

PROFINET over TSN とその進展方向

NPO 法人 日本プロフィバス協会

元吉 伸一

1. はじめに

工場現場で稼働する機器間のデータ通信技術に対する Ethernet 規格の導入は 2000 年ごろから始まった。PI(PROFIBUS & PROFINET International)が普及を促進する産業用 Ethernet・PROFINET はおかげさまで全世界にて導入が進んでいる。

図 1 はイギリスの HIS Markit 社から発表された統計だが、ここでは PROFINET が産業用 Ethernet の分野でトップのシェアを持つと認定されている。

PI は昨年 11 月にドイツ・ニュルンベルグで開催された展示会・SPS/IPC Fair にて、いくつかのプレスリリースを行った。本稿ではそのうち、TSN 技術に関して説明したい。

TSN は Time Sensitive Networking の頭文字で、IEEE(Institute of Electrical and Electronic Engineers: 米国電気電子学会)が Ethernet 通信にリアルタイム性をもたせる拡張機能であり、PROFINET だけでなく、多くの産業用 Ethernet がコミットしている技術である。

2. 産業用 Ethernet と「Deterministic 性」

HIS Markit 社の統計には PROFINET だ

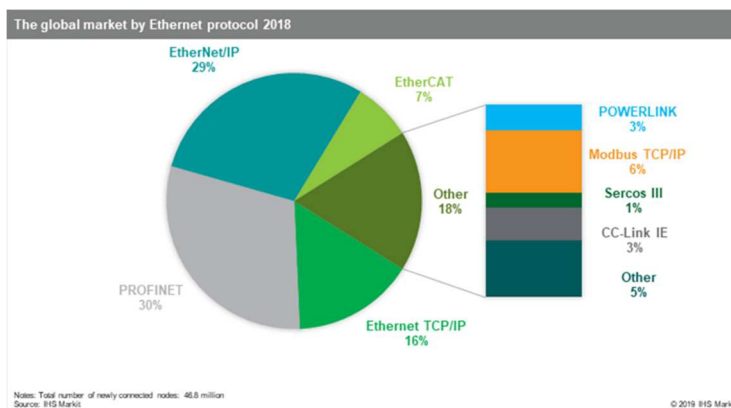


図1. 産業用Ethernetの世界マーケット

けでなく、いくつかの産業用 Ethernet のプロトコルの名前がでている。現在、工場で採用されている現場機器の通信技術はこの統計にあるように複数のプロトコルが混在していることについては多くの方の同意をいただけると思う。

複数の産業用 Ethernet のプロトコルは、オートメーション技術に採用されるために、そして制御用通信として使用できるように、それぞれ Deterministic 性を満たすように設計されている。「Deterministic 性」の直接の訳語は日本語にはないが、「決められた時刻に確実にメッセージが到着することを表す指標」を考えることができる。つまり、制御アプリケーションに使う電文はある決められた時刻に確実に目的先に到達することが要求されるために「Deterministic 性」が求められるわけである。

私たちが通常オフィス、家庭などで使う

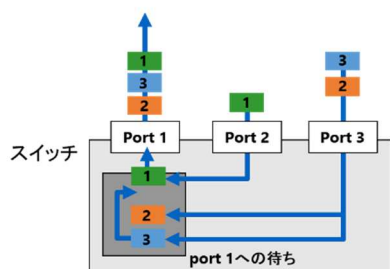
Ethernet は多くの場合、ベストエフォート (最大限の努力はするが、通信速度などの性能について約束はできない。つまり、通信の性能はその時の回線状況等によって変わってしまう) に基づく通信技術である。制御アプリケーションで使用される通信ではある時間内にデータが更新されないと制御性能に影響がでる。したがって、あるときは早く、ある時は遅くなるというようなベストエフォートの Ethernet では厳しいリアルタイム性が要求される制御用の通信としては使用できない。

以上の理由により、産業用 Ethernet の普及をサポートする各協会は Ethernet をベースとするプロトコルをリリースするとき、その協会独自の方法でそれぞれの産業用 Ethernet に「Deterministic 性」を実現する技術を付加してきたわけである。

