

トレンド

計測・制御システムのIoT対応の動向と東芝の取り組み

Trends in Measurement and Control Systems Handling IoT Technologies and Toshiba's Approach

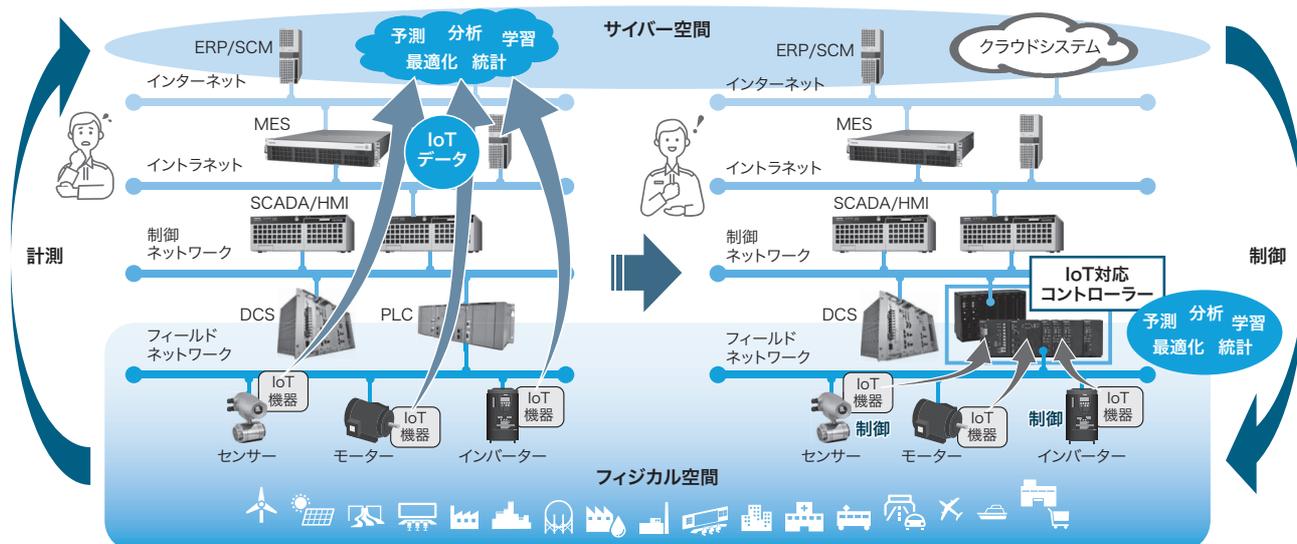
高柳 洋一 TAKAYANAGI Yoichi 三村 昭弘 MIMURA Akihiro 阿南 和弘 ANAN Kazuhiro

IoT (Internet of Things) 化の進展に伴い、工場やインフラ設備のデータをインターネット経由で収集・蓄積・処理できる時代となり、現場に様々なIoT機器が導入され、製品開発やシステムインテグレーションに大きな変革をもたらしている。増え続けるデータをクラウドシステムで集中的に処理するには限界があることや、現場ではリアルタイムのデータ処理が求められることなどから、分散したエッジ部でデータ処理を行うエッジコンピューティングが注目されている。

東芝グループは、計測・制御システムを構成するDCS (Distributed Control System) のコンポーネントや、PLC (Programmable Logic Controller)、産業用コンピューター、水処理用センサー、圧延ライン特殊計測器などを長年にわたり開発し、提供してきた。その中で、仮想化や、ソフトウェアPLC、リアルタイム通信、サイバーセキュリティなど、様々な技術を適用することで、現場環境で高度なデータ分析に適した高性能・大容量化と、長期間の運用を可能にし、エッジリッチに進化する計測・制御システムに対応している。

The evolution of Internet of Things (IoT) technologies to achieve the gathering, storage, and processing of data via the Internet has led to the introduction of numerous IoT devices in various production facilities and the social infrastructure field, resulting in substantial changes to the development of products and system integration. In recent years, attention has become increasingly focused on edge computing capable of implementing the real-time processing of data at the distributed edge of a network, thereby overcoming the limitations of centralized computing in a cloud system.

The Toshiba Group has been continuously developing and supplying instrumentation equipment for measurement and control systems, including components for digital distributed control systems (DCS), programmable logic controllers (PLCs), industrial computers, sensors for wastewater treatment systems, and rolling line measuring instruments. With recent trends in edge computing as a background, we are making efforts to construct edge-rich measurement and control systems to realize high performance and large capacity for high-level data processing and long-term operation by applying virtualization, software PLC, real-time communication, and cybersecurity technologies.



