

産業用イーサネット：コントロール エンジニア用ガイド

はじめに

製造業者はプロセスの改良、経費削減、生産性向上を追求しており、その多くは、生産現場にイーサネット テクノロジーを導入しようとしています。この移行は近年、勢いを増しています。最近の ARC Advisory Group の調査によると、世界の産業用イーサネット装置市場は、今後 5 年間に 84% 以上の拡大が予想されます。イーサネット テクノロジーは過去には、企業ネットワーク環境に限定されるソリューションであると考えられていましたが、今では、製造分野における固有のニーズにも対応できる強力なテクノロジーであることが証明されています。

インテリジェント スイッチ テクノロジーを利用する産業用イーサネット ネットワークは、従来の産業用ネットワークと比較して、種々の利点があります。産業用イーサネットは、データ通信用に開発されたイーサネット標準を製造管理ネットワークに適用します。このテクノロジーは、種々の市場のさまざまなクリティカルアプリケーションで効果を実証されているスイッチ型イーサネット アーキテクチャを通じて配備することができます。産業用イーサネットは、業界標準をベースにしているため、高いコストをかけて独自のシステムを開発する必要がなく、経費を削減できます。産業用イーサネットはまた、クリティカルな製造アプリケーションをサポートするために必要とされるネットワーク セキュリティ、パフォーマンス、およびアベイラビリティを提供します。

この新しいテクノロジーを配置するためには、製造現場のエンジニアが産業用イーサネットの基本となっているいくつかの重要なコンセプトに習熟している必要があります。本書では、現在使用されている最も重要な従来型イーサネット テクノロジーの一般的な概要を示します。また、産業用イーサネットがどのように、これまでの（専用）生産現場ネットワークを低コスト、高性能、高スケーラビリティのアーキ

テクチャにアップグレードするかを説明しません。最後に、産業用イーサネットが製造業者に注目されている理由となっているいくつかのインテリジェント機能について説明します。

イーサネットとは

イーサネットとは、現在使用されている主要なローカルエリア ネットワーク (LAN) テクノロジーで、世界の LAN 接続された PC およびワークステーションの約 85% で使用されています。イーサネットとは、IEEE 802.3 標準の適用対象となる LAN 製品のファミリーを指し、このテクノロジーは光ファイバとツイストペア ケーブルの両方で利用できます。イーサネットは、長年にわたって着実に進化し、パフォーマンスとネットワーク インテリジェンスを強化してきました。この継続的な改良によって、イーサネットは産業用アプリケーションのための卓越したソリューションになりました。今日、このテクノロジーは、下記のように、4 通りのデータ転送速度を提供できます。

- **10BASE-T イーサネット** は、ツイストペア銅線を介して最大 10 Mbps の伝送速度を提供します。
- **ファースト イーサネット** は、10BASE-T イーサネット仕様の 10 倍の伝送速度 (100 Mbps) を提供し、一方でイーサネットの多くの技術仕様を保持しています。この類似性によって、10BASE-T アプリケーションおよびネットワーク管理ツールをファーストネットワーク上でも使用できます。



- **ギガビット イーサネット**は、イーサネット プロトコルをさらに拡張し、伝送速度がファースト イーサネットの 10 倍の 1000 Mbps (1 Gbps) になりました。ギガビット イーサネットは、現在のイーサネット標準をベースにしており、イーサネットおよびファースト イーサネットのスイッチおよびルータのインストール ベースとの互換性があるので、ネットワーク管理者は、新しいテクノロジーについての再トレーニングや学習を必要とせず、ギガビット イーサネットをサポートできます。
- **10 ギガビット イーサネット** (2002 年 6 月に標準として承認) は、イーサネットのさらに高速のバージョンです。これは、IEEE 802.3 イーサネットの Media Access Control (MAC) プロトコル、IEEE 802.3 のイーサネット フレーム フォーマット、および IEEE 802.3 のフレーム サイズを使用します。10 ギガビット イーサネットはイーサネットの 1 つのタイプですから、イーサネット ベースのインテリジェント ネットワーク サービスをサポートし、既存のアーキテクチャと相互運用し、ユーザの学習効果を最大限高めることができます。10 Gbps という高いデータ転送速度によって、ワイド エリア ネットワーク (WAN) や大都市圏ネットワーク (MAN) に高い帯域幅を提供するための最適なソリューションとなっています。

世界中に 3 億個以上のスイッチ型イーサネット ポートがインストールされています。イーサネット テクノロジーがそのような広範な支持を受けているのは、そのわかりやすさと、配備、管理、保守の容易さのためです。イーサネットは、低コストで柔軟性があり、さまざまなネットワーク トポロジをサポートします。従来の、イーサネット以外のテクノロジーをベースにした産業用ソリューションではデータ転送速度が 500 Kbps ~ 12 Mbps でしたが、イーサネット テクノロジーではそれを大幅に上回るパフォーマンスを提供できます。また、業界標準をベースにしているため、どのベンダの、どのイーサネット適合の装置上でも実装し、接続できます。

オープン システム相互接続参照モデル

データ ネットワーキングの中心は、オープン システム相互接続 (OSI) 参照モデルです。この概念モデルは、あるコンピュータのソフトウェア アプリケーションからの情報が、ネットワーク媒体を介して他のコンピュータのソフトウェア アプリケーションに移動する方法を記述しています。このモデルは、1984 年に国際標準化機構 (ISO) によって開発され、現在ではコンピュータ間の通信の主要なアーキテクチャ モデルと見なされています。

