFINET IRT)は、アイソクロナスかつリアルタイム性を持ったクラスで、サイクル時間を1ms未満に短縮する特別なハードウェアを必要とし、モーション制御操作のためのリアルタイム産業用イーサネットです。十分な性能を発揮します。

PROFINET RTはPLCタイプのアプリケーションで使用できる一方、PROFINET IRTはモーション・アプリケーションに適しています。ブランチ型とスター型は、PROFINETでよく使用されるトポロジです。システムに必要な性能を達成するには、PROFINETネットワークに慎重なトポロジ計画が必要です。

**POWERLINK**は、B&Rによって独自に開発されました。Ethernet POWERLINKはIEEE 802.3上に実装されているため、自由なネットワーク・トポロジ選択、相互接続、ホット・プラグに対応しています。リアルタイムのデータ交換のために、ポーリングとタイム・スライスの仕組みを使用しています。POWERLINKマスタまたは「管理ノード」は、数十nsの範囲でパケット・ジッタによる時間同期を制御します。このようなシステムは、PLC間通信および視覚化から動作やI/O制御に至るまで、あらゆる種類のオートメーション・システムに適しています。オープン・ソースのスタック・ソフトウェアが提供されているため、POWERLINKを実装する障壁は非常に低くなっています。また、CANopenは従来のフィールドバス・プロトコルからのシステムのアップグレードを容易にする規格です。

**Sercos III**は、第3世代のシリアル・リアルタイム通信システム(Sercos)です。リアルタイム・イーサネットを提供するオンザフライ方式のパケット処理と標準TCP/IP通信を組み合わせ、低レイテンシの産業用イーサネットを提供しています。

EtherCATと同様に、Sercos IIIスレーブは、データを抽出してイーサネット・フレームに挿入することでパケットを処理し、短いレイテンシを達成します。Sercos IIIは入出力データを2つのフレームに分離します。31.25ms以上のサイクル時間で、EtherCATやPROFINET IRTと同等の速さを誇ります。Sercos IIIはリング型またはライン型トポロジをサポートしています。リング型トポロジを使用することの主なメリットの1つは、通信の冗長性です。1つのスレーブに障害が発生してリングが壊れた場合でも、残りのすべてのスレーブは入出力データを含むSercos IIIフレームを取得することができます。Sercos IIIは1つのネットワーク内に511のスレーブ・ノードを配置でき、サーボ・ドライブの制御に最もよく使用されます。

**CC-Link IE**は、三菱電機が独自に開発したCC-Linkの産業用イーサネット・テクノロジーです。CC-Link IEには、CC-Link IE ControlとCC-Link IE Fieldの2種類のバージョンがあります。CC-Link IE Controlは、コントローラ間の通信を目的としており、ネットワークあたり120のノードを配置することができます。CC-Link IE Fieldは、I/O通信とモーション制御を目的としており、ネットワークあたり254のノードを配置することができます。CC-Link IEはイーサネット・データ・リンク層を利用し、その制御フレームはイーサネット・フレームに直接組み込まれています。スイッチなしのCC-Linkでは、リング型トポロジのみがサポートされています。これにより、ネットワークの冗長性を実現できるものの、ネットワーク内でサポートできるノード数は限られており、サイクル時間はネットワーク内のノード数に依存しています。

Modbus/TCP (Modbusの拡張版)は、Schneider Electricが独自に開発したプロトコルで、イーサネット上でTCP/IPを介したModbusメッセージングを使用しています。Modbus/TCPは、標準イーサネット・ネットワーク上で簡単に実装できますが、リアルタイムでデタミニスティックな通信を保証するものではありません。

## テキサス・インスツルメンツの産業用通信コンポーネント

産業用機器メーカーが経済的かつ柔軟な方法でさまざまな産業用通信プロトコルを実現できるように、テキサス・インスツルメンツは、低レイテンシのプログラマブル・リアルタイム・ユニット産業用通信サブシステム (PRU-ICSS) を多くのシステム・オン・チップに集積しています。PRU-ICSSは、FPGA、ASICおよび別のソリューションに比べて産業用通信に適した、コスト効率に優れ、柔軟で将来性のあるソリューションを提供します。TIの柔軟なハードウェア・プラットフォームは、PRU-ICSSを1チップに統合することにより、コスト効率に優れ、デタミニスティックかつ効率的で、ソフトウェア・プログラマブルな産業用オートメーション・システムを実装することができます。

## 今後のトレンド

産業用オートメーションが再び経済を動かす、第3の産業革命の幕開けの時期です。産業用オートメーションの成功は、効率的な連携のために工場の全コンポーネントを接続する、信頼できる効率的な通信ネットワークにかかっています。イーサネットの普及により、従来の工場が産業用イーサネットにアップグレードする機運が高まり続けています。多くの異なる産業用イーサネット・プロトコルが現場で実装されており、それぞれ独自の長所と短所があります。将来の産業用イーサネット・プロトコルが継続して進化および統合することで、信頼性が高く、安全性も高いリアルタイムでデタミニスティックなハード通信リンクが提供されます。また、イーサネットには、産業用オートメーションの産業用通信エンジンを推進するため、複数のプロトコルのサポートと今後の新しいプロトコルの実装に対応可能な低コストで柔軟なシステムを実現できる、PRU-ICSSを内蔵したテキサス・インスツルメンツの [Sitara™ AMIC110](#)、[AM437x](#)、[AM57x](#) システム・オン・チップ (SoC) プロセッサなど、共通のプログラマブル・ハードウェア・プラットフォームが必要です。