ERP: Enterprise Resource Planning SCM: Supply Chain Management MES: Manufacturing Execution System
 SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition HMI: Human Machine Interface

特集の概要図. エッジリッチな計測制御システムの構成
 Configuration of edge-rich measurement and control system

1. まえがき

2011年にドイツ政府が提唱したIndustrie4.0や日本政府のConnected Industriesに導かれ、世のすう勢は正にIoT時代を志向し、製造現場では、工場のデジタル化を中心に製品開発やシステムインテグレーションが大きく変革している。

東芝グループは、1975年に東芝100周年記念事業として開発したDCSのコンポーネント群をはじめとして、PLC、産業用コンピューター、水処理用センサー、圧延ライン特殊計測器などを、デジタル制御の黎明(れいめい)期から長年にわたって開発し、提供してきた。

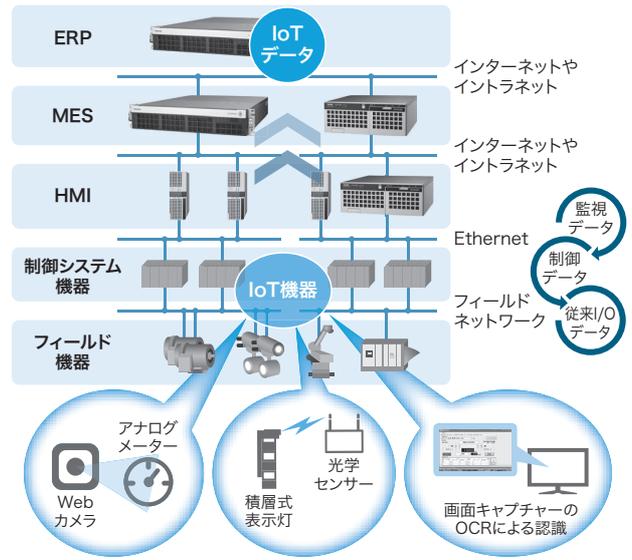
IoT時代に入り、計測・制御システムの重要性は更に高まりつつある。ここ数年のIoT機器の活用状況から、現在の計測・制御システムのトレンドを考察し、デジタル制御の源流から将来へ、今後必要になる技術と、東芝グループの技術開発の取り組みについて述べる。

2. 現状のIoTの活用状況

製造現場は、設備のデータをインターネット経由で収集・蓄積・処理できるIoT時代に向かう変化の途上にある。現状では、IoT機器で集めたセンサーデータなどを無線通信により、計測・制御システム内のネットワークを介さずにクラウドシステムへデータを送って分析などを行う、言わばIoT試行段階が続いている。今まで活用されていなかった現場のデータがシステムの効率化に役立つようになる事例が増えており、幾つかの成功例も見られる。IoT機器としては、アナログメーターの計測値のWebカメラによる取り込み、HMI(Human Machine Interface)のビデオ出力キャプチャー画像のOCR(光学的文字認識)による認識、積層式表示灯の点灯箇所の光学センサーによる判別などの例のように、市販のIoT機器を活用してテンポラリーに導入したものが多く見られる(図1)。

しかし、工場の設備は10～15年以上の稼働に耐える頑健性が必要であり、これらのIoT機器も同様である。今後は、現場データの分析による成功事例の蓄積と、それを長期にわたって支える機器が現場に設置されていく、第2のIoT時代が始まろうとしている。

今後の製造現場には、AI分析ができる高性能CPU、大容量のメインメモリー、及びデータを長時間保存できる大容量ストレージを備えた機器の導入と、これらの設備稼働率を向上させるための冗長化や、故障率低減のための部品選定、マージン設計、耐ノイズ性、耐環境性確保などの技術が必要になる。すなわち、エッジコンピューティングに活用できるエッジリッチな次世代の計測・制御システムである



I/O: Input/Output

図1. 現場IoTシステムの現状

現状は、市販のIoT機器を活用して現場のデータを集めて無線通信でクラウドシステムに送り、その有効な活用方法を試行錯誤している状況にある。

Example of current on-site IoT system

(特集の概要図)。

3. 計測・制御システム技術のトレンド

エッジリッチな計測・制御システムを実現するには、どのような技術要素が必要だろうか。様々な技術要素が絡み合って実現できるものであるが、ここでは、仮想化及びソフトウェア化、リアルタイム通信、及びサイバーセキュリティーの三つを挙げて、説明する。

