

1 Gビット/sの高速伝送で大規模プラントを一括して監視制御する情報・制御ネットワークTC-net™ 1G

TC-net™ 1G Information and Control Network for Comprehensive Monitoring and Control of Large-Scale Plants with Data Transmission Rate of 1 Gbit/s

岡部 基彦 河野 慎哉 野島 章

■ OKABE Motohiko ■ KONO Shinya ■ NOJIMA Akira

一般産業や、社会インフラ、電力プラントなどの監視制御システムで、制御装置間を高速につなぐ情報・制御ネットワークTC-net™ 1Gを製品化した。開発にあたり、近年の高効率化や省力化のシステム要求に応じて、リアルタイム性を備えたEthernetベースで実績を積み重ねている東芝の情報・制御ネットワークTC-net™を高速化し1 Gビット/sの伝送速度を実現した。また、大規模プラントを一括して監視し制御できるネットワークとして、伝送性能を向上させるとともに、システムの構築及び保守・保全におけるエンジニアリングを容易にする機能を向上させた。更に、既に制定されているTC-net™シリーズに関するIEC 61784-2 (国際電気標準会議規格61784-2)へTC-net™ 1Gの仕様を追加提案する標準化活動を進めている。

Toshiba has released the TC-net™ 1G information and control network, as a key highway of intercommunications among controlling devices for supervisory and control systems in the general industry, social infrastructure, and power utility fields. In response to the market demand for high efficiency and labor-saving operation in recent years, TC-net™ 1G achieves a data transmission rate of up to 1 Gbit/s based on TC-net™, our field-proven technology utilizing Real-Time Ethernet (RTE), and features highly advanced communication performance and engineering capabilities for the control of large-scale plants. The specifications of TC-net™ 1G have also been proposed to the International Electrotechnical Commission (IEC) as an international standard for fieldbuses with a data transmission rate of 1 Gbit/s in order to incorporate it into the IEC 61784-2 CPF11 standard, in which TC-net™ series was registered.

1 まえがき

産業オートメーションシステムにおける監視制御ネットワークは、一般に情報系ネットワーク、制御ネットワーク、及びフィールドネットワークの3階層から成る。この中で制御ネットワークは、情報系ネットワークとフィールドネットワークの間に位置して、プログラマブルロジックコントローラ (PLC) や、分散制御システム (DCS)、ヒューマンマシンインタフェース (HMI) などに代表される制御装置間を接続する (図1)。鉄鋼圧延や、紙、上水、下水、食品などのプラントシステムでは、制御ネットワークがプロセス制御・監視データを制御装置間で伝送し、伝送されたデータは、それぞれの制御装置のアプリケーションプログラムで処理される。このため制御ネットワークには、あらかじめ設定された時間で確実に動作する応答性と、複雑な伝送手順を意識させないシンプルなインタフェースが求められる。また、適用するシステムの規模の拡大や、LANの業界標準であるEthernetの利用の拡大などが進んでいる。

このような状況のなかで東芝は、Ethernetを産業分野に適用するため、応答性能と対環境性能を向上させたReal-Time Ethernet (RTE)として、情報・制御ネットワークTC-net™ 100とフィールドI/O (入出力) ネットワークTC-net™ I/Oループを製品化し、国内外のプラントに納入してきた。今回、伝送速度を1 Gビット/sに高速化した情報・制御ネットワークTC-net™

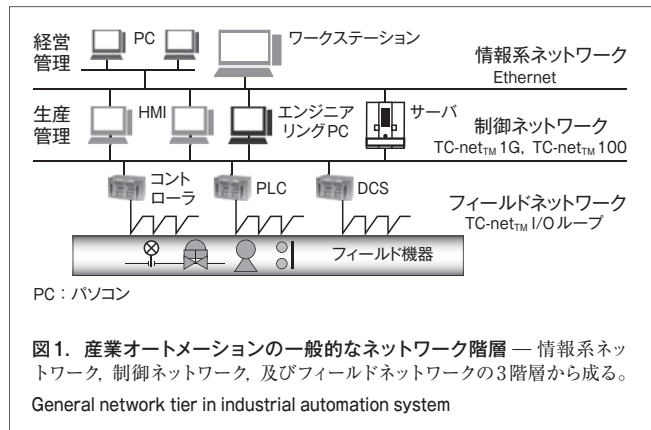


図1. 産業オートメーションの一般的なネットワーク階層 — 情報系ネットワーク、制御ネットワーク、及びフィールドネットワークの3階層から成る。
General network tier in industrial automation system