OSI 参照モデルは、ネットワーク接続されたコンピュータ間の情報の移動に関わるタスクを 7 つのより小さな、より管理しやすいタスク グループに分割します。次に、これらのタスクは、OSI モデル内の 7 つのレイヤに割り当てられます。各レイヤは独立したレイヤですから、レイヤに割り当てられるタスクは単独に実装できます。図 1 は OSI の 7 つのレイヤを示しています。

図 1

OSI 参照モデルのレイヤ





OSI レイヤの機能

OSI 参照モデルの 7 つのレイヤは、下位レイヤ (1 ~ 4) と上位レイヤ (5 ~ 7) に分けることができます。OSI モデルの下位レイヤは主にデータ伝送に関連する問題を扱い、上位レイヤは主にアプリケーションを扱います。物理レイヤとデータ リンク レイヤはハードウェアとソフトウェアに実装されています。最下位レイヤである物理レイヤは、物理的なネットワーク媒体 (例、ネットワーク ケーブル) に最も近い位置にあります。イーサネットは、レイヤ 2 に対応します。このレイヤには、従来型のフィールド バスの実装の一部、たとえば Controller Area Network (CAN) プロトコルを使用する DeviceNet も対応します。レイヤ 3 は論理アドレス指定とルーティング (データを送信する方向の指定) を扱います。その最も一般的な実装では、World Wide Web のアドレス指定およびルーティングの中心である Internet Protocol (IP) が使用されます。下位レイヤの最後のレイヤ 4 はトランスポート層です。これは、データがエラーなしに、正しい順序で送信されることを保証します。産業用イーサネットは、従来型のイーサネット テクノロジーよりも広い範囲で定義されています。イーサネット テクノロジーはレイヤ 2 だけを参照しますが、産業用イーサネット ソリューションはレイヤ 3 およびレイヤ 4 も参照し、レイヤ 3 の IP アドレス指定と、レイヤ 4 の Transmission Control Protocol (TCP) および User Datagram Protocol (UDP) を使用します。

OSI 参照モデルの上位レイヤは、アプリケーション タスクを扱い、通常はソフトウェアにだけ実装されます。最上位レイヤであるアプリケーションレイヤは、エンド ユーザに最も近い位置にあります。ユーザとアプリケーションレイヤプロセスの両方が、ネットワーク通信を含むソフトウェア アプリケーションと相互動作します。

OSI 参照モデルの詳細については、次のサイトを参照してください。

http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/introint.htm#xtocid5

スイッチ型イーサネット アーキテクチャの利点

組織でイーサネット LAN を構築する場合、必要な装置およびアーキテクチャを種々の選択肢の中から選択できます。産業用ネットワーク環境では、スイッチ型イーサネット アーキテクチャが最も適切な選択です。スイッチによって、複数のユーザが、相互にスローダウンさせることなく、同時にネットワーク上に情報を送信できます。

完全なスイッチ型ネットワークにはハブがありませんから、各イーサネット ネットワークが各ノードに専用のセグメントを持っています。各セグメントにある装置はスイッチとノードだけですから、スイッチは、伝送されるデータが他のノードに到達する前に、すべての伝送データをピックアップします。スイッチは次に、データを適当なセグメントに送信します。完全なスイッチ型ネットワークでは、ノードはスイッチとだけ通信し、ノード同士が直接に通信することはありません。

完全なスイッチド ネットワークは、ツイストペア ケーブルまたは光ファイバ ケーブルを使用し、どちらのケーブルもデータの送信と受信に別々の導線を使用します。それによって、ノードとスイッチの間で同時に両方向にデータを伝送でき、衝突のない環境が実現されます。両方向の伝送によって、2 つのノードが情報を交換するとき、ネットワークの外見上の転送速度が 2 倍になります。たとえば、ネットワークの速度が 10 Mbps である場合、各ノードが同時に 10 Mbps で伝送できます。

スイッチは通常、OSI 参照モデルのレイヤ 2 (データ リンク) で、MAC アドレスを使用して機能します。これはハブおよび他の LAN 装置と比べて、いくつかの重要な利点があります。それらの利点を以下に示します。

- **確実性** — 確実性 (パケットが一定時間内に確実に送 / 受信されるよう保証する能力) は、産業用ネットワークの重要な設計目標です。ネットワークの確実性を高めるには、設計を可能な限り簡素な、構造化されたものにする必要があります。