(1) 仮想化及びソフトウェア化 仮想化は、サーバー上で複数のオペレーティングシステム(OS)を起動するために、仮想化サーバーという情報技術(IT: Information Technology)系の分野で発達した技術である。ムーアの法則が減速しているとはいえ、肥大化するメインメモリーとストレージなどのハードウェアリソースは、一つのOSが占有するには大き過ぎる。そこで、一つのOS上で複数のソフトウェアを動かすよりも、複数のOSにハードウェアリソースを割り振ってそれぞれ動作させる仮想化で、有用性を見いだしている。

例えば、OSの様々な環境設定や、異なるOS上で動作しているソフトウェアを同じハードウェアの一つのOS上に移植するなどの手間を考えると、それらの環境を単に集約する方がリーズナブルである。

一方で、産業・組み込みシステムなどの運用技術(OT: Operational Technology)系では旧来、ASIC

(特定用途IC)などで実現してきた機能をソフトウェア化し、汎用CPUで動作させる動きがあった。従来は専用ハードウェアで実現していた機能をソフトウェア化してCPU上で動作させても、従来と同等の性能を引き出せるほどCPU性能が向上している。

例えば、ソフトウェアPLCは、欧米では一定の市場規模となっている。産業用コンピューターとリアルタイムOSを組み合わせて適用するが多い。

- (2) リアルタイム通信 リアルタイム通信は、計測・制御システムに不可欠な要素であり、現在はM2M (Machine to Machine) 通信とも呼ばれる。国際規格としては、国際電気標準会議規格 (IEC) によるIEC 61784/61588などの産業用Real-Time Ethernetシリーズや、電気電子技術者協会規格 (IEEE) によるPrecision Time Protocolの規格IEEE 1588が適用されている。

古くは、各メーカーの独自仕様の制御LANが開発されていた。物理層からデータリンク層、アプリケーション層に至るまで、独自仕様であった。

初めは、フィールド機器をつなぐアナログ4-20 mA信号ラインをデジタル化する方向性の中で“フィールドバス”と呼ばれるリアルタイム通信の仕様が世界各地のメーカーから発表された。HART, Foundation FieldbusなどのPA (Process Automation) 系、及びProfibus, DeviceNetなどのFA (Factory Automation) 系である。

IECはそれらをIEC 61784/61588としてまとめた。その後、2000年代に入って、物理層とデータリンク層のMAC (メディアアクセス制御) 副層をEthernetで標準化したReal-Time Ethernetの規格化が行われ、Communication Profileの整理により、フィールドバスはIEC 61784-1, Real-Time EthernetはIEC 61784-2, そしてプロトコルの内容を記述したIEC 61588が発行された。

現在も規格のメンテナンスが行われており、アプリケーションごとに、約20種類の通信規格の中からそれぞれのノード数やスピード、冗長化方式を考慮して、適切な通信方式を選べるようになっている。

- (3) サイバーセキュリティ 情報系システムにおける様々なサイバー攻撃や、ウイルス、ワームなどの脅威は、ITの世界では広く認識されている。

2010年に登場したスタックスネットは、スタンドアロンの機器にも感染し、PLCのプログラムを書き換えるなどの特徴で、世界の制御機器メーカーを震撼 (しんかん) させた。我が国でもこれを契機に経済産業省が自ら主導して、制御システムセキュリティセンター

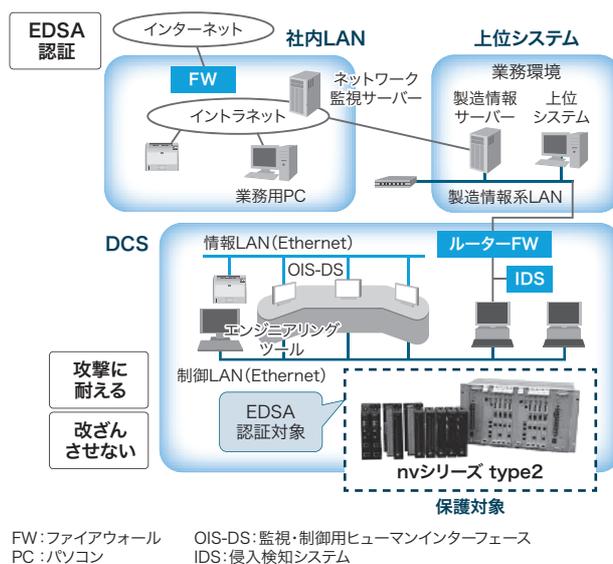


図2. 計測・制御システムのサイバーセキュリティ対策

計測・制御システムにEDSA認証を適用し、セキュリティ対策を強化する。
Measures to strengthen cybersecurity for measurement and control system