1Gを開発した。これによって、より大規模なシステムが構築できるとともに、エンジニアリングの作業性を向上させた。

ここでは、TC-net™ 1Gの特長と、大規模プラントシステムへの適用例、国際標準化への取組みについて述べる。

2 TC-net™ 1Gの特長

TC-net™ 1Gは、当社の産業用コントローラであるユニファイドコントローラnvシリーズや産業用パソコン (PC) を接続し、大規模システムでも監視・制御データを1 msで更新できる伝送性能が特長である。また、エンジニアリングを従来のTC-net™

シリーズから継承しつつ、より大規模なシステムへの対応とトラブル解析のためにRAS (Reliability, Availability, Serviceability) 機能をいっそう強化したRTEである。

2.1 TC-net™ 1Gのアーキテクチャ

TC-net™ 1Gでは、当社の産業用コントローラのネットワークであるTC-net™のアーキテクチャを継承して、スキャン伝送とメッセージ伝送をサポートし、かつ伝送性能を向上させた。

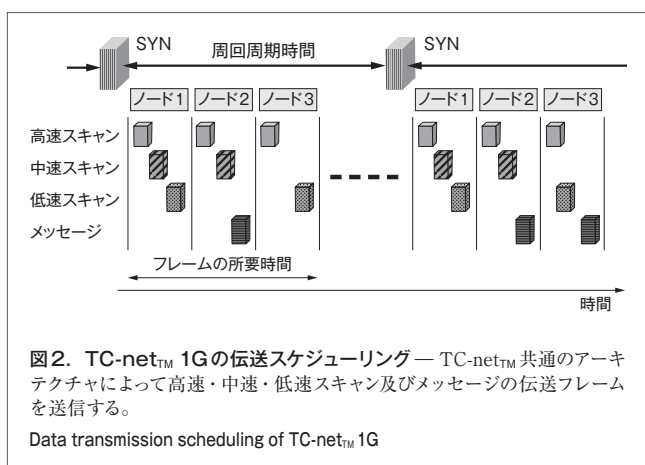
スキャン伝送は、基幹ネットワークで接続されたノード^(注1)上のデータを共有させる仕組みである。各ノード上には同一容量のメモリ(コモンメモリ)がある。これらのメモリは全ノードの制御データが集約され、周期的に行われている同報通信(スキャン伝送)によって同一内容に更新される。スキャン伝送では、制御データは固定サイズのブロック単位で伝送される。アプリケーションはコモンメモリの読出しと書き込みを必要なタイミングで行ってシステムの制御データを入出力できる。

また、メッセージ伝送では、Ethernetのメッセージを利用してノード間のデータ交換が行える。TCP/UDP/IP (Transmission Control Protocol/User Datagram Protocol/Internet Protocol) プロトコルによって、通常のEthernetと通信できる。

スキャン伝送及びメッセージ伝送は、同期ノードが発行する同期(SYN)フレームを先頭に、優先度に応じて高速・中速・低速スキャン及びメッセージのフレームを各ノードから順番に送信する、TC-net™シリーズで共通の伝送スケジューリングを採用した。これにより、従来と同様にシステムをエンジニアリングし、同じ周回周期時間で伝送する制御データ量をTC-net™ 100から約一桁増やすことができた(図2)。

2.2 伝送制御方式

TC-net™ 1Gの物理層とフレームフォーマットはEthernetの1000BASE-LX規格に準拠し、伝送速度はTC-net™ 100の10倍になる1Gビット/sである。また、伝送路にはシングルモード光ファイバケーブルを適用することでノード間距離を従



(注1) ネットワークに接続されたコントローラなどの制御機器、及びそれを接続する機器。

来の2.5倍に延長でき、システムのノードをより広範囲に配置できるようにした。メディアアクセス制御方式にTC-net™シリーズで実績があるDOMA (Deterministic Ordered Multiple Access) 方式を機能拡張したEnhanced DOMA方式を採用することで、Ethernetでのリアルタイム性を確保した。

1Gビット/sに高速化したスキャン伝送及びメッセージ伝送と機能拡張によって、伝送性能は従来から一桁近く向上した。スキャン伝送容量は従来の2倍、最大ノード台数は従来相当で、より大容量かつ大規模なシステムの制御データを1ms単位の制御周期で一括して更新できる。更に、リアルタイム性を維持しながら伝送容量を拡大でき、従来に比べてより短時間の応答性能を実現するms以下の制御周期も実現した。

