

工場において制御に使われる センサーのデジタル通信による活用



金子 実

CONTENTS

- I はじめに
- II センサーからコントローラに伝送される情報のデジタル通信による活用
- III リモートI/Oによる配線の削減と産業用イーサネットの普及
- IV 制御に使われるセンサーのデジタル通信を容易にする規格
- V おわりに

要約

- 1 工場においてIoTを活用した省力化や生産性向上を進めるには、新たに設置したセンサーの情報を無線でインターネットに伝送するだけでなく、制御に使われるセンサーをデジタル通信により活用することも重要である。
- 2 制御に使われるセンサーの情報が、接点信号やアナログ信号でコントローラに伝送されるだけでは、センサーの持つ多様な情報を活用したり、センサーとの間で遠隔から情報のやりとりを行ったりすることができない。
- 3 工場の制御においては、産業用イーサネットによるデジタル通信の普及が進んでいる。制御に使われるセンサーについては、低コストで簡易なデジタル通信機能の搭載を可能にする規格や、産業用イーサネットによるデジタル通信を容易にする規格が開発されている。
- 4 制御に使われるセンサーのデジタル通信を可能にし、センサーと、企業のコンピュータシステムやインターネットとの間での直接の情報のやりとりを可能にすることにより、AIやクラウドコンピューティングなどの急速に進展する情報技術を工場で活用することを容易にできる可能性がある。

I はじめに

IoT（Internet of Things：モノ、コトのインターネット）でインターネットにつながれる代表的なものの一つにセンサーがある。センサーがインターネットにつながれることにより、ヒトが入力作業を行わなくても、自動的に検出された多くの情報がインターネットで伝送されるようになった。また、ヒトがセンサーの設置場所に行かなくても、センサーとの間で情報のやりとりができるようになった。

日本では生産年齢人口の減少が続いており、センサーのIoTを活用した省力化や生産性向上が多くの分野で進められている。工場もそのうちの一つであるが、工場におけるセンサーのIoTには特徴的な点がある。それは、工場ではインターネットが普及する前から、多くのセンサーが制御のための情報を伝送してきているということである。したがって、工場におけるセンサーのIoTでは、インターネットにつなぐ新たなセンサーの設置だけでなく、制御のために使われるセンサーの活用も重要となっている。

工場で制御に使われるセンサーで検出された情報のデジタル通信による活用は、検出された情報が接点信号^{※1}やアナログ信号でコントローラに伝送され、コントローラによりコンピュータで処理される形に変換されたものを、企業のコンピュータシステムでも利用するために始まっている場合が多い。今日、多くの工場で、そのような情報がインターネットでも伝送され、活用されている。

他方、工場で制御に使われるセンサーには、マイコンを搭載することでさまざまな情

報を持ったり、信号の演算処理をしたりすることのできるものが増えている。そして、デジタル通信により、センサーが持つさまざまな情報の活用やセンサーのパラメータ設定などを容易にする、さまざまな規格が開発されている。

マイコンを搭載しているセンサーがさまざまな情報を持っていても、接点信号やアナログ信号でコントローラに伝送される情報は、その一部でしかない場合が多い。したがって、そのような情報が企業のコンピュータシステムに伝送されるだけでは、多くの情報は企業のコンピュータシステムでは活用されないままとなる。また、マイコンを搭載しているセンサーは、デジタル通信による双方向通信でパラメータの設定などを行う可能性があるが、コントローラに接点信号やアナログ信号で情報が伝送されるだけでは、双方向通信は行われない。

センサーのデジタル通信に資する規格の多くは、国際的にオープンなものである。しかし、それらを実装するセンサーを供給する企業については、ドイツやその周辺国のスイスなどに多いという地域的な偏りが見られる。それらの企業は新しい規格に対応した製品の開発・提供に積極的で、そのことはドイツを中心に進められているインダストリー4.0の一つの基盤になっている。日本でもこの点に着目したキャッチアップの努力がなされなければ、工場のデジタル化において、日本はドイツおよびその周辺国にますます水をあけられていく。