3. PROFINET における「Deterministic 性」の実現

Ethernet を使ってデータを送るとき、メッセージの到達に遅れが出る原因は、現在の Ethernet が通信経路にスイッチを使い、スイッチにてメッセージの送信順序を管理しているためである。(図 2 参照)

つまり、スイッチ内で複数のポートから



No.3のメッセージは、No.2のメッセージより優先度が高くて、No.1のメッセージが送信中なら、その終了まで待たされる

図2. Ethernetスイッチの動作

来た複数のメッセージが混み合うと、「待ち」が発生しこれが遅れになってしまう。たとえば、ポート 3 からポート 1 に流れるメッセージがあるとき、ポート 1 が空いていれば、すぐにメッセージは流れ、遅れは発生しない。しかし、もし、別のメッセージがポート 1 を使用していると、そのメッセージの送信が終わるまで、ポート 3 からのメッセージは待たなくてはならない。その結果、遅れが生じてしまう。

このような遅れを避け、「Deterministic 性」を高める、またはリアルタイム性を実現する手段として、PROFINET は RT(Real time)と IRT(Isochronous Real time)の 2 つの方式を持つ。

RT はメッセージ内の VLAN タグにて、メッセージのプライオリティを IEEE802.1Q を使って表示する。このとき、プライオリティの高いメッセージは、スイッチ内で優先して取り扱われるため、メッセージの到達遅れが少なくなる。つまり予定された時間に到着する可能性が高くなる。RT を使用することで通信の周期は、大体 2msec 程度となる。このレベルで FA の制御アプリケーションの 80% 以上は、問題なく実行できるようになる。注意すると、RT で実現できる Deterministic 性は非常に高いというわけでない。逆にいえば、ある程度の緩い Deterministic 性で満足できるアプリケーションに RT は使用される。

それに対し、IRT では IEEE1588 の規約により各機器の時刻同期をさせて、周期データとオープン通信データの時間を予約する帯域制御を使用する。(図 3)

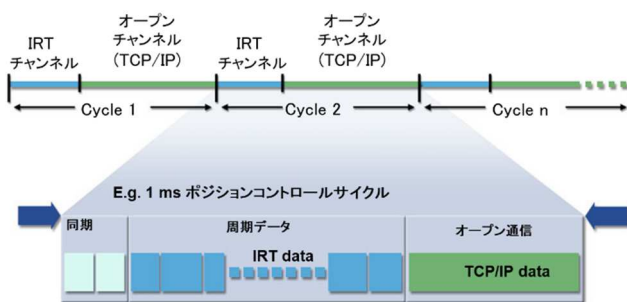


図3. IRTの帯域制御

エンジニアリング時に、優先度の高いメッセージが周期データの帯域で送信するスケジューリングを行う。その結果、各機器は自分のプライオリティの高いメッセージを出す時間を理解している。そして、ある機器がメッセージを出すときには、他の機器はメッセージを出さない。これによりメッセージの衝突がなくなり、決まった時間に遅れなくメッセージを配信できるようになる。通信の周期は最速で $31.25 \mu\text{sec}$ まで可能だが、多くは $250 \mu\text{sec}$ から 1msec 程度の周期となり、ジッタ(揺らぎ)は $1 \mu\text{sec}$ 以下を実現する。

PROFINET の IRT はモーションコントロールの同期制御のような厳しい実時間性が要求されるアプリケーションに使われる

ことを想定している。

4. 現在の産業用 Ethernet の問題点

現在のマーケットで普及が進んでいるそれぞれの産業用 Ethernet は、物理層では Ethernet の MAC フレームを使用しているという共通点はあるが、「Deterministic 性」を実現するデータリンク層のプロトコルは異なっている。そのために、1つのシステム内では異なる産業用 Ethernet を同居させるのは難しい。

これは各産業用 Ethernet が優先度の高いメッセージを規定する方法(多くの場合は時分割のスケジューリング)をそれぞれ独自のやり方で定義しているためで、同じシステム内では優先度の高いメッセージ同士がぶつかりあって、定義したスケジューリングが壊れてしまうために、発生する問題である。