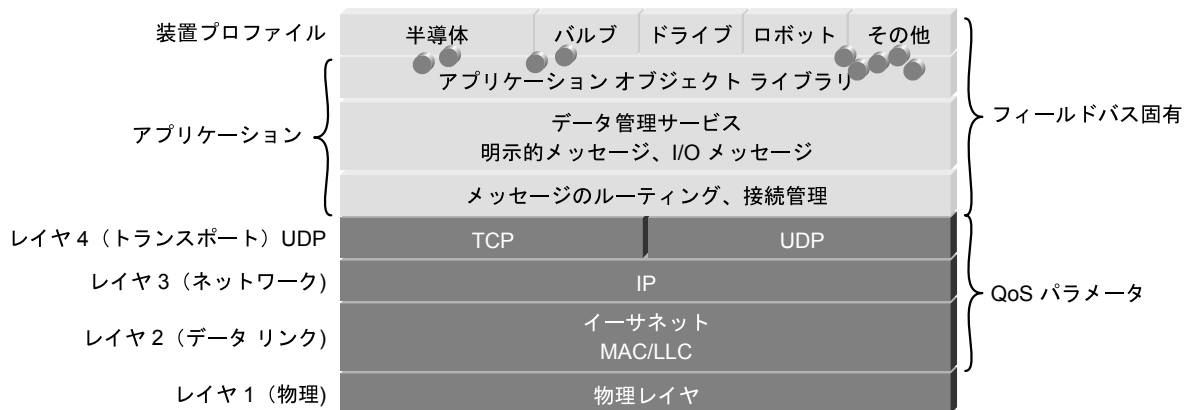
- **レイテンシ** — スイッチは通常、レイテンシ（ネットワーク パケットが送信元から送信先に伝送されるのに要する時間）が非常に小さいという特長があります。産業用アプリケーションのほとんどの制御動作で許容されるレイテンシは 10～50 ミリ秒（ms）です。産業用アプリケーションの制御トラフィック フレームは通常 500 バイト以下ですから、100 Mbps ではスイッチによるレイテンシは約 30 マイクロ秒にすぎず、ワーストケースでも約 100 マイクロ秒で、制限を十分に下回っており、転送速度はほとんどのアプリケーションで必要とされる速度の 100 倍です。
- **輻輳時のパケット損失** — 今日のインテリジェント スイッチは、サービス品質（QoS）機能によってクリティカルなトラフィックを優先することができ、輻輳によってそれが失われることはありません。インテリジェント スイッチに単純な QoS パラメータを実装することによって、ワイヤ速度で重要なトラフィックを重要でないトラフィックよりも優先することができ、それによって制御ネットワークのパケットの統合性が確保されます。重度の輻輳の場合でも、QoS 機能によって、重要なトラフィックは送信先に到達できます。
- **ブロードキャストとマルチキャスト** — 産業用アプリケーションは多くの場合、ブロードキャストまたはマルチキャスト通信に依存します。インテリジェント スイッチ プラットフォームでは、インターフェイスを動的に構成でき、トラフィックが要求されたデータと関連付けられているポートにだけ送信されるように構成できます。この機能は、ネットワーク上のトラフィックの負荷を減らし、クライアント装置を不必要なフレームの処理から解放します。
- **ネットワーク アナライザ** — インテリジェント スイッチでは、トラフィック アナライザがネットワーク内のすべてのポートを遠隔で監視できます。それによって、ネットワークの使用状態を監視し、最適化するための時間とコストを節約でき、配備が必要なハードウェアの数を減らすことができます。
- **標準化** — 産業用イーサネットを導入する主な理由の 1 つは、共通のインフラストラクチャを中心に標準化するというニーズです。企業と特定のベンダを結びつけるためにしばしば使用される専用テクノロジーとは異なり、標準化されたソリューションでは、ユーザは特定のソリューションに対して最適のアプリケーションを選択することができます。また、標準イーサネット ネットワークによって、生産現場でも、今日の多くのイーサネット ユーザが活用している「スケールメリット」が活用でき、経費を節減し、利用できる装置ベンダおよび製品の数を増やすことができます。

産業用イーサネットとは

多くの製造業者は、イーサネットが最有力のネットワーク ソリューションであることを認識して、従来のフィールドバスアーキテクチャから産業用イーサネットに移行しつつあります。産業用イーサネットは、データ通信用に開発されたイーサネット標準を製造管理ネットワークに適用します（図 2）。IEEE 標準ベースの装置を使用して、工場の条件に応じたペースで、工場における作業の全部または一部をイーサネット環境に移植できます。



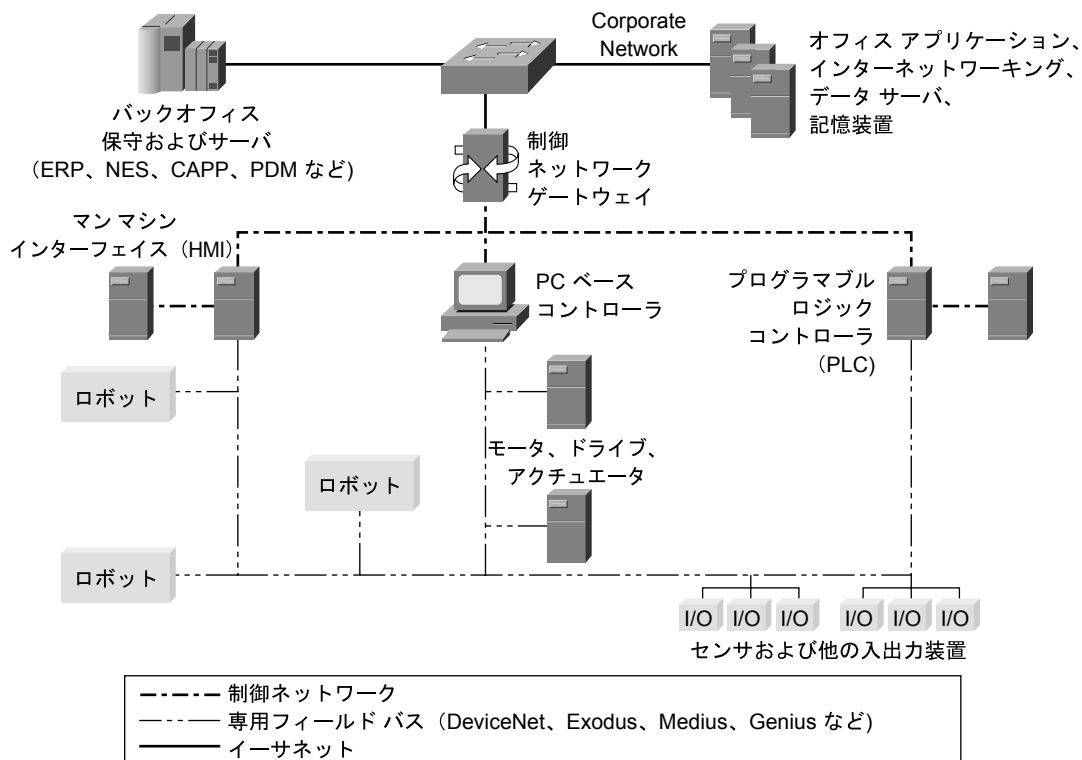
図 2
自動制御へのインテリジェント イーサネットの使用



たとえば、Common Industrial Protocol をベースにした装置レベルのネットワークである DeviceNet をイーサネット環境に移植できます (図 3)。フィールドバス データ構造がイーサネット、IP、およびトランスポート層 (レイヤ 4) の TCP/UDP を介して OSI 参照モデルのレイヤ 5、6、および 7 に適用されます。

