

# Real-Time Ethernet “TCnet™”の国際標準化への取り組み

Contribution to International Standardization of TCnet™ Real-Time Ethernet (IEC 61158)

高柳 洋一

■ TAKAYANAGI Yoichi

IEC (International Electrotechnical Commission: 国際電気標準会議) は、電気分野における国際標準機関である。そのIEC 61158 (-2)は、産業オートメーションシステムにおけるFieldbusに関する規格であり、物理層の仕様とサービスの定義について記されていた。1993年に初版 (Ed. 1.0) が発行されてから、その後、数回にわたって改訂及びパートが追加されている。

また近年、産業オートメーションの分野において、IT (情報技術) 分野で発達したEthernetが応用されるようになった。各電気メーカーによる応用開発は1990年半ばから始まり、世界各地で工業用Ethernetの仕様の開発と発表がなされた後、時間確定性の精度を更にしたReal-Time Ethernetのプロトコルとサービスについて、IEC 61158の最新版 (Ed. 4.0) に追加された。この改訂時に、東芝が開発したTC-net™ 100の基本技術仕様であるTCnet™ を提案し、その作業グループ (TC65/SC65C/MT9) に参画して規格書の編集作業に貢献することができた。

The International Electrotechnical Commission (IEC) is an international standardization organization in the electrical field. IEC 61158(-2) is an international standard for the fieldbus that is computer network protocol used in industrial automation systems. It was describing the physical layer specification and service definition. The first edition (Ed. 1.0) was published in 1993, with revisions and additions having been incorporated several times since then.

In recent years, accompanying its progress in the information technology (IT) field, Ethernet has also been applied to the field of industrial automation. Application development by various electrical component manufacturers began in mid-1990, and after the development and release of Industrial Ethernet specifications, the protocols and services of Real-Time Ethernet, which further improved the accuracy of the time deterministic feature, were added to the latest version (Ed. 4.0) of IEC 61158. On the occasion of this revision, TCnet™, which has been developed by Toshiba based on the technical specification of TC-net™ 100, was added to IEC 61158.

## 1 まえがき

IEC 61158は、もともとIndustrial communication networks - Fieldbus specificationsという、ネットワーク仕様に関する規格であった。ここでFieldbusとは、図1の最下層に位置するフィールドネットワークレベルで、工場設備に直結するフィールド機器を接続するデジタル通信ネットワークを示す。

ここでは、IEC 61158の構成や変遷を述べ、その後のコントローラネットワークレベルでのReal-Time Ethernet (RTE)の発祥と国際標準化活動、及び東芝の取り組みについて述べる。

## 2 システムの概要

産業オートメーションシステムを含めた企業内ネットワーク階層の例を図1に示す。ここで、工場現場のいわゆる計測・制御システムは情報系ネットワーク、コントローラネットワーク、及びフィールドネットワークで構成されるシステムであり、そのうちの情報系ネットワークを介して、企業内のイントラネットに接続されている形態をとる。

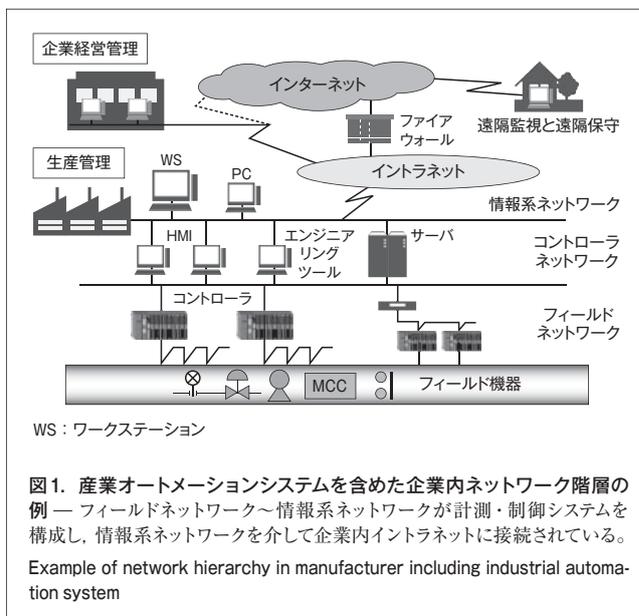


図1. 産業オートメーションシステムを含めた企業内ネットワーク階層の例 - フィールドネットワーク～情報系ネットワークが計測・制御システムを構成し、情報系ネットワークを介して企業内イントラネットに接続されている。  
Example of network hierarchy in manufacturer including industrial automation system