Sitara製品ラインの詳細については、TIの[産業用イーサネット向けプロセッサの概要ページ](#)を参照してください。



## TIの設計情報およびリソースに関する重要な注意事項

Texas Instruments Incorporated ("TI")の技術、アプリケーションその他設計に関する助言、サービスまたは情報は、TI製品を組み込んだアプリケーションを開発する設計者に役立つことを目的として提供するものです。これにはリファレンス設計や、評価モジュールに関する資料が含まれますが、これらに限られません。以下、これらを総称して「TIリソース」と呼びます。いかなる方法であっても、TIリソースのいずれかをダウンロード、アクセス、または使用した場合、お客様(個人、または会社を代表している場合にはお客様の会社)は、これらのリソースをここに記載された目的にのみ使用し、この注意事項の条項に従うことに合意したものとします。

TIによるTIリソースの提供は、TI製品に対する該当の発行済み保証事項または免責事項を拡張またはいかなる形でも変更するものではなく、これらのTIリソースを提供することによって、TIにはいかなる追加義務も責任も発生しないものとします。TIは、自社のTIリソースに訂正、拡張、改良、およびその他の変更を加える権利を留保します。

お客様は、自らのアプリケーションの設計において、ご自身が独自に分析、評価、判断を行う責任がお客様にあり、お客様のアプリケーション(および、お客様のアプリケーションに使用されるすべてのTI製品)の安全性、および該当するすべての規制、法、その他適用される要件への遵守を保証するすべての責任をお客様のみが負うことを理解し、合意するものとします。お客様は、自身のアプリケーションに関して、(1) 故障による危険な結果を予測し、(2) 障害とその結果を監視し、および、(3) 損害を引き起こす障害の可能性を減らし、適切な対策を行う目的で、安全策を開発し実装するために必要な、すべての技術を保持していることを表明するものとします。お客様は、TI製品を含むアプリケーションを使用または配布する前に、それらのアプリケーション、およびアプリケーションに使用されているTI製品の機能性を完全にテストすることに合意するものとします。TIは、特定のTIリソース用に発行されたドキュメントで明示的に記載されているもの以外のテストを実行していません。

お客様は、個別のTIリソースにつき、当該TIリソースに記載されているTI製品を含むアプリケーションの開発に関連する目的でのみ、使用、コピー、変更することが許可されています。明示的または黙示的を問わず、禁反言の法理その他どのような理由でも、他のTIの知的所有権に対するその他のライセンスは付与されません。また、TIまたは他のいかなる第三者のテクノロジーまたは知的所有権についても、いかなるライセンスも付与されるものではありません。付与されないものには、TI製品またはサービスが使用される組み合わせ、機械、プロセスに関連する特許権、著作権、回路配置利用権、その他の知的所有権が含まれますが、これらに限られません。第三者の製品やサービスに関する、またはそれらを参照する情報は、そのような製品またはサービスを利用するライセンスを構成するものではなく、それらに対する保証または推奨を意味するものでもありません。TIリソースを使用するため、第三者の特許または他の知的所有権に基づく第三者からのライセンス、あるいはTIの特許または他の知的所有権に基づくTIからのライセンスが必要な場合があります。

TIのリソースは、それに含まれるあらゆる欠陥も含めて、「現状のまま」提供されます。TIは、TIリソースまたはその仕様に関して、明示的か暗黙的にかかわらず、他のいかなる保証または表明も行いません。これには、正確性または完全性、権原、続発性の障害に関する保証、および商品性、特定目的への適合性、第三者の知的所有権の非侵害に対する黙示的保証が含まれますが、これらに限られません。

TIは、いかなる苦情に対しても、お客様への弁済または補償を行う義務はなく、行わないものとします。これには、任意の製品の組み合わせに関連する、またはそれらに基づく侵害の請求も含まれますが、これらに限られず、またその事実についてTIリソースまたは他の場所に記載されているか否かを問わないものとします。いかなる場合も、TIリソースまたはその使用に関連して、またはそれらにより発生した、実際の、直接的、特別、付随的、間接的、懲罰的、偶発的、または、結果的な損害について、そのような損害の可能性についてTIが知らされていたかどうかにかかわらず、TIは責任を負わないものとします。

お客様は、この注意事項の条件および条項に従わなかったために発生した、いかなる損害、コスト、損失、責任からも、TIおよびその代表者を完全に免責するものとします。

この注意事項はTIリソースに適用されます。特定の種類の資料、TI製品、およびサービスの使用および購入については、追加条項が適用されます。これには、半導体製品(<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、評価モジュール、およびサンプル(<http://www.ti.com/sc/docs/sampterm.htm>)についてのTIの標準条項が含まれますが、これらに限られません。