産業用イーサネットの利点は、組織および装置が、従来のツールおよびアプリケーションを、従来よりもはるかに効率的な ネットワーキング インフラストラクチャ上で引き続き使用できることです。

図 3
専用フィールドバス アーキテクチャ





産業用イーサネットは、製造装置にこれまでよりもはるかに高速の通信手段を提供するだけでなく、ユーザにより高度の接続能力と透過性を提供し、ユーザが別々のゲートウェイを必要とされることなく、希望する装置に接続できるようにします。

従来は別々だったネットワーク

今日、多くの製造会社は、生産現場の業務のサポートとビジネス業務のサポートのために別々のネットワークを維持しています。長年の間に、それぞれのネットワークは製造工程に関わる異なる種類の情報の流れと制御要件に対応するように開発されてきました。

企業 IT ネットワークは、従来の管理機能と企業アプリケーション（人的資源、会計処理、調達など）をサポートします。このネットワークは通常、イーサネット標準をベースにしています。

制御レベルネットワークは、プログラマブル ロジック コントローラ、PC ベースのコントローラ、I/O ラック、マン マシン インタフェース（HMI）などの制御および監視装置を接続します。このネットワーク（従来はイーサネット ベースではありませんでした）は、ルータ、あるいは（ほとんどの場合）アプリケーション固有のプロトコルをイーサネット ベースのプロトコルに変換するためのゲートウェイを必要とします。この変換によって、生産現場の制御ネットワークと企業ネットワーク インフラストラクチャの間で情報を交換できるようになります。

装置レベルのネットワークは、生産現場の I/O 装置（トランスデューサ、フォトアイ、フローメータなどのセンサを含む）と他の自動化および動作装置（ロボット、可変周波数ドライブ、アクチュエータなど）をリンクします。従来はこれらの装置間の相互接続は、DeviceNet、Profibus、Modbus などのフィールドバスによって実現されていました。各フィールドバスには、それがサポートする工場アプリケーションに応じて、固有の電源、ケーブル、および通信の要件がありました。そのため同じスペース内で複数のネットワークが重複し、同じ組織の中に複数の予備品、技術者、サポート プログラムのセットが必要とされました。

産業用イーサネットでは、複数の独立したネットワークから成るアーキテクチャを使用するのではなく、企業の管理、制御レベル、および装置レベルのネットワークを統合し、1 つのネットワーク インフラストラクチャ上で実行できるようにします。産業用イーサネット ネットワークでは、I/O 装置および他の製造コンポーネントを制御するために使用するフィールドバス固有の情報はイーサネット フレームに組み込まれます。このテクノロジーは、カスタムまたは固有のテクノロジーではなく、業界標準をベースにしていますから、他のネットワーク装置や他のネットワークとの相互運用能力が高くなります。

製造のニーズに合わせたテクノロジー

産業用イーサネットは従来のイーサネット テクノロジーと同じ業界標準をベースにしていますが、これらの 2 つのソリューションの実装は常に同じではありません。一般的に、産業用イーサネットは、従来の企業データ ネットワーク内のイーサネット ネットワークと比較すると、より堅牢な装置と、非常に高度のトラフィック優先順位設定を必要とします。

産業用イーサネットと従来のイーサネットの主な違いは、使用するハードウェアのタイプです。産業用イーサネット装置は、過酷な環境で機能するように設計されています。それには、産業グレードのコンポーネント、対流冷却、およびリレー出力信号機能が含まれます。また、極端な温度、極度の振動および衝撃のもとで機能するように設計されています。工業環境での電源要件は、データ ネットワークとは異なります。そのため装置は 24 ボルトの DC 電源を使用して実行します。それは、ネットワークの可用性を最大限にするために、冗長電源などのフォルトトレランス機能も含まれます。

産業用イーサネット環境は、特定のアプリケーションでホストによるマルチキャストを使用する点でも、従来のイーサネットと異なります。産業用アプリケーションではしばしば、生産者と消費者の間の通信を使用します。そこでは 1 台の装置によって「生産された」情報が他の装置のグループによって「消費」されます（ボックスを参照）。生産者 - 消費者環境では、マルチキャスト アプリケーションの最も重要な優先事項は、すべてのホストが同時にデータを受け取ることを保証することです。これに対して、従来のイーサネット ネットワークでは、同時的なデータ アクセスよりも帯域幅全体の効率的な使用が重視されています。産業用イーサネットでは、同期データ アクセスを最適化できるように、マルチキャスト伝送に適切な優先順位を設定することを可能にするインテリジェンス機能および QoS 機能が必要です。



業界での支持が高まる

産業用イーサネット テクノロジは、Industrial Ethernet Association (IEA)、Open DeviceNet Vendor Association (ODVA)、Modbus.org、Fieldbus Foundation、Industrial Automation Open Networking Alliance (IAONA) をはじめとするさまざまな組織やベンダからの支持が急速に高まっています。