### 2.1 Fieldbusとは？

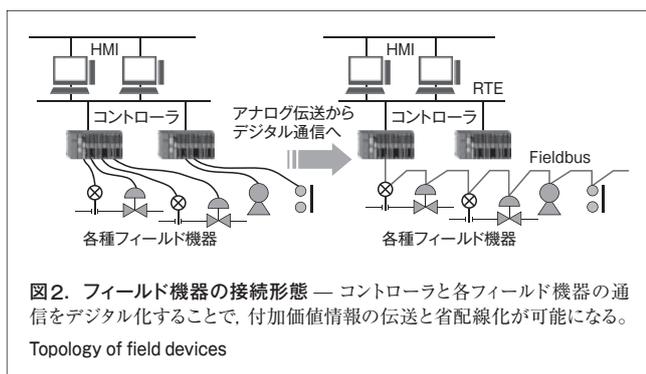
図1において、最下層に位置するフィールドネットワークでは、工場設備に直接接続する入出力装置がつながる。例え

ば、単純なアナログ入力や出力、デジタル入力や出力、パルス入力や出力、温度を測る測温抵抗体や熱電対、電磁流量計、圧力伝送器、電磁弁などの各種アクチュエータ、モータ、ドライブ装置、モータコントロールセンター（MCC）などがある。それらのフィールド機器どうしとコントローラを接続するデジタル通信ネットワークとしてFieldbusがある。

## 2.2 アナログ伝送からデジタル通信へ

従来、フィールド機器は、オン/オフのデジタル値はリレーで、アナログ値は4～20 mAの電流値で伝送していた。一方、デジタル通信技術の発達により、符号化と伝送効率が著しく向上し、コントローラとフィールド機器の間の伝送をデジタル通信化することができるようになった。

デジタル通信化により、アナログ値以外に、機器の動作状態やログ、シリアルNo、製造年月日などを付加情報として伝送し、工場に何百とある機器の管理に役だてることできる。また、図2に示すように、従来はコントローラと各フィールド機器をそれぞれ1対1で配線する必要があったが、デジタル通信では1本の伝送線路で各フィールド機器を接続することで省配線化ができる。



## 3 IEC 61158規格の文書構成

IEC 61158の規格書は、基本的に次の六つのパートに分かれて構成されている。

- (1) IEC 61158-1: Overview and guidance
- (2) IEC 61158-2: Physical layer specification and service definition
- (3) IEC 61158-3: Data link service definition
- (4) IEC 61158-4: Data link protocol specification
- (5) IEC 61158-5: Application layer service definition
- (6) IEC 61158-6: Application layer protocol specification

IEC 61158-1は、全体の概観及びガイダンスを示す技術報告書となっており、IEC 61158シリーズの構造及び内容について述べている。IEC 61784と合わせてその使用方法を示しており、ISO (International Organization for Standardization)

とIECが共同で策定したISO/IEC 7498のOSI (Open systems interconnection) 参照モデルに構造を関連付けている。

IEC 61158-2は、OSI参照モデルにおける物理層の仕様とサービス定義について記されている。IEC 61158-3及び-4は、同モデルにおけるデータリンク層のサービス定義とプロトコル仕様について、IEC 61158-5及び-6は、アプリケーション層のサービス定義とプロトコル仕様について記されている。

ここで、IEC 61158に関連する重要な規格としてIEC 61784がある。この規格では、CPF (Communication Profile Family) を定義して、各CPFのプロトコルスタック (層) 構造と、各スタックにどの仕様又は定義を適用するかをIEC 61158の各節を引用して示している。なお、IEC 61784には次の二つのパートがある。

- (1) IEC 61784-1: Fieldbus profiles
- (2) IEC 61784-2: Additional fieldbus profiles for real-time networks based on ISO/IEC 8802-3

ここで、ISO/IEC 8802-3はEthernetの国際規格であり、すなわちIEC 61784-2はいわゆるRTEのプロファイルに関する規格である。Fieldbus及びRTEとしてIEC規格に記されているCPFを表1に示す。

表1. IEC規格となっているFieldbus及びReal-Time Ethernet  
IEC standards for fieldbus and Real-Time Ethernet