クラウド技術の進展に伴い、工場の資産をセンサーを含めて遠隔から管理できるケースが増えている。また、AI技術の進展に伴い、

センサーで検知された情報を使って予知保全を行い、工場のトラブルコストとメンテナンスコストを小さくできるケースが増えている。本稿においては、工場で制御に使われるセンサーのデジタル通信による活用を容易にする規格の進展をサーベイすることにより、工場のデジタルトランスフォーメーション(DX)の未来を考えるうえでの一助としたい。

II センサーからコントローラに 伝送される情報の デジタル通信による活用

1 センサーからコントローラに 伝送される情報のコンピュータで 処理される信号への変換

工場におけるセンサーを使った自動制御の主な類型には、「フィードバック制御」と「シーケンス制御」がある。

フィードバック制御は、制御量を目標値に一致させるように修正動作を行う制御である。液体の量をレベル計で検出して、それが目標値から離れるとバルブを自動的に開閉さ

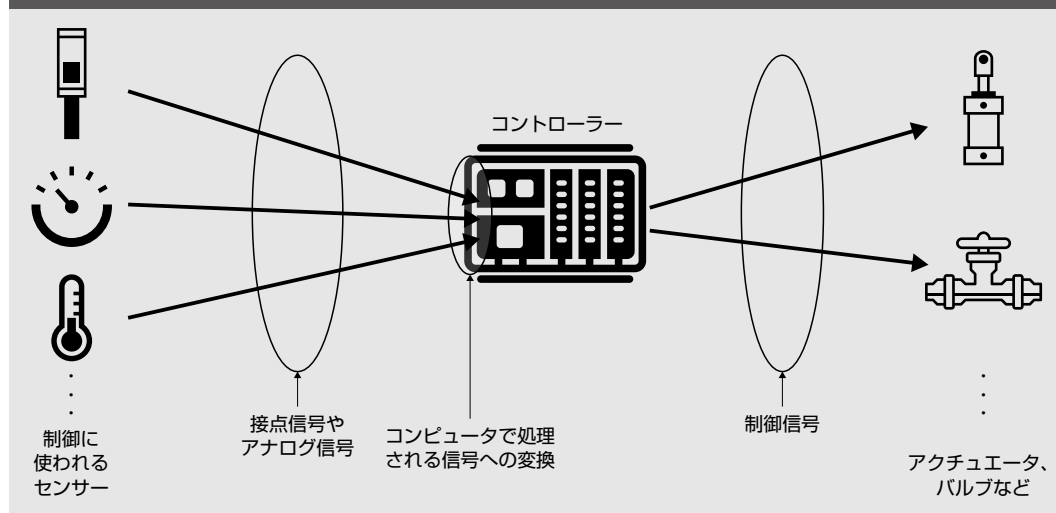
せて目標値に戻るようにする制御などがその例である。フィードバック制御は、化学産業などの素材産業におけるプロセスオートメーション(PA)と呼ばれる自動化でよく使われる。

シーケンス制御は、複数の動作が自動的に一定の順序で実行されるようにする制御である。生産ラインで仕掛品が流れてくると光電センサーの光が遮られ、機械がその仕掛品の加工を始める制御などがその例である。シーケンス制御は、自動車産業などの機械産業のファクトリーオートメーション(FA)と呼ばれる自動化でよく使われる。

どちらのタイプの自動制御においても、センサーにより検出された情報をコンピュータで処理される信号にすることが必須なわけではない。たとえばシーケンス制御においては、センサーが検出した情報によって電流が変化し、電磁コイルで接点が操作される電磁リレーと呼ばれる機器による自動制御が、今日でも使われている。

しかし、電磁リレーだけで複雑なシーケンス制御をしようとすると多くの電磁リレーが必要となり、電磁リレーを格納する制御盤が

図1 センサーの情報がコントローラにより変換される場合の制御のための情報の流れ



大型化してしまう。また、制御内容を変更する際には、配線の変更のために多くの作業が必要となる。このような状況を改善するために、電磁リレーで行っていた制御をコンピュータのソフトウェアを使った制御に置き換え、制御の内容をプログラムによって設定・変更することを可能としたPLC（Programmable Logic Controller）が、1960年代後半に開発された^{注2}。