5. TSN とそのメリット

IEEE で規格化されている TSN では以下のように「Deterministic 性」を実現する。(図 4 参照)

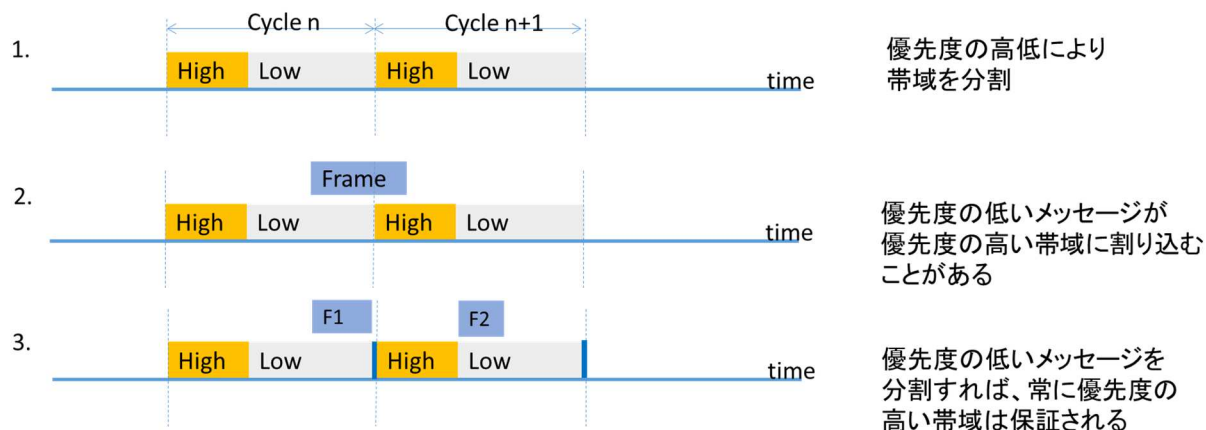


図4. TSNの動作説明

(1) ネットワークにつながる機器の時刻を同期させる。(IEEE1588 を利用した IEEE902.1AS)

(2) メッセージを分類し、優先させるメッセージの帯域を確保する。(IEEE802.1Q VLAN タグと IEEE802.1Qbv)

(3) 優先度の低いメッセージが優先度の高い帯域に入りそうになったら、途中で打ち切り、優先度の高いメッセージを流す。打ち切られたメッセージのあとの部分は、再び優先度の低い時間がきたら流す。(IEEE802.1Qbu と IEEE802.3br)

つまり、TSN では

(1) すべての機器が同じ時刻を持っているので、ある機器がプライオリティの高い(遅れてはいけない)メッセージを発信するとき、他の機器は通信を控えることになる。そのため、メッセージは目的の機器に到達するまで「待ち」がないので、必ず決められた時刻に到達する。(これは IRT と同じ仕様になる)

(2) プライオリティの低いメッセージはプライオリティの高いメッセージを送る時間に食い込まないように処理される。もし、

プライオリティの低いメッセージが大きく、プライオリティの高いメッセージの帯域にかかりそうな時は、メッセージが分割(segmentation)されるので、プライオリティの高いメッセージは必ずある時刻に通信でき、目的地に到達できる。

という処理が行われる。

TSN を使うことで、メッセージ到達のゆらぎが 1μ 秒以下になるとされている。

TSN を採用するメリットは、

(1) 今まで、各協会独自の方法で Ethernet のリアルタイム性の実現をしてきたが、これが IEEE の標準技術できるようになる。

(2) そのため、世界中で多くのスタックメーカーがこれに基づく素子をより広いレンジで提供できるようになる。したがって、チップの価格がより安くなると考えられる。(製品の価格が安く提供できるようになる)。

(3) IEEE の標準技術なので、他の IEEE の技術とも並立できる。また、10Gbps、40Gbps の Ethernet にも適用できるとされているので、長い寿命が期待できる。