(CSSC)を立ち上げた。

また、米国ではセキュリティ認証スキームでANSI (米国規格協会) が関わっているEDSA (Embedded Security Assurance) をIEC化する方向に動き出し、古くから実績のあったAchilles認証が話題となった。規格としてはIEC 62443シリーズが発行されつつある。我が国でもCSSCで認証スキームが完成し、日本語で対応が可能となっている。図2に計測・制御システムでの例を示す。

4. 情報モデルの重要性

現在のDCSは1975年頃から製品化され、開発が進んできた(図3)。その黎明期には、既に“タグ”という情報モデルの概念があった。

これは、フィジカル空間におけるプラントのセンサーデータ(瞬時値、積算値、レンジなど)や、PID(比例、積分、微分)制御パラメーター(測定値(PV)、出力値(MV)、設定値(SV))、デジタルデータ(スイッチのオン/オフなど)を、タグと呼ばれる情報の構造体として定義して、サイバー空間において、HMIやコントローラー間でデジタル的に共有するモデルである(図4(a))。すなわち、フィジカル空間データのサイバー空間上への写像としてタグで表現し、そのタグをベースに表示、制御演算などを行って、フィジカル空間にアナログ4-20 mA信号で返し、現実のプラントを制御する。これは正にCPS(サイバーフィジカルシステム)の原