また、フィードバック制御が多く使われるPAでは、マイクロプロセッサを搭載したコントローラを分散配置し、ネットワークでつないで制御を行うDCS（Distributed Control System）が、1970年代に製品化された。

コンピュータのソフトウェアが制御に使われるようになり、制御に使われるセンサーから伝送される接点信号やアナログ信号は、コ

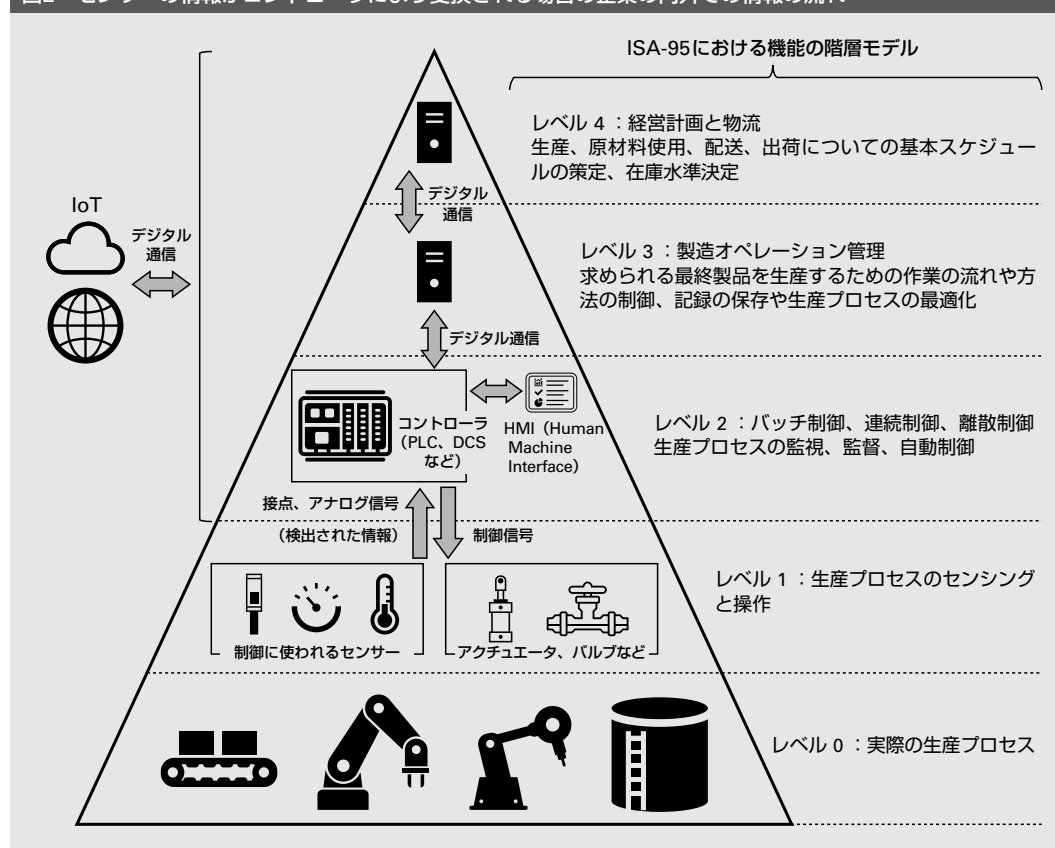
ントローラによってコンピュータで処理される信号に変換されるようになった（図1）。

2 コントローラの情報のデジタル通信による活用

コントローラによるコンピュータで処理される信号への変換は、機械などを駆動するアクチュエータや液体の流れを変化させるバルブなどに制御信号を出すために行われるものである。さらに、コンピュータで処理される信号に変換された情報はデジタル通信で伝送され、必要なデータフォーマットの変換を行ったり、情報セキュリティ対策を講じたりして、企業が生産管理などを行うためのコンピュータシステムでも使われている。