ネットワークの要件：インテリジェンスの必要性

産業用イーサネット ソリューションを実装する場合、製造アプリケーションをサポートするために必要なインテリジェント機能を提供するイーサネット製品を注意して選択する必要があります。ネットワーク インテリジェンスによって、従来のフィールドバス ソリューションと同等の復元力とネットワーク セキュリティを備え、しかも、イーサネット ベースのプラットフォームによって実現される高い帯域幅、オープン コネクティビティ、および標準化を提供する製造インフラストラクチャを構築することができます。インテリジェント産業用イーサネット ソリューションは、重要な特性として、ネットワーク セキュリティ、信頼性、および確実性を備えています。

ネットワーク セキュリティ

イーサネット テクノロジは、製造アプリケーションのための優れたパフォーマンスを提供するだけでなく、機密性とデータ統合性を保証するための広範なネットワーク セキュリティ手段を提供します。機密性は、権限がないユーザがデータにアクセスできないことを保証します。データ統合性は、データを意図的または偶発的な変更から保護します。これらのネットワーク セキュリティ手段は、プログラマブル ロジック コントローラ (PLC) などの製造装置や PC を保護し、装置とデータ セキュリティの両方を保護します。

製造業者は、多くの方法でネットワークの機密性と統合性を保証できます。これらのネットワーク セキュリティ手段は、アクセス制御と認証、安全なコネクティビティと管理などのいくつかのカテゴリに分類することができます。

アクセス制御と認証

アクセス制御は一般的に、ファイアウォールやネットワーク ベースの制御を使用して実装され、クリティカルなアプリケーション、装置、およびデータへのアクセスを保護し、認証されたユーザおよび情報だけがネットワークにアクセスできるようにします。しかし、アクセス制御テクノロジーは、専用ファイアウォール装置に限定されません。ネットワーク / トラフィックの許可または拒否を決定できるすべての装置 (例、インテリジェント スイッチ) が統合アクセス制御ソリューションの一部を構成しています。

アクセス制御ソリューションを設計するとき、ネットワーク管理者は、IP アドレスや TCP/UDP ポート番号をはじめとする種々の基準に従ってフィルタリングを設定できます。インテリジェント スイッチは、この拡張フィルタリング機能をサポートし、ネットワーク アクセス権限をもつユーザに制限します。同時に、ノートパソコンまたは PLC の IP または MAC アドレスを基準とするポリシー決定を実施できます。



仮想 LAN (VLAN) は、もう 1 つのアクセス制御ソリューションであり、それによってイーサネット スイッチ内に複数の IP サブネットを生成することができます。VLAN は、生産現場のデータを他のデータやユーザから実質的に分離することによって、ネットワークのセキュリティと隔離を実現します。また、VLAN によって優先度の低いエンド装置を優先度の高いデバイスから分離することによってネットワーク パフォーマンスを向上させることができます。

アクセス制御には、種々の装置またはユーザ認証サービスを含めることもできます。認証サービスは、誰がネットワークにアクセスでき、どのようなサービスの使用を許可されるかを決定します。たとえば、802.1x 認証プロトコルは、ポート ベースの認証を提供し、認証された装置だけがスイッチ ポートに接続できるようにします。認証サービスは、製造環境で他のネットワーク セキュリティ手段を効果的に補完します。

安全なコネクティビティと管理

製造ネットワークの保護を強化するために、ネットワーク トラフィックを認証および暗号化するための一連の方法を採用することができます。仮想プライベート ネットワーク (VPN) テクノロジーを使用して、Secure Sockets Layer (SSL) 暗号化を IP ネットワーク内のアプリケーション層に適用することができます。また、スニフヤスプーフィングなどのネットワーク攻撃を防ぐために、IP Security (IPSec) テクノロジーを使用してネットワーク パケットを暗号化および認証することもできます。

VPN クライアント ソフトウェアを専用の VPN ネットワーク ハードウェアと合わせて使用することによって、装置の監視セッションおよびプログラミング セッションを暗号化し、強度の高い認証をサポートすることができます。また、製造業者は、ネットワーク装置への遠隔端末ログインに対して Secure Shell (SSH) プロトコル暗号化を使用することができます。Simple Network Management Protocol (SNMP) バージョン 3 も、管理コマンドおよびデータの暗号化および認証化へのサポートを提供します。

信頼性

生産現場のアプリケーションはリアルタイムで実行していますから、ネットワークはユーザが継続的に使用でき、ダウンタイムがほとんどない（または全くない）ようにしておく必要があります。製造業者は、効果的なネットワーク設計原則およびインテリジェント ネットワーク サービスを使用することによって、ネットワークの信頼性を保証することができます。

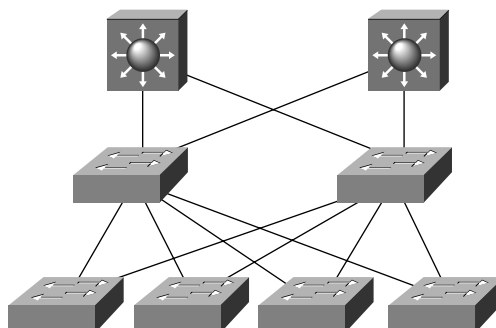
ネットワーク トポロジ

イーサネット ソリューションを配備する製造業者は、1 台の装置が停止してもネットワーク全体が停止しないように、冗長パスを備えたネットワークを設計する必要があります。最も一般的に使用されている 2 つのネットワーク トポロジは、リング型とハブ & スポーク型です（図 4 を参照）で、通常は 3 つのレイヤのスイッチがインストールされています。最初のレイヤは、アクセスレイヤと呼ばれます。これらのスイッチは、PLC、ロボット、HMI などのエンドポイント装置への接続を提供します。2 番目のレイヤは分散レイヤと呼ばれ、アクセスレイヤのスイッチ間のコネクティビティを提供します。3 番目のレイヤはコアレイヤと呼ばれ、ルータを介して他のネットワークまたはインターネット サービス プロバイダ (ISP) へのコネクティビティを提供します。分散レイヤは、VLAN 間のルーティングを提供するためのルーティング機能を備えたスイッチを含む場合があります。これに対して、アクセスレイヤ スイッチは、一般的にはレイヤ 2（データ リンク）転送サービスだけを提供します。パフォーマンスを最適化するために、各レイヤのネットワーク装置は、レイヤ 2～レイヤ 4 のパケット ヘッダ内に含まれている情報を認識している必要があります。