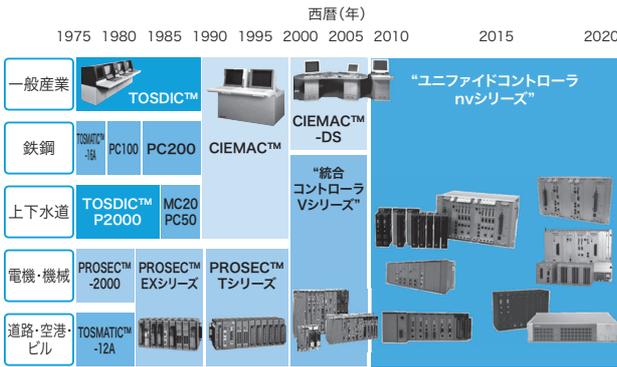


図3. 制御システム機器の変遷

黎明期には産業分野ごとに開発されていたPA系のDCSやFA系のPLCは、マイクロエレクトロニクス技術の発展とともに統合化され、今なお進化し続けている。

History of equipment for control systems

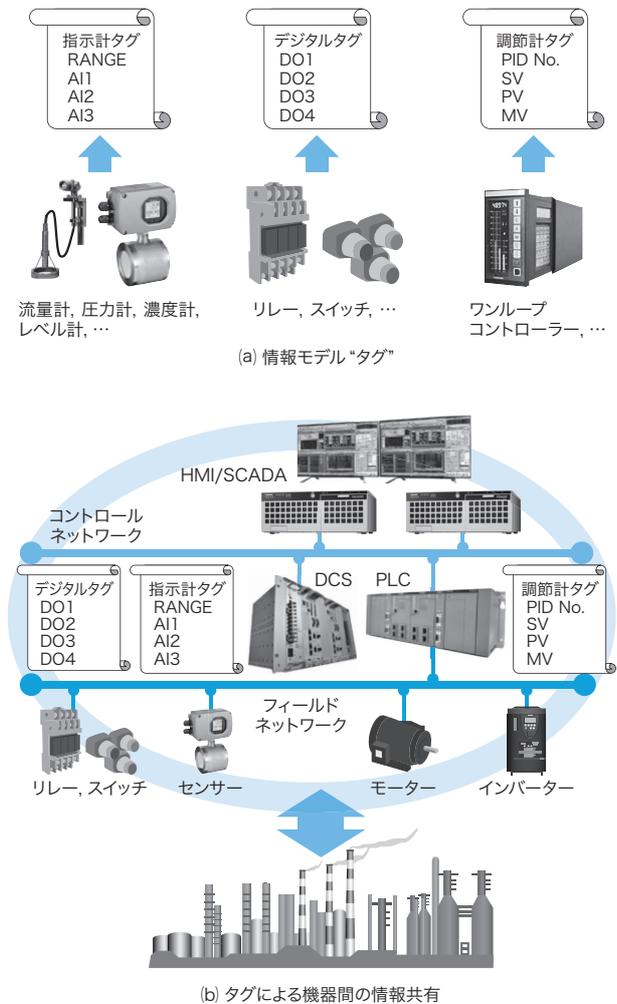


図4. タグを用いた計測・制御システムでの情報共有

計測・制御システムでは、指示計や、調節計、リレー・スイッチなどのフィジカル空間の情報を、サイバー空間におけるその写像である“タグ”として取り扱って各機器間で情報共有し、プラントを監視・制御している。

Information sharing in measurement and control system using tags

型であった(図4(b))。

それから40年以上にわたり、エンドユーザーの現場で培われた技術は、計測・制御システムとして必要なデータを過不足なく取り込み、最適な制御ができるまでに成熟した。それに対して、これまでのIoTは、更に多くの現場データを収集して、制御の効率化や、技術伝承、故障予知などに役に立てられないか、と試行してきた。

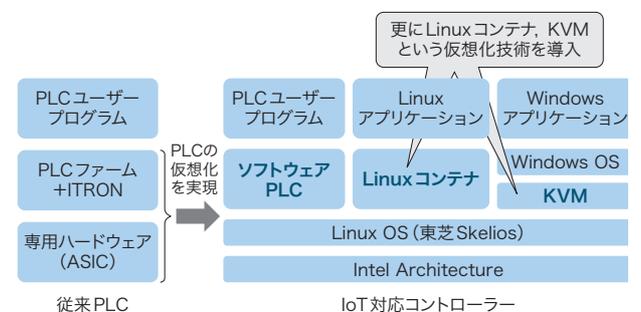
Industrie4.0では、Administration Shell (管理シェル)の標準化の検討が進められている。新たに開発する機器は、参照モデルRAMI4.0の規格群に準拠することで、CPSへの順応を実現する。このとき、レガシー機器をもCPSに取り込むための仕組みが管理シェルである。そのため、レガシー機器を含めて、様々な情報モデルの体系化が検討されている。

5. IoT対応コントローラー

今後のIoTは、試行錯誤しながら各業種に特化したデータ分析を深耕することで、成果が出てくるであろう。コンポーネントとしては、現場環境で長期間運用・維持できるようなハードウェアの開発が急務である。

以下に、3章に述べた(1)~(3)の三つの技術要素を駆使したコンポーネントであるIoT対応コントローラーを、例として示す。この最新鋭の製品は、①PLCの仮想化と産業用コンピュータの融合(図5)、②リアルタイム通信のソフトウェア化と汎用Ethernetベースであることによる柔軟性、更に③制御システムセキュリティによるフィジカル空間とサイバー空間の両方の頑健性、の三つの特長を備えている。

従来の産業用コントローラーは、DCSのコンポーネントの一つであるプラント向けコントローラーとPLCを統合したもので、ラダープログラムなどの特殊言語を高速に処理する専用



ITRON: Industrial TRON (The Real-time Operating-System Nucleus)

図5. 仮想化技術とソフトウェアPLC化

従来のPLCの専用ハードウェアとファームウェア部分の仮想化を実現するとともに、Linuxコンテナ及びKVMを導入したアーキテクチャーとした。

Virtualization and software PLC technologies

CPUと小容量のメモリー・ストレージで構成されていた。このため、コントローラー内でのデータ蓄積と分析ができないことから、IoT機器の情報を上位システムに渡す必要があった。このため、コントローラーが計測・制御データの流れる幹線ネットワーク上に位置していても、これを迂回（うかい）して、IoT機器は無線通信でクラウドシステムにデータを送り、コントローラーのデータと合わせて分析した後、コントローラーに指令（パラメーター変更など）を出すといった動作にならざるを得なかった。また、IoT機器や汎用PC（パソコン）で構成されたシステムでは、情報を保存する機器を長期にわたって保守することは困難であった。