米国のパデュー大学により1990年代に開発された、コンピュータを使って生産管理を行

図2 センサーの情報がコントローラにより変換される場合の企業の内外での情報の流れ



う企業の構造の参照モデルをベースにして、国際自動制御学会（ISA：International Society of Automation）は、2000年以降ISA-95, Enterprise-Control System Integration（ビジネスおよび製造システム統合）という規格を策定している。この規格は2003年以降、国際電気標準会議（IEC：International Electrotechnical Commission）の規格（IEC 62264）にもなっている。

この規格における機能の階層モデルでは、コントローラが位置づけられるレベル2が、センサーが位置づけられるレベル1と企業のコンピュータシステムが位置づけられるレベル3、レベル4の間に置かれている。このような階層モデルは、制御に使われるセンサーで検出された情報が、コントローラによりコンピュータで処理される信号に変換され、制御に使われるだけでなくデジタル通信で伝送されて、企業のコンピュータシステムでも使われることを反映している（図2）。

また、コントローラによりコンピュータで処理される信号に変換された情報は、企業のコンピュータシステムで使われるだけでなく、情報セキュリティ対策などを講じたうえで

でインターネットにつながられ、センサーのIoTでも活用される可能性がある。今日、そのような形でのセンサーのIoTが、多くの工場で行われている。

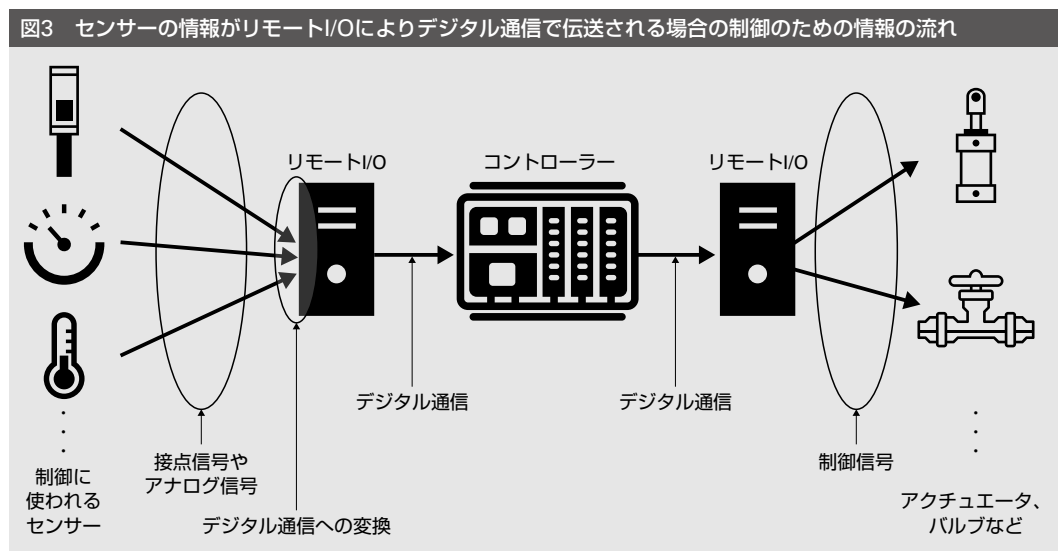
Ⅲ リモートI/Oによる配線の削減と産業用イーサネットの普及

1 リモートI/Oによる配線の削減

センサーからコントローラに接点信号やアナログ信号を送るには、各センサーとコントローラの間を別々の配線でつなぐ必要がある。このような配線をするには、一つのコントローラにたくさんの配線をつなげることが必要となる場合が多く、そうなる配線が複雑化し、配線のための作業が煩雑になる。

また、コントローラに情報を送るセンサーの多くがコントローラから離れたところに設置されることもある。このような場合にセンサーとコントローラの間を別々の配線でつなぐと、長い距離をつなぐ配線を数多く敷設しなければならなくなり、工場内の配線が複雑化する。