図 4

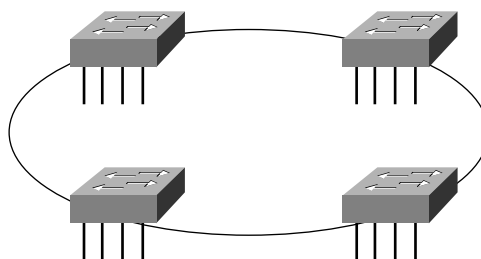
ハブ & スポーク型ネットワークトポロジ



リング型トポロジ (図 5) では、すべての装置がリング形に接続されています。各装置には左右にネイバーがあります。装置の一方の側の接続が切断された場合でも、ネットワーク コネクティビティは装置の反対側を介して保持されます。状況によっては、製造業者はアベイラビリティを最大化するために、二重リングをインストールすることもできます。リングトポロジでは、各スイッチは、アクセスレイヤスイッチおよび分散レイヤスイッチの両方の機能を持ちます。

図 5

リングトポロジ



スパンニング ツリー プロトコル

装置が複数のパスを介して相互接続されているとき、ループが形成されるのを防止するために、スパンニング ツリー プロトコルを使用する場合があります。このプロトコルは、ネットワーク ノードで問題が発生した場合に、冗長代替リンクを有効にして、ネットワークを自動的にオンラインに回復します。

従来の **Spanning Tree Protocol** は遅すぎて、工業環境には適さないと考えられていました。このパフォーマンスの問題に対処するため、IEEE 標準委員会は、新たに **Rapid Spanning Tree Protocol (802.1w)** を承認しました。このプロトコルでは、収束時間が 1 秒未満となります (ネットワーク トポロジによって、200 ~ 800 ms の範囲)。802.1w を使用すると、イーサネット ネットワークの種々の利点と、製造アプリケーションが要求するパフォーマンスと信頼性の両方を実現することができます。

もう 1 つのスパンニングツリー オプションは、**Multiple Spanning Tree Protocol (802.1s)** です。これによって **VLAN** をスパンニング ツリー インスタンスにグループ化することができます。各インスタンスには、他のスパンニングツリー インスタンスからは独立した 1 つのスパンニング ツリー トポロジがあります。このアーキテクチャでは、データトラフィックのために複数の転送パスを使用し、負荷分散を可能にし、多数の **VLAN** をサポートするために必要なスパンニングツリー インスタンスの数を減らすことができます。



Option 82 の使用

イーサネット スイッチは、優れたコネクティビティとパフォーマンスを提供しますが、各スイッチを生産現場で管理しなければなりません。スイッチ型イーサネット ネットワークのサポートと保守を簡単にするために、インテリジェント スイッチにはいくつかの管理機能が組み込まれています。これらのインテリジェント機能を使用すると、製造装置をネットワークに簡単に接続でき、追加の構成タスクの必要がありません。また、この機能によって、ネットワークの一部が故障した場合のネットワークのダウンタイムを最小限にすることができます。最も便利なインテリジェント機能の 1 つが Option 82 です。

イーサネット ネットワークでは、Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP) によって、装置が中央サーバからその IP アドレスを動的に取得します。DHCP サーバは、常に同じアドレスを割り当てるように構成するか、または、利用可能なアドレスのプールから 1 つの動的アドレスを生成するように構成することができます。

生産現場の装置間の相互動作のためには固有のアドレスが必要とされるため、産業用イーサネットは通常、動的アドレスプールを使用しません。しかし、静的アドレスには欠点があります。静的アドレスは、クライアントの MAC アドレスにリンクされており、MAC アドレスは多くの場合、クライアント装置のネットワーク インタフェースでハードコード化されていますから、クライアント装置が故障し、交換する必要がある場合、この関連付けが失われます。

DHCP パケットの拡張フィールドは、スイッチによって、IP アドレスを要求している装置の位置を示す情報を入力することができます。この 82 番目のオプションフィールド (Option 82 と呼ばれます) は、DHCP 要求を受信したスイッチの固有のポート番号と MAC アドレスを保持します。この変更された要求は DHCP サーバに送信されます。アクセス サーバが Option 82 に対応しているサーバである場合、この情報を使用して Option 82 情報を基に IP アドレスを生成することができます。Option 82 を効果的に使用することによって、製造業者は管理上の要求を最小限にし、個別の装置が故障した場合でも最大限のネットワーク稼働時間を維持できます。

確実性

製造プロセスは、プロセスの正確な同期化に依存しますから、可能な最大限のパフォーマンスを実現するためにはネットワークの確実性を最適化する必要があります。クリティカルな情報が最初に受信されるように、QoS を使用してデータの優先順序を設定する必要があります。また、製造環境で普及しているマルチキャスト アプリケーションは、Internet Group Management Protocol (IGMP) スヌーピングを使用して適切に管理する必要があります。

産業用イーサネットでの生産者 — 消費者モデル

多くの産業用イーサネット アプリケーションは、IP マルチキャスト テクノロジーに依存しています。IP マルチキャストによってホスト (または送信元) は、IP マルチキャスト グループ アドレスと呼ばれる特殊な形式の IP アドレスを使用して、IP ネットワーク内の任意の場所にある別のホストのグループ (レシーバーと言います) にパケットを送信することができます。