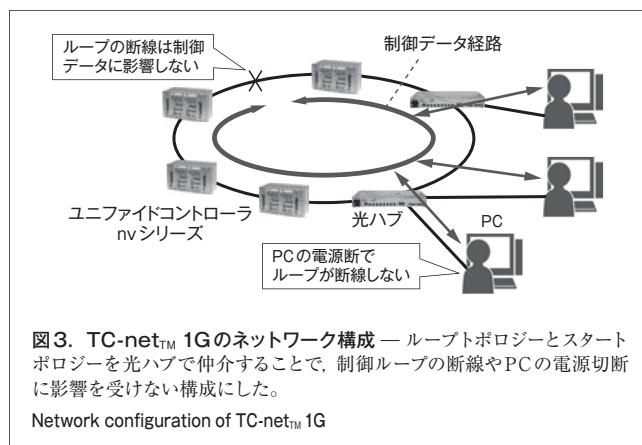
また、TC-net™ 1Gの伝送高速化に合わせ、機器インタフェースを従来のPCI™^(注2)(Peripheral Component Interconnect)からPCI Express®^(注3)へ高速化した。更にDMA (Direct Memory Access) 機能の追加によって、制御データをPCのアプリケーションソフトウェアで高速に入出力できるようにした。

2.3 ネットワークポロジ

TC-net™ 1Gのネットワークポロジは、ループポロジとスタートポロジを組み合わせたハイブリッド構成である(図3)。

コントローラや光ハブは、ユニファイドコントローラnvシリーズで実績のあるTC-net™ I/Oループのループ冗長方式によってループポロジで接続した。ループ接続の異常検出機能とループ切替機能によって、ループのケーブル断線などの異常を検出すると、制御データの経路を切り替えて異常箇所を回避し、正常な伝送を継続する。また、ハブの構成を工夫して数を削減し、異常が発生する機会を減らした。

PCは光ハブを経由するスタートポロジで接続した。この構成にすることで、システムの稼働中にエンジニアリング用や監視用のPCの電源を投入、切断しても、制御データの伝送には影響を与えない。



(注2)、(注3) PCI, PCI Expressは、PCI-SIGの商標又は登録商標。

2.4 RAS機能の強化

1 Gビット/sの伝送速度では伝送フレームの数が膨大になるため、従来のTC-net™で採用しているスキャン伝送ブロックやノードなどの正常診断及び伝送異常検出機能に加えて、トラブル発生時に備えた伝送データの解析機能を強化した。

異常時の解析には1 Gビット/s以上のEthernetに対応したLANアナライザによってループ上の伝送フレームを監視することが有効である。しかし、異常の原因になる箇所を特定するためには、高価なLANアナライザをあらかじめ多数のノードに接続しておいたり、原因になるノードを推定してつど接続したりして解析する必要がある。

これに対してTC-net™ 1Gでは、ノードにLANアナライザ機能を持たせ、伝送フレームとその診断情報を監視できるようにした。伝送異常を検出したときには、自ノード又は全ノードの伝送フレームと診断情報をTC-net™ 1Gに接続した専用ツールから読み込んで表示し、LANアナライザ機能によって伝送異常の原因の解析と異常箇所の特定を迅速にできるようにした。

3 鉄鋼プラント制御システムへの適用例

3.1 システム構成

TC-net™ 1Gを適用した大規模鉄鋼プラント制御システムの構成例を図4に示す。LANは、TC-net™ 1Gの制御系LANと1 Gビット/s Ethernetの情報系LANの2種類で構成する。システム構築上の基本アーキテクチャはフルリモートI/O構成、すなわち、プラント全てのI/O情報がTC-net™ 1Gのコモンメモリ上に集約されて高速に更新され、接続された全機器がI/O

