

EtherCAT & TSN

— 産業用イーサネット・システムアーキテクチャの最適活用事例 —

著者

Dr. Karl Weber, EtherCAT Technology Group

概要

イーサネットと組み合わせた IEEE 802.1Q 規格がオフィスネットワークに最適であるのに対し、EtherCAT はフィールドバス分野の最有力な技術である。新しいタイムセンシティブネットワークング (TSN) 規格は IEEE 802 ネットワークにリアルタイム性能をもたらす技術である。EtherCAT を装置レベルで使用し、スイッチで装置間を接続する方式が最新の産業用イーサネットネットワークアーキテクチャである。しかしながら複雑な装置システムにおいては内部の通信インフラストラクチャのさらなる強化が必要なことがある。EtherCAT セグメントを TSN ネットワークに統合すれば、EtherCAT スレーブに一切の変更を行うことなく両方の技術の利点を組み合わせて活用できる。この適用方法はマスタ側の変更と、EtherCAT セグメントと接続するスイッチの軽微な拡張で実現できる。

目次

I. 目的	2
II. EtherCAT & TSN – 産業用イーサネット・システムアーキテクチャの最適活用事例	3
1. TSN について	3
TSN タスクグループ	3
TSN 規格	3
2. EtherCAT と IEEE 802 ネットワークとの統合	5
動作について	6
3. EtherCAT & TSN: 完璧な組み合わせ	7



I. 目的

TSN (タイムセンシティブネットワーキング) はこのタスクグループの設立以来、産業界で非常に有名な略語となった。TSN タスクグループの設立目的は IEEE 802 ネットワークに時間確定的なサービスをもたらすことにある。TSN は製造装置からオフィスビルまで様々なアプリケーションで活用可能な技術である。当初の TSN の設計は莫大な数のエンドステーションからなるシステム内で、オーディオ・ビデオ (A/V) の大容量データのストリーミングを対象としていた。TSN は IEEE 802 ベストエフォートネットワーキングモデルに新しくストリーミングの概念をもちこんで拡張を行った。この概念はストリームのリアルタイム性能を改善する機能のセットである。



II. EtherCAT & TSN –

産業用イーサネット・システムアーキテクチャの最適活用事例

1. TSN について

TSN タスクグループ

TSN タスクグループはブリッジネットワークを対象とする IEEE 802.1 ワーキンググループに所属している。「ブリッジング(bridging)」という用語は標準化活動内で使用されているものであるが、一般的には「スイッチング(switching)」という用語でよく知られている。TSN は通信混雑によるフレームを喪失させることなく、IEEE 802 ネットワーク内の通信フレームの一部に対して通信遅延を改善する。

これはスイッチング技術の世界の変化を意味する。しかしイーサネットネットワークの基本的な課題を解決するものではなく、エンドノードとの小容量データ交換は効率が低いままで、これが直接的に解決してくれるのは主に伝送経路は柔軟にできるものの設定は複雑で時間がかかる。

TSN 内でブリッジ接続したエンドステーション間の通信は「ストリーム(stream)」によって行う。IEEE 802.1 規格ではストリームの送信側に「トーカー(talker)」、ストリームの受信側に「リスナ(listener)」という用語を用いる。ストリームはトーカーから 1 つ以上のリスナへの一方向の通信である。ストリームは IEEE 802.1 ネットワークで機能するようにストリーム ID を必要とする。イーサネットの宛先 MAC アドレスと VLAN ID をこの用途に使用できる。