そこで、IoT対応コントローラーは、従来のPLCの専用ハードウェアとファームウェア部分を仮想化するとともに、Linuxコンテナ及びKVM（Kernel-based Virtual Machine）といった仮想化技術も導入したアーキテクチャーを導入し、更に、高性能CPUと、大容量メインメモリー、及び大容量ストレージを装備することで、現場サイドでの大量のIoTデータ収集に加えて、エッジコンピューティングによる分析を可能とした（図6）。クラウドシステムに情報を送ってAI分析などを実行するより、現場にあるIoT対応コントローラーで実行する方が、システム全体を効率化できる。計測・制御システムの幹線LANに位置するコントローラーをIoT対応としたことは、エッジコンピューティングとコントローラーへの指示を同時に実現するとともに、長期メンテナンスを実施するという課題をも解決するソリューションとなる。更に、

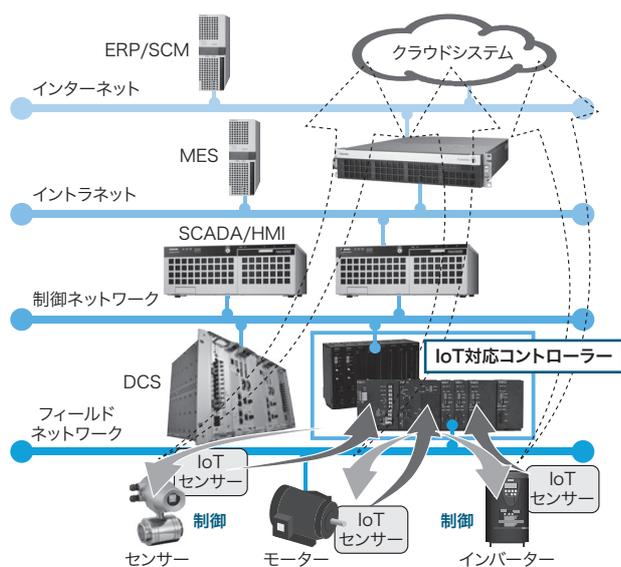


図6. IoT対応コントローラーを用いたエッジコンピューティング
AI分析などをクラウドシステムに情報を送って実行するより、現場にあるIoT対応コントローラーで実行する方が、全体的な効率化が図れる。

Edge computing using IoT controller

IoT対応コントローラーは冗長化の技術を取り入れることで、次世代のDCSとして利用できる。

このように、従来のタグという情報モデルとIoTが融合してエッジリッチに進化した計測・制御システムが、今後のCPSを生む（この特集のp.43-46参照）。

6. コンポーネントへの展開

計測・制御システムにはIoTや制御システムセキュリティへの対応が求められている。

東芝インフラシステムズ(株)は、それらの要求に対応した様々なコンポーネントを開発・提供している。

6.1 産業用コンピューター

現場で使える、IoT機器のハブ、中継を行うゲートウェイ、情報収集対象の近傍で高度な処理を行うエッジコンピューティングなどの役割を担えるように、更なる高機能化、高性能化を実現した最新デスクトップ型産業用コンピューターFA3100Tをリリースした。

従来機種とのRAS（Reliability, Availability, Serviceability）機能や、前面からの容易なメンテナンス、長期間の製品供給などの特長は継承しつつ、新型CPU・プラットフォームの採用により、従来機種と比較して、プロセッサの演算処理性能は約3倍、メモリー転送速度は約1.6倍に向上した。LANポートを標準で3ポート搭載し、システムにおける上位系や複数の下位系と接続できる。既設システムへの継承性にも配慮してRS-232Cポート、PCIスロットを標準搭載し、レガシーOSであるWindows® 7にも対応した（この特集のp.39-42参照）。

6.2 産業用コントローラー

IoT対応への要求に応えた、最新の“ユニファイドコントローラVmシリーズ typeS”は、既存のI/O（Input/Output）及びプログラム環境との互換性や、統合エンジニアリングツールnV-Toolによるシステム構成の柔軟性といった、コントローラー機能の特長はそのままに、従来は別の機器に実装していたコンピューター機能を一体化した。

これにより、既設システムへの導入が容易になり、システム構成の簡素化が図れるので、現場のIoT機器に求められる既設システムへの適用が容易になる。

更に、情報・制御LAN TC-netシリーズをソフトウェア化したTC-net VMを同時にリリースした。当社の制御ネットワークの変遷を図7に示す。Ethernet上でリアルタイム通信を可能とするプロトコルは、従来ASICで実現していたが、新たにUDP/IP（User Datagram Protocol/Internet Protocol）上に展開し、汎用のLANカードやスイッチを使って、容易にリアルタイム制御ネットワークを構成できるようにした