情報を遅滞なく共有できる構成である。

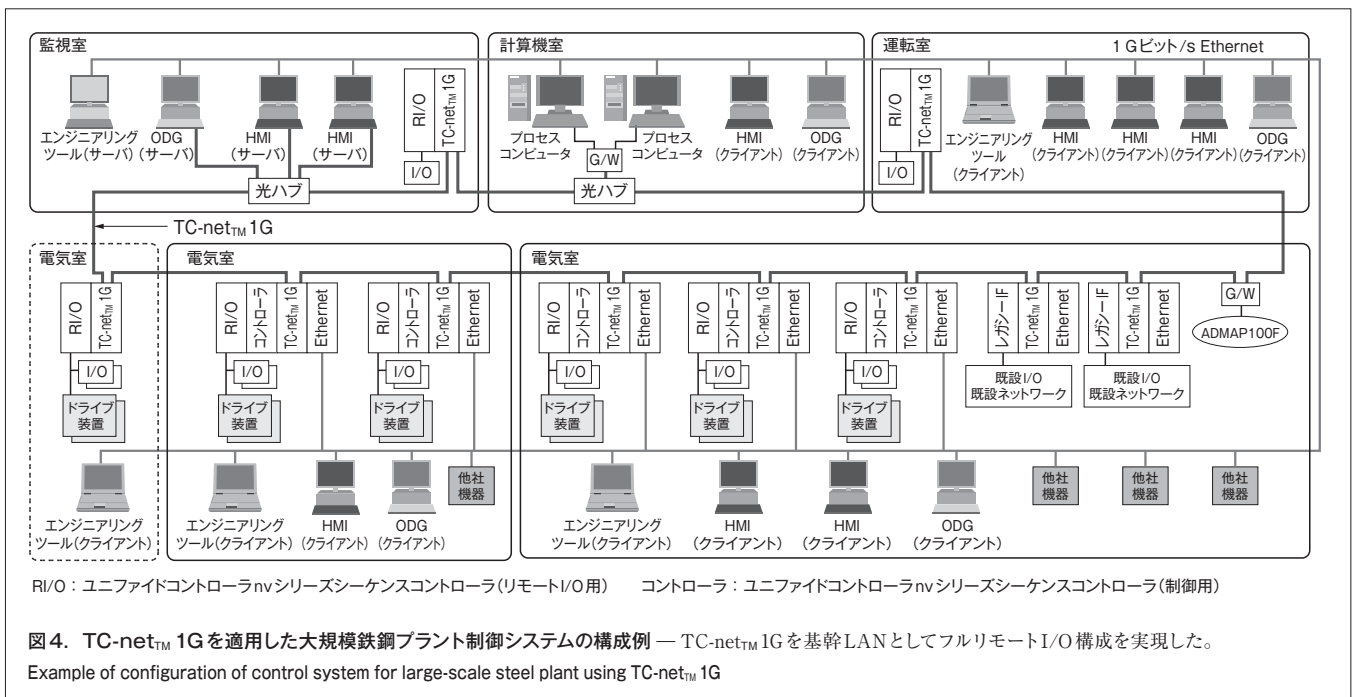
フィードフォワード・フィードバック制御などの高度な制御とシーケンス制御は、図4のコントローラ（制御用）がその制御プログラムを実行する。また、リモートI/O機能、つまりI/O及びドライブ装置とTC-net™ 1Gコモンメモリ間のデータ転送は、図4のコントローラ（リモートI/O用）が実行する。1台のコントローラが、I/O点数が多い場合にはリモートI/O機能だけを実行し、I/O点数が少ない場合、又はリモートI/O転送時間に高速性が要求されない場合には、リモートI/O機能と制御プログラム実行機能を並列に実行することもできる。

高速な周期でデータを更新するスキャン伝送機能を適用することによって、直結I/Oを廃して全ての入出力機能をリモート化した。リモート化されたI/Oとコントローラ間の伝送遅延時間は1 ms以内であり、コントローラに直結されたI/Oと同等の制御性能で取り扱うことができる。

3.2 TC-net™ 1Gの適用

TC-net™ 1Gは、コントローラ間及びリモートI/Oとコントローラ間のインタフェースに使う。独立したリモートI/OステーションをTC-net™ 1Gの一つのステーションとして設置すること、又はコントローラ（制御用）とコントローラ（リモートI/O用）を一つのステーションに共存させて設置することのいずれも可能である。コントローラ（制御用）とコントローラ（リモートI/O用）を共存させた場合にも、全てのI/O信号はTC-net™ 1Gのコモンメモリ経由で接続したフルリモートI/O構成をとる。

プラントにはHMIシステムとODG (Online Data Gathering) システムを備え、それぞれクライアント/サーバ方式で構成している。HMIサーバはTC-net™ 1Gに接続し、コントロー



ラとのインタフェースは全てTC-net_{TM} 1Gのコモンメモリ経由で行っている。TC-net_{TM} 1Gを制御LANとするシステムでは、プラント全てのI/O 情報や、HMI へのインタフェース情報、コントローラ間インタフェース情報、プロセスコンピュータとコントローラ間のインタフェース情報などはTC-net_{TM} 1Gのコモンメモリ上にある。また、ODGサーバではTC-net_{TM} 1Gのコモンメモリ上の任意のデータを指定して最速1msという高速な周期でデータを収集し保存してグラフ表示することができる。ODGシステムによって、制御データや、全てのI/O 信号、HMI 操作の履歴などを必要に応じて表示して、トラブルシューティング時間を大幅に削減できるようになる。

TC-net_{TM} 100を適用したシステムでは、一つのプラント制御システムに複数系統のTC-net_{TM} 100を適用して伝送時間の高速化を図った例があるが、TC-net_{TM} 1Gでは1系統で構成できる。プラント全ての入出力信号がTC-net_{TM} 1Gのコモンメモリ上に存在するため、1台のODGでプラント全体にわたって同期したデータを採取でき、状態監視機能を大幅に強化できる。