従来のマルチキャスト サービス (ビデオやマルチメディアなど) はストリームの数に従ってスケールする傾向がありましたが、産業用イーサネットのマルチキャスト アプリケーションはそうではありません。産業用イーサネット環境では、生産者 - 消費者モデルを使用します。そこでは、装置は「タグ」と呼ばれるデータを生成し、そのデータを他の装置が消費します。データを生成する装置が生産者で、情報を受信する装置が消費者です。マルチキャストは、ユニキャストよりも効率的です。なぜなら消費者はしばしば、同じ情報を特定の生産者から受け取ることを希望するからです。ネットワーク上の各装置は、トラフィックの生産者となったり消費者となったりします。

ほとんどの装置はごく少量のデータだけを生成しますが、多数のノードを含むネットワークでは、大量のマルチキャストトラフィックが生成されることがあり、ネットワーク内の端末装置をオーバランさせる場合があります。QoS や IGMP スヌーピングのようなメカニズムを使用することによって、製造環境でのマルチキャストトラフィックを制御および管理することができます。



Quality-of-Service (QoS)

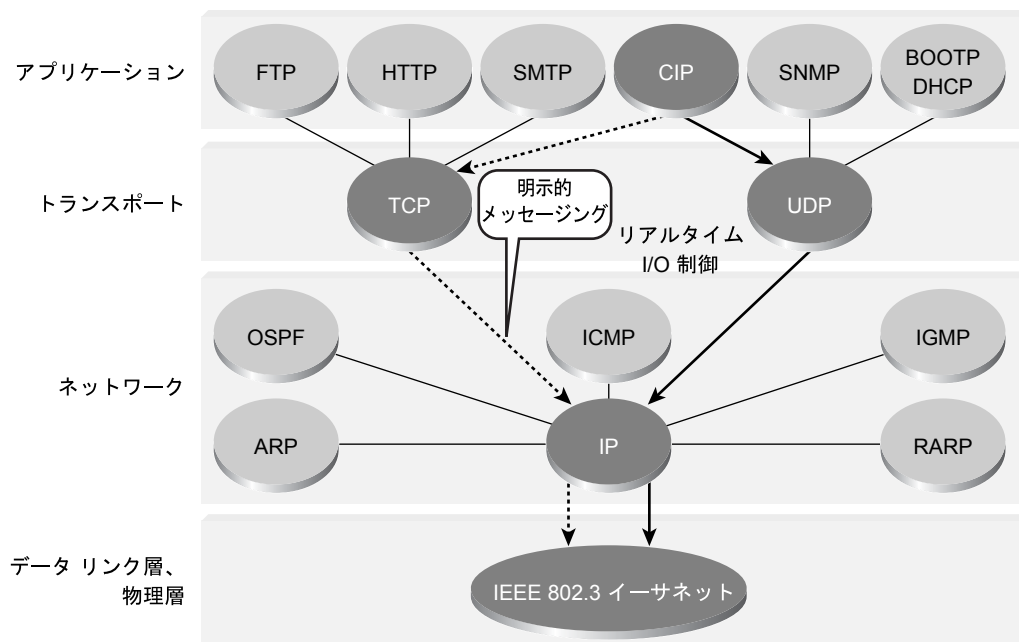
産業用イーサネット ネットワークは、ルーティング データからクリティカルな制御情報まで、さらには多くの帯域幅を使用するビデオや音声まで、さまざまなタイプのトラフィックを伝送できます。ネットワークは、トラフィックのタイプを識別し、それぞれに優先順位を割り当てる機能を必要とします。

この問題に対処するために、一連のテクニックを使って QoS を実装することができます。QoS には 3 つの重要なステップがあります。第 1 に、分類テクニックによって、ネットワーク内の種々のトラフィックのタイプを識別する必要があります。第 2 に、輻輳時に優先度が高いトラフィックが失われないように、拡張バッファ管理テクニックを実装する必要があります。最後に、優先度が高いトラフィックをできる限りすばやくキューから伝送するために、スケジューリング テクニックを組み込む必要があります。

イーサネット ネットワークのレイヤ 2 スイッチでは、QoS は通常、ネイティブの、カプセル化されたイーサネット フレーム、または 802.1p CoS (class of service) 仕様のタグが付いているフレームを優先します。より高度な QoS メカニズムでは、この定義をさらに 1 ステップ進めます。たとえば、拡張イーサネット スイッチは、QoS トラフィックがスイッチを通過する間に、QoS トラフィックの流れを学習し、解釈します。

OSI 参照モデル (図 6) の種々のレイヤで指定されている基準に基づいてフレームに優先順位を設定するようにスイッチを構成することができます。たとえば、送信元 MAC アドレス (レイヤ 2) や、送信先 TCP ポート (レイヤ 4) を基準にしてトラフィックの優先順位を設定することができます。この QoS が適用されるインタフェースを通過するすべてのトラフィックが分類され、該当する優先順位を示すタグが付けられます。パケットは分類された後、スイッチ内の一時保存キューに入れられ、次に、指定したスケジューリング アルゴリズムに従ってスケジューリングされます。

図 6
産業用アプリケーションへの QoS の適用





産業用イーサネット アプリケーションでは、リアルタイム I/O 制御トラフィックは、構成 (FTP) およびデータ収集フロー、および OSI 参照モデルの上位レイヤ内の他のトラフィックとの間でネットワーク リソースを共有します。QoS を使用してリアルタイム UDP 制御トラフィックに高い優先順位を割り当てることによって、遅延やジッタが制御機能に影響を及ぼすのを避けることができます。