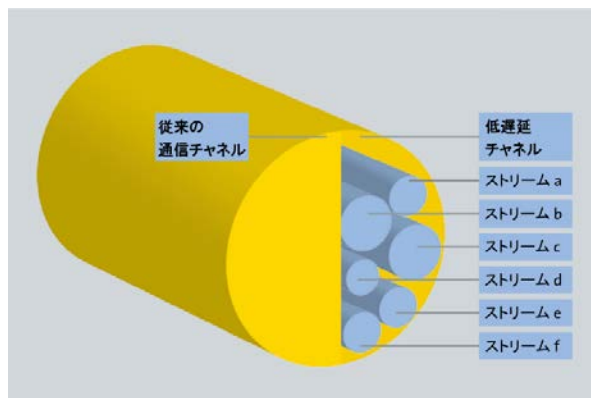


Figure 1. ストリームはイーサネットチャンネル内に通信チャンネルを予約

TSN 規格

TSN タスクグループは産業用イーサネットソリューションの拡張に関連するいくつかの規格プロジェクトから始まった。これらのプロジェクトには以下の規格が含まれる。

- **同期機能の改善 (IEEE 802.1AS-REV: Improved synchronization behavior)**

IEEE 802.1AS の以前のバージョンで既に IEEE 1588 規格に基づく分散時計の時刻の同期プロトコルが規定され、標準イーサネット環境への統合を推奨した。しかし、その結果、他の 1588 イーサネットプロファイルとの互換性が失われた。新しいバージョンはワンステップ・トランスペアレントクロックという一般に受け入れられた機能を統合する。これが直接的に解決してくれるのは主にエラーのレスポンスである。新しいバージョンではエンドステーションに対し異なるタイムドメインを処理できる。

- **フレームプリエンプション (IEEE 802.1Qbu: Frame preemption)**

タイムクリティカルなメッセージに対して時間確定的な通信を行う際に発生する大きな問題は、同じネットワークセグメントを流れる従来のトラフィックとの干渉であり、個々のフレームが 1500 バイトを超える場合である。フレーム割り込み機能は (イーサネットプロジェクト P802.3br 内の IEEE ワーキンググループで規定された) このような長いフレームによって発生する遅延を軽減できる。最終的に、このメカニズムは新しいネットワークコンポーネントだけでなく、エンドステーション



ンにおいてプリエンプションをサポートするためにイーサネットハードウェアの変更が必要となり、新しいイーサネット MAC もしくはネットワークインタフェースコントローラ (NIC) を使用しなければならない。

- **スケジュール化トラフィックの拡張 (IEEE 802.1Qbv and IEEE 802.1Qch: Enhancements for scheduled traffic)**

送信処理の時間制御は TSN の主要な役割を担っている。現実の道路と全く同様に、情報のハイウェイでも交通渋滞が発生し、高優先度、リアルタイムデータおよびプリエンプションであっても送信時間にいくらかのジッタが生じる。タイムセンシティブストリームは周期的に送信されるので、周期通信を開始する直前に時間的要件の低いデータをブロックすることで、影響をほぼ受けない通信を実現できる。周期スケジューリング (IEEE 802.1Qch: Cyclic Scheduling) はタイムクリティカルなメッセージを各サイクルですぐ隣のデバイスのみ転送する。この機能はカスケードの階層が少ないときに利点がある。実装時の設定作業も不要である。

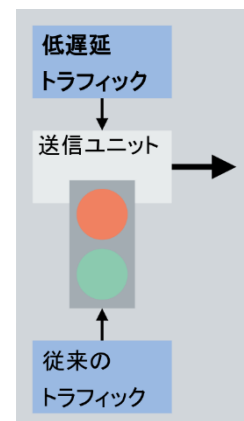


Figure 2. 低遅延トラフィックへの干渉を避けるため従来のトラフィックをブロック

- **シームレスリダンダンシ (IEEE 802.1CB: Seamless redundancy)**

国際規格において既にシームレスリダンダンシに対し高可用性シームレスリダンダンシ (HSR: High-Availability Seamless Redundancy) もしくは並列リダンダンシプロトコル (PRP: Parallel Redundancy Protocol) というプロトコルが規定されているが、これらは冗長性を構成するためのステーション間の完全なデータ交換を要件とする。IEEE 802 ネットワーク内のシームレスリダンダンシは個別のクリティカルなデータストリームのみ適用される。これにより管理機能によるオーバーヘッドを軽減できる。