コンピュータのソフトウェアを使って制御



を行うコントローラが使われるようになった後、配線の複雑化や長距離化を緩和するため、コントローラとセンサーとの間にリモートI/Oと呼ばれる装置が置かれるようになった。リモートI/Oは、センサーから接点信号やアナログ信号で送られる情報を、デジタル通信でコントローラに送る（図3）。

コントローラとセンサーとの間にリモートI/Oが置かれることにより、リモートI/Oとコントローラの間では複数の配線がデジタル通信のケーブルに置き換えられる。したがって、コントローラにつなげる配線の数削減され、配線の複雑化が緩和される。また、コントローラから離れたところに複数設置されているセンサーの近くにリモートI/Oを置くことで、長距離の複数の配線をデジタル通信のケーブルに置き換えることができ、工場内の配線の複雑化も緩和される。

2 制御のためのデジタル通信における産業用イーサネットの普及

コンピュータのソフトウェアを使って制御を行うコントローラが使われるようになった後、コントローラによる制御のためのデジタル通信においては、まずRS-485などのシリアル通信の技術を使った通信プロトコルが数多くつくられ、それらを使った工場内のネットワークはフィールドバスと呼ばれるようになった。その後、通信速度のより速いイーサネットの通信規格をベースにしたさまざまな通信プロトコルがつくられるようになり、それらを使った工場内のネットワークは産業用イーサネットと呼ばれるようになった。

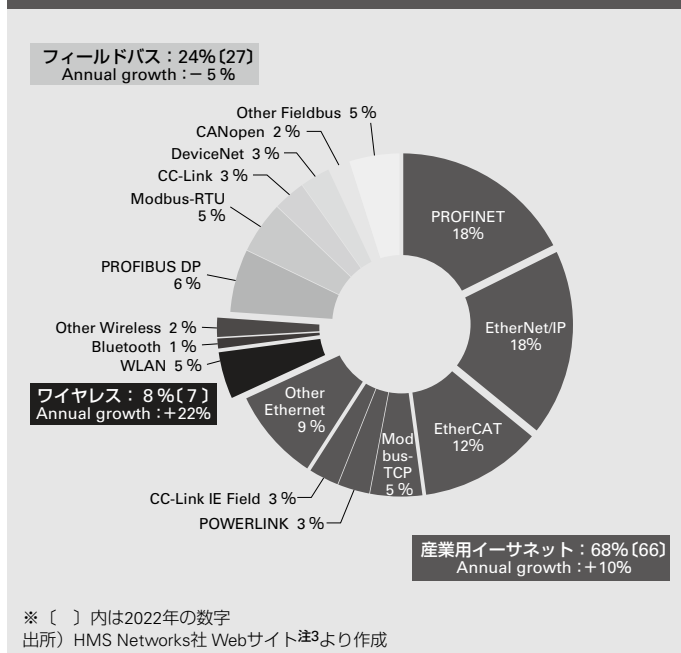
イーサネットは、オフィスの有線LANなどで使われている通信規格で、さまざまな情

報機器やオフィス機器などが情報をやりとりできるようにするために使われている。しかし、工場における制御に必要な情報伝送のリアルタイム性は保証していない。

そのため、産業用イーサネットの通信プロトコルは、イーサネットの通信規格を何らかの形でベースとしつつも、情報伝送のリアルタイム性を確保するための通信プロトコルがさまざまな形で加えられており、リアルタイム性の程度などが異なる複数の通信プロトコルが並存している。フィールドバスも産業用イーサネットもコントローラによる制御全般で使われるデジタル通信の通信プロトコルであり、コントローラとリモートI/Oとの間のデジタル通信にも使われる。

スウェーデンに本社を置き、産業用情報通信技術のソリューションを提供しているHMS Networks社は、FA分野における産業用ネットワークの種類別の新しい接続ノードの分布を推定して公表している。それによれば、2018年以降、産業用イーサネットのシェア