3.3 システム更新の利便性

既設プラントの更新では、I/Oは既存設備のまま残し、コントローラや、制御ネットワーク、HMIなどのインテリジェント機器を段階的に更新する場合も多い。このようなニーズに応えるため、ユニファイドコントローラnvシリーズではレガシーインタフェースシリーズ(以下、レガシーIFと略記)を準備し、既設のI/Oを流用してインテリジェント機器だけを更新できるようにしている。つまり、既存のI/OはレガシーIFによってリモートI/OとしてTC-net_{TM} 1G経由でユニファイドコントローラに接続される。レガシーIFは、TC-net_{TM} 100では既に運用を始めており、TCnet_{TM} 1G対応版は2012年にリリースする予定である。

既設のネットワークであるADMAP-100F(当社統合制御システムCIEMAC7000の基幹LAN)については、専用ゲートウェイ(G/W)でのTC-net_{TM} 1G接続が予定されている。ADMAP-100FコモンメモリとTC-net_{TM} 1Gコモンメモリの間はハードウェアで高速に転送され、システムの更新時に転送による遅延時間を配慮する必要がない。

4 国際標準化

近年、ユーザーが制御システムの入札募集を行う場合、システムが準拠する国際規格を入札の条件として指定する傾向にある。制御ネットワークでは、IEC規格で通信規格が標準化され、IEC 61784-2にCPF (Communication Profile Family)としてRTEが規定されている。

当社は、2004年のRTE国際標準の原案の審議開始に合わせ、TCnetの国際標準化活動を進めてきた。IEC/TC65(工業プロセス計測制御技術委員会)/SC65C(デジタルデータ伝送分科委員会)国内委員会から、日本案として100Mビット/sの

TCnetを提案し、IEC 61784-2、IEC 61158シリーズ、及びIEC 61784-5の国際標準規格に登録されている。これらのうちIEC 61784-2では、2007年第1版にTC-net_{TM} 100の仕様がCPF11として制定され、2010年に制定された第2版にはTC-net_{TM} I/Oループの仕様が追加され、それぞれ国際規格となっている。現在は、2013年の制定予定で審議が進められている第3版へ1Gビット/sのTC-net_{TM} 1Gの仕様を追加する提案をして、標準化活動を行っている。

5 あとがき

1Gビット/sのEthernetをベースとして伝送性能を向上した情報・制御ネットワークTC-net_{TM} 1Gの特長及び適用例について述べた。制御システムの構築には、優れた特長があること、ユーザーアプリケーションに適していること、及び確固たる技術基盤と実績に基づいて国際規格化された標準技術による製品が要求される。

当社は今後、TC-net_{TM}シリーズで培ってきた制御ネットワーク技術を継承していっそう発展させ、更なる製品開発を進めていく。

文献

- 梅田裕二 他. タイムクリティカルネットワークTC-net_{TM} 100とその応用. 東芝レビュー. 57, 9, 2002, p.46-49.
- 梶原 繁 他. 産業用コントローラの新技術と標準化. 東芝レビュー. 64, 10, 2009, p.6-9.
- 野島 章 他. 鉄鋼プラント制御システムへの統合コントローラの適用. 東芝レビュー. 56, 10, 2001, p.23-26.
- 高柳洋一. Real-Time Ethernet "TCnet_{TM}"の国際標準化への取組み. 東芝レビュー. 64, 4, 2009, p.64-67.
- 東芝 社会インフラシステム社. "タイムクリティカル情報・制御ネットワークTCnet". 東芝ホームページ. <http://www3.toshiba.co.jp/sic/seigyotcnet/index_j.htm>. (2011-05-20参照).



岡部 基彦 OKABE Motohiko

社会インフラシステム社 府中事業所 計測制御機器部主務。
ユニファイドコントローラ及び監視制御ネットワーク装置の
設計・開発に従事。計測自動制御学会会員。
Fuchu Complex



河野 慎哉 KONO Shinya

社会インフラシステム社 府中事業所 計測制御機器部主査。
ユニファイドコントローラ及び監視制御ネットワーク装置の
設計・開発に従事。
Fuchu Complex



野島 章 NOJIMA Akira

東芝三菱電機産業システム(株) 産業第二システム事業部 制御
システム開発部技術主幹。鉄鋼プラント制御システムの開発
及びシステムエンジニアリング業務に従事。情報処理学会会員。
Toshiba Mitsubishi-Electric Industrial Systems Corp.