- **ストリーム予約の拡張 (IEEE 802.1Qcc: Stream reservation enhancements)**

ストリーム予約プロトコルは IEEE 802.1 (MSRP) で定義されているが、スケジュール化トラフィックに関して制限がある。IEEE 802.1Qcc は既存の予約プロトコルの拡張と位置付けられる予定だった。しかし、既存の予約プロトコルを拡張するだけでは TSN で追加されたすべての要件に適合することが不可能であることが判明した。このため、あるレベルの性能を達成できるようにドラフト版規格において別の方式が提案されている。これは、全ての条件で最適性能を出すことはできないが柔軟性の高いシステムを構築できる分散モデルから、より最適化したシステムのため運用中のストリーム設定の変更が制限されることもあり、かつ設定工数が大幅に増大することになるストリームの集中設定までに及ぶ。

- **ストリームごとのフィルタリングとポリシ (IEEE 802.1Qci: Per stream filtering and policing)**

エキスパートらが議論している追加的な事項は不正な動作をするノードの影響を最小にする方法である。最終的に、ノードの入口側 (ingress) ではストリームごとにリンクトラフィックを監視しなければならないことになった。帯域消費がしきい値を超えると、例えば遅延やフレーム落ちのために特定の処理を実行することになる。

- **産業オートメーション用 TSN プロファイル (Joint WG IEC/IEEE 60802: TSN Profile for Industrial Automation)**

この産業オートメーション用プロファイルは、産業オートメーションネットワークを構成する機能、オプション、設定、既定値、プロトコルおよび、ブリッジ、エンドステーションと LAN の動作手順を定義する。



2. EtherCAT と IEEE 802 ネットワークとの統合

TSN 自体と、(EtherCAT のような) 最適化されたイーサネットフィールドバスとを比較することは適切ではない。理由は TSN が IT トラフィックに加え、中程度の性能要件のプロセスデータ交換を組み合わせた通信を可能にする、スイッチング技術に対するベストエフォート動作原理へのアドオン機能だからである。しかし、より大きな帯域幅への要求と制御システムのスケラビリティは複雑な装置内のバックボーン技術として EtherCAT セグメントと組み合わせて使用する理由となりうる。

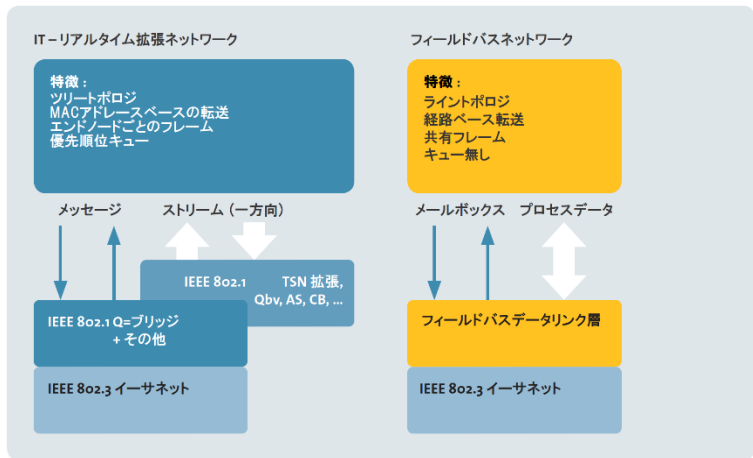


Figure 3. IT ネットワークとフィールドバス間との特徴の大きな違い

EtherCAT & TSN の I/O レベルの構成と性能は一般的なスイッチ接続環境と大きく異なる。主要要素は、デバイスあたりの小容量リアルタイムデータ、デバイス間のディジーチェーン接続およびマスタ・スレーブ間通信であり、1 台のマスタ制御ユニットと複数の低コストフィールドバスデバイスがスレーブとして機能することである。マスタとスレーブセグメントの間に TSN ネットワークインフラを挿入すると、物理的に分離したネットワークを論理的に分離したネットワークとして扱うことになる。これにより、ネットワーク構成の柔軟性を大いに高めることが可能となるだけでなく、フレーム損失率が予測可能であると同時に性能的に保証された遅延時間を維持できる。