などが考えられる。

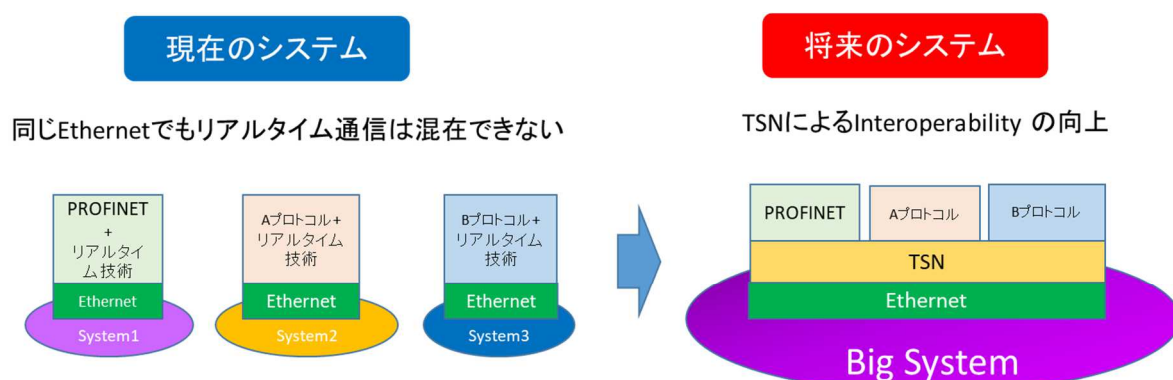


図5. TSNによるデータリンクレイヤの共通化

6. PROFINET over TSN の目指すもの

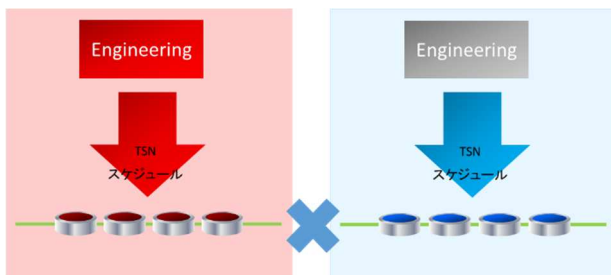
現在、TSN に関する規格(IEEE802.1)はほぼ完成しており、その規格に基づき TSN 対応の産業用 Ethernet をプロモートしている団体もいくつかある。

しかし、前に述べたように、PROFINET はすでに 15 年以上前から(プライオリティの高い)リアルタイムメッセージと(プライオリティの低い)オープンメッセージ(TCP/IP など)の共存を実現しており、また、IRT の制御性能も TSN に劣るものでない。

それでは PROFINET に TSN を導入する (PROFINET over TSN) のメリットはどこにあるのだろうか？

現在、いくつかの協会がサポートしている TSN は、その協会の産業用 Ethernet 上でのみ動くプロトコルでしかない。つまり、IEEE の標準プロトコルを採用しているのだが、実際は独自プロトコルを使用するのと同じく、異なる協会、異なる産業用 Ethernet をレイヤ 2 で統合する TSN 技術とはなっていないという問題がある。(図 5 参照)

PROFINET でも IRT を使用したシステムでは、他の産業用 Ethernet のリアルタイムプロトコルとシステム内で共存することが難しかった。これを打開するために、PI はいくつかの協会と共に IEC/IEEE の共同



赤のデバイスは青のデバイスのスケジューリングが分からない。接続するとスケジュールがぶつかってしまう。

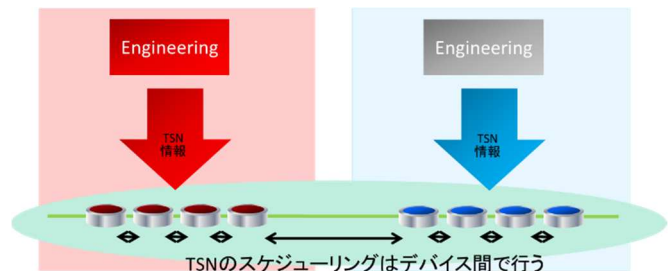
図6. Central User Model

ワーキンググループ 60802 の活動を通して、TSN を実現する機器の共通インターフェース(プロファイル)を統合する仕様の完成を目指して活動している。

7. 複数の産業用 Ethernet を共存させるために

異なる産業用 Ethernet の TSN 機器が共存するためには、TSN のスケジューリングを行うときに、システム内にどのような TSN 機器がどこに存在するかがわかっていなければならない。つまり、A という産業用 Ethernet のプロトコルで動く機器もシステム内に自分以外の産業用 Ethernet のプロトコルで動く TSN 機器が存在するかを分かっていると、全体の TSN のスケジューリングを完成することができない。そのため、スケジューリングは中央(Central User Model; 図 6)で行うのではなく、分散して(Distributed User Model; 図 7) 行う必要がある。