IGMP スヌーピング

多くの製造アプリケーションは、マルチキャスト トラフィックに依存しており、これはネットワークにパフォーマンス上の問題をもたらす可能性があります。産業用イーサネット環境でのこれらの問題に対処するために、IGMP スヌーピングを配備することができます。IGMP スヌーピングは、マルチキャスト トラフィックが IP マルチキャスト装置に関連付けられているインタフェースにだけ転送されるように、インタフェースを動的に構成することによって、マルチキャスト トラフィックの転送量を制限します。つまり、マルチキャスト メッセージがスイッチに送信されたとき、スイッチは、トラフィックに関心を持つインタフェースにだけメッセージを転送します。IGMP スヌーピングは、ネットワークを通過するトラフィックの負荷を減らしますから、非常に重要な機能です。これはまた、ホストを必要のないフレームの処理から解放します。

産業用イーサネットで使用される生産者 - 消費者モデルでは、IGMP スヌーピングは、生産者である I/O 装置からの不必要なトラフィックを制限し、トラフィックがそのデータを消費する装置にだけ到達するようにします。ある装置に、他の装置に送信することを意図しているメッセージが配信されると、そのためにリソースが消費され、パフォーマンスが低下しますから、多くの装置がマルチキャストを送信するようなネットワークでは、IGMP スヌーピングまたは他のマルチキャスト制限スキーマが実装されていない場合、パフォーマンス上の問題が起こる可能性があります。

IGMP スヌーピング機能によって、イーサネット スイッチは、ホスト間の IGMP 会話を傍受することができます。IGMP スヌーピングによって、イーサネット スイッチはスイッチで受信された IGMP トラフィックを調べ、マルチキャスト グループとメンバー ポートを追跡記録します。スイッチが特定のマルチキャスト グループのホストから「IGMP join」レポートを受信したとき、スイッチはホストのポート番号を、関連マルチキャスト 転送テーブルのエントリに追加します。ホストから IGMP 「leave group」メッセージを受信したとき、そのテーブル エントリからホスト ポートを削除します。スイッチは定期的に、IGMP クエリを中継した後にマルチキャスト クライアントから IGMP メンバーシップ レポートを受信しなかったエントリを削除します。通常はレイヤ 3 ルータがクエリ機能を実行します。

ネットワーク内で、IGMP スヌーピングがレイヤ 3 装置によって有効にされているとき、マルチキャスト ルータは定期的に IGMP の一般的なクエリをすべての VLAN に送信します。スイッチは、ルータからクエリに対して、1 つの MAC マルチキャスト グループにつき 1 つの「加入」要求だけを返します。次に、スイッチは、スイッチに IGMP join 要求を送信した各 MAC グループのレイヤ 2 転送テーブルに、1 つの VLAN につき 1 つのエントリを作成します。このマルチキャスト トラフィックに関心を持つすべてのホストは「加入」要求を送信し、転送テーブル エントリに追加されます。

IGMP スヌーピングを通じて学習したレイヤ 2 マルチキャスト グループは動的ですが、管理対象のスイッチでは、MAC マルチキャスト グループを静的に構成することもできます。この静的設定は、IGMP スヌーピングによる自動処理よりも優先されます。マルチキャスト グループ メンバーシップのリストには、ユーザ定義の設定と IGMP スヌーピングを介して学習した設定の両方を含めることができます。

結論

製造環境におけるイーサネットへの移行は、企業が産業用イーサネットがもたらす多くの利点を認識するようになるのに伴って、着実に進んでいます。ARC Advisory Group の調査によると、産業用イーサネット装置の市場は 2001 年から 2003 年の間に、年間 50 % 以上の割合で拡大しています。

産業用イーサネットの成功の理由は明らかです。このテクノロジーによって、製造業者は、現在使用している種々の製造ネットワークアーキテクチャ（ここでは種々の装置ベンダによって提供される製品が使用されています）を標準化し、連結することができます。産業用イーサネットは標準ベースのテクノロジーですから、企業は「スケールメリット」を活用しながら、生産現場における固有の要件をサポートするために必要な柔軟性を確保することができます。産業用イーサネットは、企業データ用のイーサネット環境で使用されているインテリジェント ネットワーキング機能を使用しますから、ネットワーク接続された製造装置に対して、これまでよりもはるかに効率的な制御を行うことができます。

適切に実装された産業用イーサネット ネットワークは、単に従来の製造ネットワークの機能をエミュレートするだけではありません。これによって企業は、その社内データ ネットワークと生産現場をより緊密にリンクし、企業全体の業務の効率を高めることができます。また、製造業者は、既存の数百万ものイーサネット ネットワークをサポートする最新の技術を利用することによって、将来の長期にわたるビジネス ニーズをサポートするために、広範な新規のアプリケーションを実現させることができます。

©2004 Cisco Systems, Inc. All rights reserved.

Cisco、Cisco Systems、および Cisco ロゴは米国およびその他の国における Cisco Systems, Inc. の商標または登録商標です。
この文書で説明した商品、サービスはすべて、それぞれの所有者の商標、サービスマーク、登録商標、登録サービスマークです。
この資料に記載された仕様は予告なく変更する場合があります。



シスコシステムズ株式会社

URL: <http://www.cisco.com/jp/>
問合せ URL: <http://www.cisco.com/jp/go/contactcenter/>
〒 107-0052 東京都港区赤坂 2-14-27 国際新赤坂ビル東館
TEL: 03-6670-2992

電話でのお問合せは、以下の時間帯で受付けております。
平日 10:00 ~ 12:00 および 13:00 ~ 17:00