CPF No.	IEC 61784-1 Fieldbus	IEC 61784-2 RTE	関連組織
CPF1	FOUNDATION Fieldbus (H1, HSE)	—	Fieldbus Foundation
CPF2	CIP (ControlNet, EtherNet/IP)	EtherNet/IP with time synchronization	ControlNet International, ODVA
CPF3	PROFIBUS (DP, PA), PROFINET (CBA)	PROFINET IO	PROFIBUS International
CPF4	P-NET	P-NET on IP	デンマーク
CPF5	WorldFIP	—	WorldFIP
CPF6	INTERBUS	PROFINET GW	INTERBUS Club
CPF8	CC-Link	—	CC-Link 協会
CPF9	HART	—	HART Communication Foundation
CPF10	—	Vnet/IP	日本
CPF11	—	TCnet™	日本 (東芝)
CPF12	—	EtherCAT	EtherCAT Technology Group
CPF13	—	ETHERNET Powerlink	ETHERNET Powerlink Standardization Group
CPF14	—	EPA	中国
CPF15	—	MODBUS-RTPS	MODBUS-IDA
CPF16	—	SERCOS III	Interests Group SERCOS interface e.V.

CIP : Common Industrial Protocol  
ODVA : Open DeviceNet Vendor Association

## 4 RTEの発祥と国際規格への組み込み

産業オートメーションにおける計測・制御ネットワークでは、

信頼性とリアルタイム性が重要視される。1990年以前はメーカー独自のネットワーク仕様が使われてきたが、1990年半ば以降、経済的及び技術的な理由により、Ethernetの産業適用が拡大するようになった。インターネットの爆発的な普及により、OA環境においてEthernetとTCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) 通信が浸透したことが、その背景にある。冒頭、図1に示したように、製造・生産・設備管理などを実行するソフトウェア群がEthernet+TCP/IPというイントラネット・情報系ネットワーク上に構築されるようになったが、それらのソフトウェアは計測・制御システムのHMI (Human Machine Interface) 系コンピュータから情報を取得する形態になっている。したがって、HMIとコントローラの間、更にコントローラどうしの間にEthernet+TCP/IPが通ることは非常に有益である。コントローラが持っている生産と操業に関するデータを、そのまま上位システムに吸い上げることができるようになるからである。

また、OA環境でEthernetが普及する過程において、コンポーネントや部品は厳しい価格競争を強いられてきた。更に、Ethernetはその通信速度が十倍増しで高速化していくという進歩や、スイッチング技術のようなメディア制御技術の革新がある。また、市場に出ているEthernet製品の実績は多く、それらを開発する技術者が全世界的に存在するという基盤があった。

一方で、Ethernetの産業適用における最大の問題は再送処理であった。衝突が発生した複数のノード(ネットワーク上のステーション)間で再び衝突を繰り返すことを避けるため、データを再度送信するタイミングは各ノードで乱数を発生させて計算される。つまり、送信要求が発生してから相手に届くまでの送達時間が不確定なのである。しかしながら、時間確定性を含む下記の課題に取り組み、工業用にカスタマイズされた工業用Ethernetの仕様が2000年前後から世界各地で発表された。

- (1) リアルタイム性(時間確定性の実現)の問題
- (2) 冗長化対応(妥当なリカバリー時間)の問題
- (3) 工業用途の耐環境性、耐ノイズ性、防じん性

その後、2003年ころ、更にリアルタイム性を追求した仕様が開発され、特に“ノード間でタイミングを同期させる動作を持ち、時間確定的な通信の仕組み”が備わっているRTEが発表され、実用化が進んでいる。

## 5 東芝の国際規格への提案

### 5.1 情報・制御ネットワークTC-net™ 100

TC-net™ 100は、コントローラ間及び、コントローラとPCを接続するコントローラネットワークとして東芝が開発した。2001年にリリースし、鉄鋼プラントを中心に数多くの実績を持ち、更に上下水道施設や電力監視制御システムへも適用を拡大している。