いままでのように、例えば PROFINET エンジニアリングツールで TSN のスケジューリングを行うと PROFINET が認識している機器の間でしか TSN のスケジューリングを行うことができない。たとえば、システム内で PROFINET 以外の A プロトコルに基づく TSN 機器がある場合は、



新しいTSN対応機器が参加しても、現場機器だけで再スケジューリングができる

図7. Distributed User Model

PROFINET のエンジニアリングツールは A プロトコルの TSN 機器を認識できないからである。

Distributed User Model の場合は、PROFINET エンジニアリングツールは TSN に必要な情報をはじめに TSN 機器に渡す。A プロトコルの TSN 機器も自分のエンジニアリングツールから TSN の情報を受け取る。その後、PROFINET の TSN 機器と A プロトコルの TSN 機器が現場で相互に情報のやり取りを行い、ネゴしながら、スケジュールを組み立てる。

すでに PI は PROFINET の TSN 機器間での Distributed User Model を実際に行うプロトタイプを 2018 年ドイツ・ハノーバで行われたハノーバメッセで展示した。(写真 1) 昨年 11 月にドイツのニュルンベルグで開催された SPS/IPC Fair では、異なるベンダーの通信用チップを使った機器間でも Distributed User Model が実行できるデモを展示した。



写真1. TSN Distributed User Modelの
プロトタイプ展示

PROFINET の仕様・V2.4 では、TSN の仕様が組み込まれており、2020 年春から

PROFINET TSN の認証試験を開始する予定である。

IEC/IEEE60802 の仕様は 2021 年または 2022 年に完成する予定であるので、PI は当初は PROFINET だけで Distributed User Model に基づく engineering を実現し、IEC/IEEE60802 の規格が完成したあと、ほかの産業用 Ethernet の TSN 機器を共存できる仕様をリリースする予定となっている。

8. おわりに

IEEE 標準規格の TSN を採用することは、単にリアルタイムメッセージとオープンメッセージを共存させるだけにとどまらない。いままで並立していた産業用 Ethernet のデータリンク層が統一できることになる。

これにより、

- (1) Industry 4.0、IoT では現場システムと上位システムの密な結合が求められる。現場のシステムがばらばら存在しているより、1つの Big System としてまとまっていた方が上位との接続口が統一され、結合が容易となる。
- (2) 通信レイヤ 1 とレイヤ 2 が共通化する。つまり、下位プロトコルと上位プロトコルを独立させることで、将来 Ethernet に代わる下位プロトコル(たとえば無線)が普及したときでも PROFINET 技術の移行が容易となる。

というシステム構築上のメリットが期待できる。

工場現場で用いられるネットワーク技術は 15 年前くらいから徐々に Ethernet の導入を進めてきた。今回、TSN を採用が進むことで、産業用 Ethernet は新しい段階に入

ったと考えられる。また、通信技術は TSN だけではなく、Giga bit 化(1Gbps, 10Gbps, 40Gbps・・・)、そして IPv6 など、技術の進化が止まらない。オープンな技術を取り込みながら、通信技術の進化にいかに対応していくかが、産業用ネットワークの課題となっていると言える。

* 記載されている会社名、協会名と製品名につきましては、各社、各協会の登録商標または商標です。

問い合わせ先

NPO 法人 日本プロフィバス協会

〒141-0022

東京都品川区東五反田 3-1-6 ウエストワールドビル 4F

Tel/Fax : 03-6450-3739

E-mail : info@profibus.jp

HP: <http://www.profibus.jp>

本稿は雑誌「計装」2020 年 3 月号に掲載された「PROFINET over TSN とその進展方向」の原稿です。