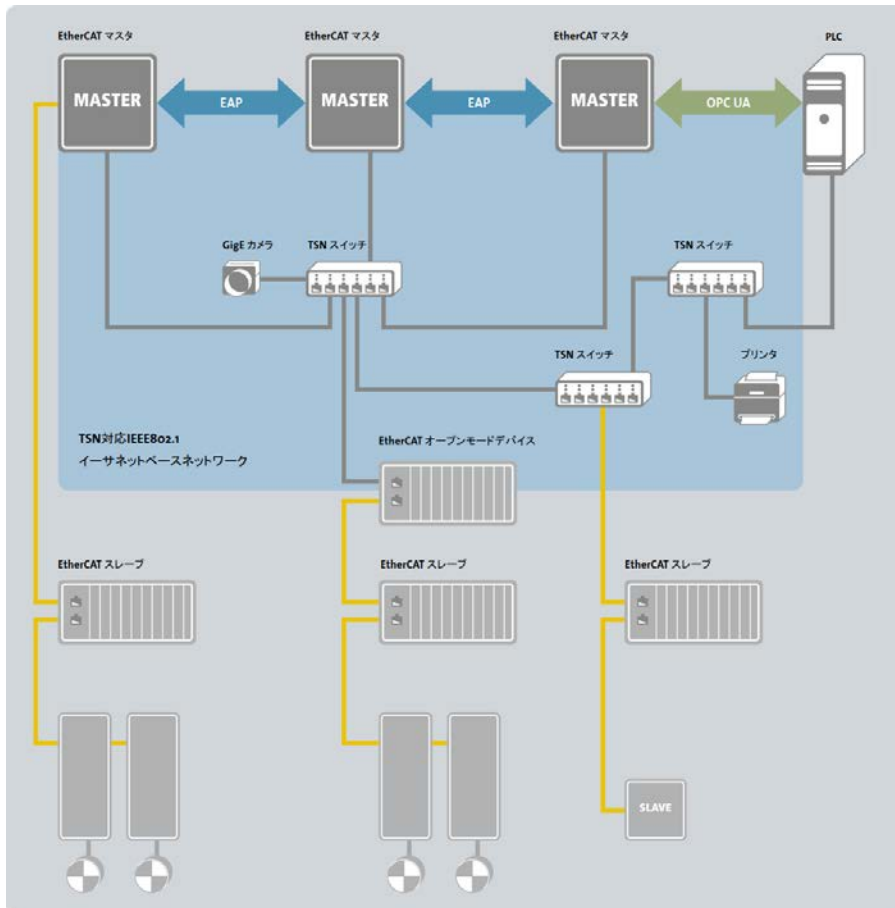


Figure 4. TSN によりネットワークの EtherCAT 通信部を分離

動作について

EtherCAT の TSN 統合方法は両方の技術を単純に組み合わせるものではなく、それら両方の技術のシームレスな適用方法を定義し、それぞれの長所を活用する。EtherCAT は TSN のストリームの概念をトーカーとリスナーの一対一対応で使用する。少なくとも 2 個のストリームをマスタと EtherCAT セグメント間で確立