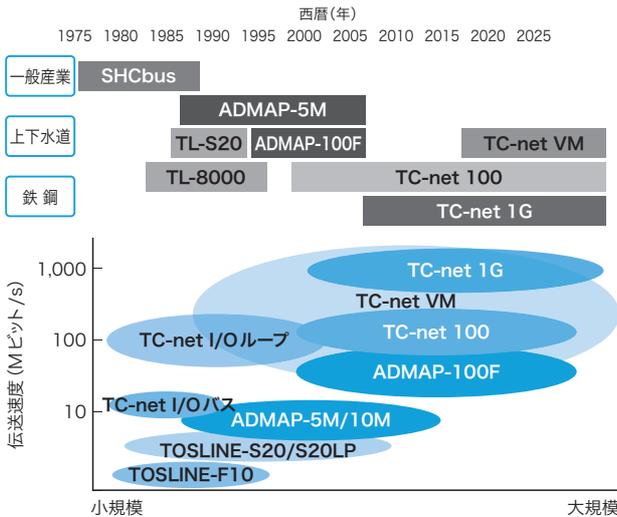


図7. 東芝の制御ネットワークのラインアップ

デジタル化及びCPSを支えるネットワーク技術は、今ではM2M通信技術と呼ばれるが、1975年に実用化されて以来、伝送速度とスケラビリティを向上させつつ、進化している。

Lineup of Toshiba control networks

(同p.43-46参照)。

昨今、話題になっているTSN (Time Sensitive Network) は、時間確定的な通信を実現する当社のTC-netシリーズと同様のコンセプトを持つ(囲み記事参照)。

6.3 圧延ライン特殊計測器

X線発生器の寿命予測などの異常予兆診断機能を開発しており、異常が発生する前にメンテナンスすることで、ライン停止ゼロ化を目指している。従来の時間基準保全(TBM: Time Based Maintenance)での交換作業から状態基準保全(CBM: Condition Based Maintenance)へと移行することで、顧客の操業損と保守部材の最適化が可能となる付加価値を創出する。

厚み計は、鉄鋼などの圧延ラインで対象の板厚をリアルタイムで測定する装置である。高い測定精度だけでなく、予期せぬ停止を起こさないための予防保全に強いニーズがある。特に、測定用X線発生器には寿命があり、交換に時間を要することから予兆診断は重要である(同p.47-49参照)。

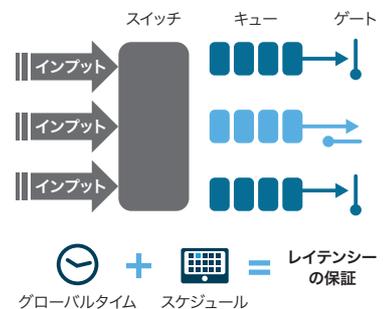
TSNの隆盛

TSNは、車載用のEthernet-AVB (Audio Visual Bridging) から展開された規格である。2012年11月から規格化が始まり、主に、①IEEE 802.1AS-Rev: Timing and Synchronization (for Time-Sensitive (Real-Time) Applications)⁽¹⁾、②IEEE 802.1Qbv: Forwarding and Queuing (Enhancements for Scheduled Traffic)⁽²⁾の二つのプロトコルから構成されている。

①はネットワーク上の時間を共有化し、TSNに参加する各ノードの時間を合わせる。②はその共有された時間(グローバルタイム)をベースに、各ノードでスケジューリングされたフレームを時刻どおりに送信する。時間確定的に送信するフレームとそうではないベストエフォートのフレームを各キューに分けて、グローバルタイムに同期して送信していく。また、中間にあるスイッチもTSNに対応している場合は、グローバルタイムをベースに送信キューと転送を実行することにより、ノード間で時間確定的な通信を実現する(図A)。

計測・制御システムでは、I/Oデータは時間確定的な通信が必要であり、一方マルチメディアデータはベストエフォートでよいというように、優先度が異なる。このため従来は、制御ネットワークと情報ネットワークを分けて配線していた。産業用Ethernetの普及により、制御ネットワークと情報ネットワークを同一回線に融合する動きはあったが、TSNの広がりによって、大容量な帯域を持つネットワークを施設し、そこに制御データと情報系のデータを統合する方向に動いている。

IECでは、TC65(工業プロセス計測制御技術委員会)とSC65C(デジタルデータ伝送分科委員会)で、産業向けのTSNに関するIEC 60802 ED1: Time-sensitive networking profile for industrial automation⁽³⁾の規格化が進行中であり、現在はCD (Committee Draft) 回付中である。