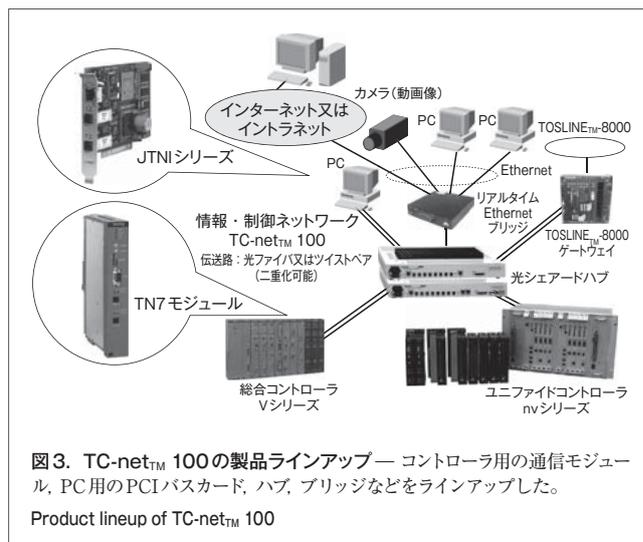


図3. TC-net™ 100の製品ラインアップー コントローラ用の通信モジュール、PC用のPCIバスカード、ハブ、ブリッジなどをラインアップした。  
Product lineup of TC-net™ 100

ミリ秒 (ms) オーダのデータ交換ができるリアルタイム通信と、通常のTCP/IPメッセージ通信を共存させることができる。TC-net™ 100は、まさにReal-Time Ethernetと呼ばれるネットワークであり、当社が他社に先駆けて実用化したものである(図3)。

当社は、TC-net™ 100の基本技術仕様であるTCnet™の国際標準化活動を2004年初頭から意欲的に進めてきた。そして、2007年12月にIEC規格として発行され、公式な国際規格文書としてIECのウェブサイトなどから参照可能となっている。

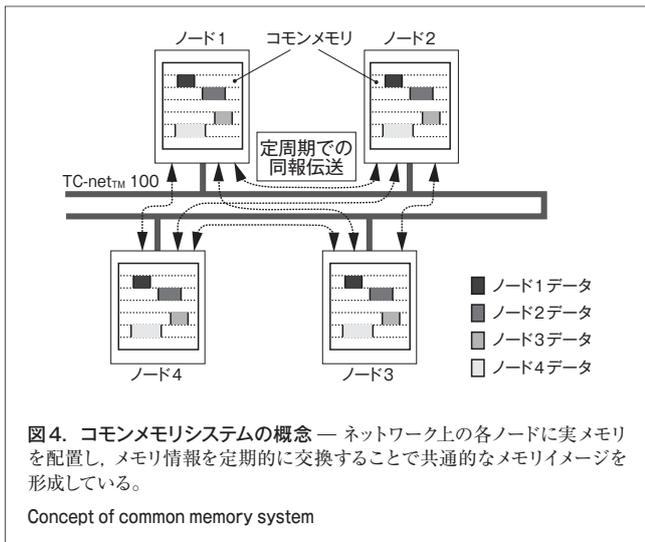
- (1) テクノロジー名 TCnet™
- (2) 国際規格番号 •IEC 61784-2 CPF11  
•IEC 61158 Type11
- (3) 規格発行日 2007年12月14日
- (4) 技術委員会 IEC/TC65/SC65C

TC-net™ 100は、前述のとおり、当社製コントローラの情報・制御ネットワークの製品ブランドであり、今ではIEC規格TCnet™に準拠した応用製品TC-net™ 100として認知されている。コントローラ用の通信モジュール、パソコン(PC)用のPCI (Peripheral Component Interconnect) バスカード、ハブ、ブリッジなどの製品がラインアップされている。

なお、IEC 61158のEd. 4.0では規格番号の最後の番号にType No.を付けて文書を分けるようにした。TCnet™ (Type11)に関する規格文書はIEC 61158-3-11/-4-11/-5-11/-6-11の四つである。

### 5.2 TCnet™の技術

TCnet™は、1980年代から培ってきた当社のDNAともいえるべき技術、コモンメモリとスキャン伝送が基本となっている。これらは、ネットワーク上の各ノードにメモリを配置して、そのメモリ情報を定期的に交換することで、あたかも同一なメモリ空間をネットワーク上で共有する技術であり、それを実現する伝送方式である(図4)。



これらによって、ユーザー（ホスト機器）は簡単な設定だけで、通信プロトコルを意識せずに他ノードが持つデータを読んだり、他ノードにデータを渡すことができる。また、効率的な回線利用により、高速な周期でデータの等値化ができるようにしており、ms オーダのリアルタイム性を持つ。