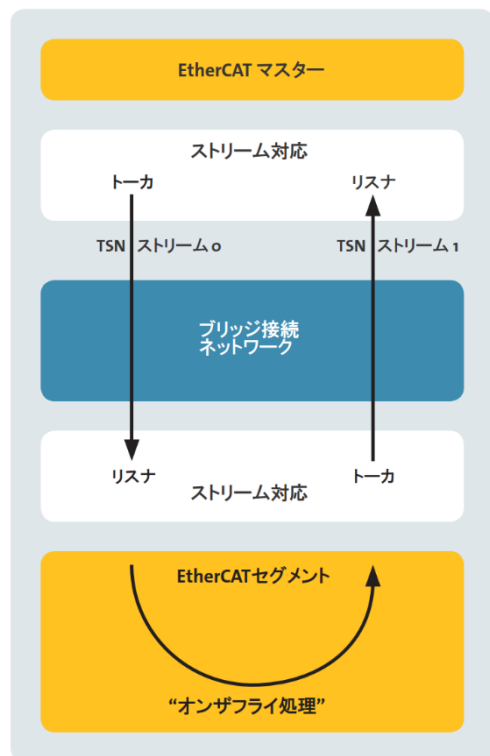


Figure 5. ストリーム対応と TSN による仮想イーサネットチャンネル

し、プロセスデータやその他の重要な情報の交換に使用する。ストリームの 1 つはマスタからスレーブセグメントであり、もう 1 つはその逆方法である。EtherCAT スレーブにサービスデータを送信して設定や診断などを行うために別のストリームのペアを使用することもできる。この種の通信はリアルタイム性への要件が異なり、プロセスデータより低い優先順位クラスに設定できる。例えば状態管理のためのデータ収集など追加の通信を行いたい場合、追加のストリームのペアを使用が可能である。

EtherCAT TSN プロファイルは、ブリッジ接続ネットワーク内で TSN ストリームを使用して完全な EtherCAT フレームを送信する方法を説明している。ブリッジおよびブリッジ関連サービス機能の設定は TSN 側で規定されたものを使用する。マスタの仮想 EtherCAT チャンネルの基本的な要件は、対応する EtherCAT スレーブセグメントを指定する識別子、通信の時間間隔とオフセット、そして通信データ量である。これらはマスタ側からストリームに送信するために定義するパラメータとなる。スレーブセグメントの最大遅延時間で通信スケジュールが完結する。

システムアーキテクチャに関して、EtherCAT セグメントの識別子は装置または装置群のような IEEE 802.1 ネットワークの論理的に分離されたエリア内でユニークである。EtherCAT デバイス内もしくはセグメントに隣接する箇所に識別のための 12 ビット値を設定できるようにする。つまり、EtherCAT セグメントを接続した TSN スイッチのポートに識別機能を実装できる。IEEE 802 内で規定されている VLAN 識別子をセグメント識別子として使用することを推奨する。

ストリーム適用は識別子を使用し、TSN で必要となるストリームのユニークな宛先アドレスを設定する。このアドレス指定はセグメントの識別子とストリームセレクトに EtherCAT 固有の識別子を組み合わせることで割り出す。

このネットワーク内で IEEE 802.1 ネットワークから EtherCAT スレーブセグメントに向けて固定の時間間隔でフレームを送信すれば、同期動作が可能となる。EtherCAT セグメント内の送信時間は最悪ケースの遅延時間で決定する。EtherCAT スレーブ側では追加の変更を行わずに複数セグメント間に分散した環境でも同期動作を実行できる。同期動作の精度は TSN 時計 (IEEE 802.1AS) に依存する。ネットワーク内で高精度の同期動作を維持するには、EtherCAT マスタと最初のスレーブ間で 100ns レベルの精度を達成したブリッジの使用を推奨する。

システムアーキテクチャに関して、EtherCAT セグメントの識別子は装置または装置群のような IEEE 802.1 ネットワークの論

TSN の位置付け

TSN はアプリケーション層を提供せず、EtherCAT デバイスプロトコルに対するフィールドバスレベルの変更は無い。

TSN は既存および今後のソリューションと組み合わせて使用することになる。

例) EtherCAT オートメーションプロトコル (EAP), OPC UA Publisher/Subscriber



3. EtherCAT & TSN: 完璧な組み合わせ

TSN ネットワークに EtherCAT セグメントを構成要素として追加しても、バックボーンを流れるスレーブ群に対する共有フレームに複雑な処理は必要なく、装置内の設定が可能となる。TSN は EtherCAT セグメントを不要なトラフィックから保護し、EtherCAT & TSN システムの統合システムの効率を高められる。EtherCAT と TSN の統合は、様々なオートメーションタスクの完全制御を維持しつつ、オートメーションセルレベルの柔軟性を向上できる。

結論として、EtherCAT は TSN 技術と、それぞれの基盤技術自体に変更を行うことなく統合できる。