*Vikram, D. et al. 「自動化システムに向けたタイム・センシティブ・ネットワークング(TSN)の採用」⁽⁴⁾を基に作成

図A. TSNの概念

7. 関連システムへの展開

東芝グループでは、6章で述べたコンポーネントを用いて、様々な分野のシステムを構築・提供している。

操業生産性の向上やWeb対応、運用・メンテナンス(O&M: Operation and Maintenance)といった観点からの取り組みについて述べる。

7.1 操業現場の業務効率化を実現する電子操業日誌

操業現場の業務効率化は各企業にとって重要な課題である。近年、これまで人手で行っていた業務を機械学習やAI、RPA (Robotic Process Automation) などを活用して業務の自動化及び効率化を目指すことが注目されている。

東芝三菱電機産業システム(株)(以下、TMEICと略記)は、工場や操業現場において紙ベースで運用されていた運転日誌を、デジタルデータ化する電子操業日誌(PlantLogMeister™)を製品化し、販売している。蓄積したナレッジデータの活用や、業務フローの適正化、単純作業工数の削減などにより、操業現場の課題解決に貢献している(この特集のp.54-58参照)。

7.2 Webベース新HMIのプラントへの適用効果

鉄鋼や紙パルプなどの産業プラントにICT(情報通信技術)の適用が進むにつれて、生産性や製品品質の向上を目指した、制御監視システムの応答性、運用性、及び拡張性の更なる向上が求められている。TMEICは、このような課題を解決するため、制御監視システムの要素の一つである汎用SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition)ソフトウェアに代わる新たなHMIシステムとして、WebベースのTMASCA(ティーエムアスカ:TMEIC Advanced SCADA)を開発・製品化した。Webベースの利点を生かし、汎用SCADAソフトウェアでは困難な、300ms以下の操作応答性や、拡大/縮小表示機能、タブレット端末の活用などを実現している(同p.59-62参照)。

7.3 設備のO&Mを高度化するデジタル化技術

工場やインフラ施設において、設備の老朽化が進んでいる。それらのO&Mの現場では、作業者の高齢化や、後継者不足、熟練者スキルへの依存といった問題が顕在化している。一方で、IoTやAIなどのデジタル化技術の進化に伴い、遠隔地からの設備点検やタイムリーな部品交換が容易となり、精度の高い故障予知や、劣化診断、寿命予測などに基づいた予測型メンテナンスなどの業務効率化や、長期間運転、更には新たなサービスビジネスの創出が可能になってきた。

東芝デジタルソリューションズ(株)は、O&Mを“コスト”から“価値”へと転換し、企業競争力の新しい可能性とし活用するための、O&M高度化技術を、日夜研鑽(けんさん)している(同p.50-53参照)。

8. 今後の展望

計測・制御システムは、一般産業や社会インフラを支えるシステムのコア要素として、今後も進化し続けていく。

東芝グループは、産業構造の変化や新たな社会への変革に対応した製品の開発・提供を続け、計測・制御システムをエッジリッチに進化させて、スマートかつ安全な社会や産業の実現に貢献していく。

文献

- (1) IEEE P802.1AS-Rev: Timing and Synchronization for Time-Sensitive Applications.
- (2) IEEE 802.1Qbv:2015. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks -- Bridges and Bridged Networks - Amendment 25: Enhancements for Scheduled Traffic.
- (3) IEC 60802 ED1: Time-sensitive networking profile for industrial automation.
- (4) Vikram, D. et al. “自動化システムに向けたタイム・センシティブ・ネットワーク(TSN)の採用”. インテル(株)ホワイトペーパー. <<https://www.intel.co.jp/content/www/jp/ja/internet-of-things/white-papers/adopting-tsn-for-automation-systems-paper.html>>, (参照 2019-09-09).

・Windowsは、Microsoft Corporationの米国及びその他の国における登録商標又は商標。

・PlantLogMeister, TMASCAは東芝三菱電機産業システム(株)の商標。



高柳 洋一 TAKAYANAGI Yoichi
東芝インフラシステムズ(株)府中事業所
パワーエレクトロニクス・計測制御機器部
計測自動制御学会・電気学会会員
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



三村 昭弘 MIMURA Akihiro
東芝インフラシステムズ(株)府中事業所
パワーエレクトロニクス・計測制御機器部
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



阿南 和弘 ANAN Kazuhiro
東芝インフラシステムズ(株)府中事業所
パワーエレクトロニクス・計測制御機器部
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.