図4 2023年に公表された産業用ネットワーク市場シェア



アはフィールドバスのシェアを上回っている。そして、同社による最新の推定結果である2023年のデータを見ると、産業用イーサネットのシェアが68%にまで拡大し、フィールドバスのシェアが24%にまで低下している(図4)。

3 センサーの情報のやりとりの 産業用イーサネットへの 移行における課題

産業用イーサネットの活用は、コントローラによる制御のための情報のやりとりにおいて進展する一方で、制御に使われるセンサーの情報のやりとりにおいては、それと同じペースでは進展していない。これは、制御に使われるセンサーには工場のその他の機器などと比較して、産業用イーサネットの活用を難しくするハードルがいくつかあるためである。

まず、制御に使われるセンサーは、工場のその他の機器と比較して安価なものが数多く使われる傾向がある。したがって、一つひとつのセンサーに産業用イーサネットの通信機能を持たせようとするると全体のコストが高くなり過ぎ、コスト競争力が失われてしまう可能性がある^{注4}。

また、工場によっては、コントローラやリモートI/Oとセンサーとの間にかなりの距離があり、その間にIEC 60381-1に準拠して4~20mAの電流でアナログ信号を伝送する2線式のケーブルが敷設されている場合がある。そのような工場では、2線式のケーブルを産業用イーサネットのケーブルに置き換えようとするると、従来の規格では100mまでの長さの4線式や8線式のケーブルに置き換える

必要があり、より大きなコストやスペースが必要になってしまう。

さらに、石油精製や化学などのプラントにおけるPAで制御に使われるセンサーは、可燃性ガスが放出される可能性のある危険な場所に設置しなければならない場合がある。そのようなセンサーは、4~20mAの電流でアナログ信号を送信する場合には、電流などを点火源にならない程度に小さくすることができる^{注5}。しかし、産業用イーサネットで情報をやりとりする場合には、一般的なイーサネットの規格においてはそのような設計上の考慮がなされていないため、防爆対応をしなければ点火源になり得るとされる。

こういったハードルにより、制御に使われるセンサーに産業用イーサネットによるデジタル通信を行わせることが難しい場合でも、センサーがより簡易な方法でデジタル通信を行えるようにし、センサーのさまざまな情報の活用や双方向通信を可能にする規格が開発され、使われている。また、制御に使われるセンサーに産業用イーサネットによるデジタル通信を行わせることを容易にする、イーサネットの新しい規格も開発されており、今後の普及が期待されている。次章では、それらの規格の中で重要性が高いと思われるものをサーベイする。

IV 制御に使われるセンサーの デジタル通信を容易にする規格

1 マイコンを搭載した センサーの増加

コントローラには1970年代にマイクロプロセッサが搭載され、制御のための情報処理が

行われるようになったが、1980年代からはマイコンを搭載したセンサーが普及し始めた^{※6}。マイコンを搭載したセンサーは、複数の種類の情報を持ったり信号の演算処理をしたりすることができる。

センサーにマイコンが搭載されていても、センサーからコントローラへの情報の伝送が接点信号やアナログ信号で行われる場合には、一般に制御に使われるデータだけが送られ、情報の流れは一方方向となる。これに対し、情報のやりとりがデジタル通信で行われるようになると、センサーから伝送される複数の種類の情報を活用したり、双方向の情報のやりとりによりセンサーのパラメータを設定したりすることが可能になる。

2 アナログ信号に

デジタル信号を重畳させる規格

1980年代にマイコンを搭載したセンサーが普及し始めると、制御に使われるセンサーが、計測したデータをアナログ信号として上位のコントローラに伝送するだけでなく、そのアナログ信号にデジタル信号を重畳させて、双方向のデジタル通信で活用できるようにする規格が使われ始めた。そのような規格の中で、今日、最も普及している通信規格に、米国のエマソン・エレクトリックの子会社のローズマウントが開発したHART (Highway Addressable Remote Transducer) プロトコルがある。

この規格では、センサーで計測されたデータは、制御のためには一般的に4~20mAの電流のアナログ信号に変換されて送られるが、このアナログ信号にデジタル信号を重畳させることで双方向のデジタル通信が可能と