これらの技術をOAやITの分野で発達したEthernet上で展開するとともに、従来のTCP/IPメッセージ通信も同じ回線上で実行できるようにして、リアルタイム性のあるスキャン伝送と共存できるように設計されている。これはまさしく、IECで提案されたReal-Time Ethernetのコンセプトに適合している。更に、TCnet™では3段階のリアルタイム通信の周期を設定できるようになっている。高速、中速、及び低速スキャン周期である。これによって、制御データのリアルタイム性、アラーム、パラメータやプログラムのダウンロードデータなど、それぞれの緊急度に合わせて使い分けができる。

### 5.3 国際規格までの道のり

TCnet™の国際規格化活動は2004年1月から本格的に始められた。提案先は、IEC/TC65（工業プロセス計測制御技術委員会）下のSC65C（デジタルデータ伝送分科委員会）である。企業単体で国際規格を提案することはできないので、まず日本NC（National Committee）で承認を得て、日本案として提案するという手順が必要であった。

日本NCには、IECの組織に対応した国内委員会（ミラー委員会）が構成されており、TC65では日本電気計測器工業会（JEMIMA）が国内審議団体の事務局を担当している。この委員会は、国内のユーザー、ベンダー、及び学識経験者から構成されている。

また、当社は今回、経済産業省の「産業競争力強化型国際標準提案事業」に応募し、それが認められて資金援助を受けることができた。また、この事業を運営するためにJEMIMA内にRTE標準化推進委員会が組織された。こうして産学官

が連携した体制で、日本案であるTCnet™の国際規格化が進められ、約4年後の2007年12月にTCnet™国際規格が正式に発行されるに至った。実際は、年4回ほど開催される国際標準化委員会への出席、各国の委員会メンバーへの根回し、TC-net™ 100の仕様書の英語翻訳、IEC文書のフォーマットに合わせた書き直し、及び経済産業省や国内の関連委員会への報告と意見調整、などの作業を行ってきた。

## 6 あとがき

Real-Time Ethernetの規格化が始まったころに発生したセーフティやサイバーセキュリティに関しても、同時に規格が成立している。更に、工業用無線の規格化がIECでも始まるようとしている段階にある（一部はIEC 61158 Ed. 4.0に含まれている）。また、ISOでもTC184で、産業用ネットワークのアプリケーションフレームワークとして規格化が進められており、ISO 15745として知られている。

IEC 61158については、次のエディションに進むための準備が作業グループのMT9で始まっており、2010年と2012年に改訂される予定である。そこでは、Ethernetの進化に追従するための規格のメンテナンス作業、新しい規格の導入、及び使われなくなった規格の削除が行われていくことになる。当社は、今後もMT9に参画してTCnet™規格のメンテナンスと新しい仕様の追加（TC-net™ I/Oループ）などを行っていく予定であり、それがわが国にとって、計測制御分野での国際標準化活動への貢献になると信じ、継続的に実施していく。

## 文献

- (1) 高柳洋一, ほか. 計測・制御システム機器の動向と展望. 東芝レビュー. 62, 10, 2007, p.2-6.
- (2) 高柳洋一, ほか. 高信頼性・リアルタイム工業用イーサネットの標準化. 計測と制御. 44, 6, 2005, p.371-377.
- (3) 梅田裕二, ほか. タイムクリティカル ネットワークTC-net™ 100とその応用. 東芝レビュー. 57, 9, 2002, p.46-49.
- (4) 元吉伸一 (編). 工場通信ネットワーク入門. 日刊工業新聞社, 2006, 206p.
- (5) IEC. "Profile sets for continuous and discrete manufacturing relative to fieldbus use in industrial control systems". IEC 61784 (all parts):2007. IEC. 2007.
- (6) IEC. "Digital data communications for measurement and control - Fieldbus for use in industrial control systems". IEC 61158 (all parts): 2007. IEC. 2007.



高柳 洋一 TAKAYANAGI Yoichi

電力流通・産業システム社 府中事業所 計測制御機器部主務。  
制御システム機器の商品企画、事業推進、及び製品開発に従事。  
計測自動制御学会、電気学会会員。IEC国際エキスパート。  
Fuchu Complex