なっている。そして、上位のコントローラなどからのセンサーのパラメータ設定や、センサーからのステータス情報の読み込みによるセンサー機器の異常監視などが可能となっている。作業員などが持ち運びできるハンドヘルドコミュニケーターや、センサーとネットワークでつながっている資産管理システムなどとの間でもデジタル通信による情報のやりとりができる。

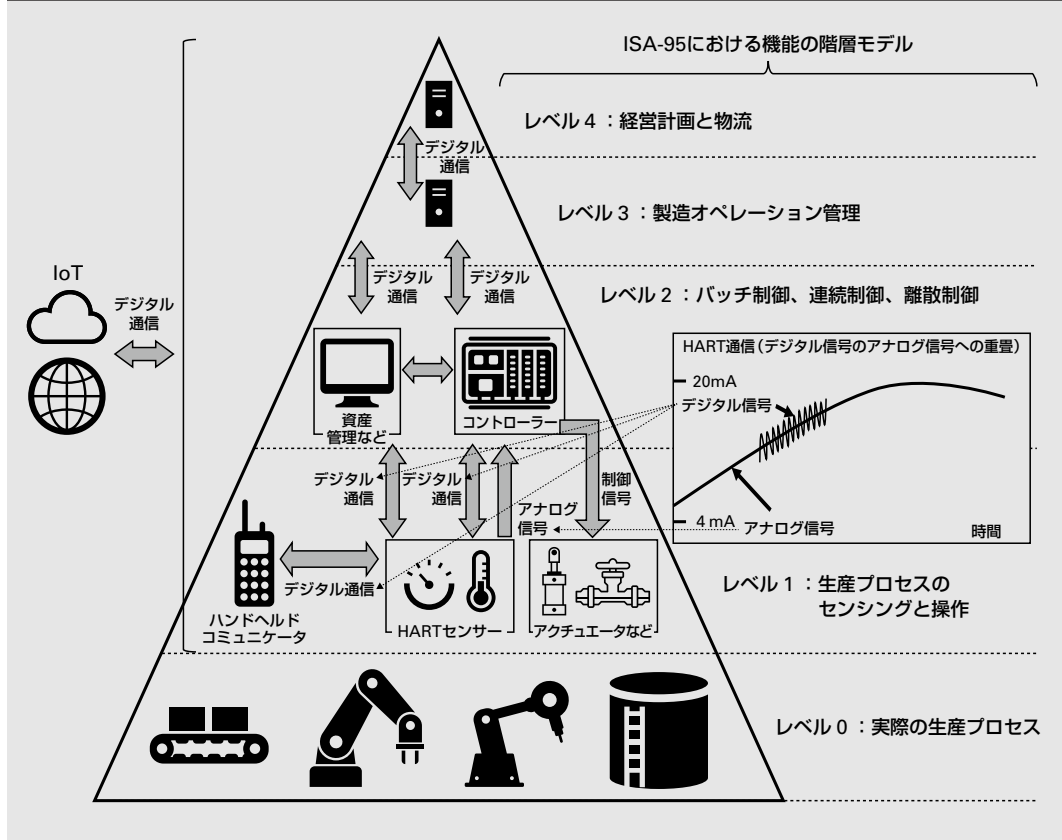
重畳されるデジタル信号は1200Hzと2200Hzの2つの周波数 (FSK (Frequency Shift Keying) 方式の場合) に変調されているが^{※7}、これらの周波数はアナログ信号に比べて高い周波数であるため、アナログ信号の伝送に影響を与えない。

HARTプロトコルは1986年に公開され、1993年にHART Communication Foundationに譲渡されて国際標準規格としてオープン化されている。その後、HART Communication FoundationはFieldbus Foundationと統合されてFieldComm Groupとなったことから、今日ではこのFieldComm GroupがHARTプロトコルの規格を所有し、管理している。

HARTプロトコルのデジタル通信の通信速度は、普及の進んでいるFSK方式では1200bpsで、データの更新速度が遅く、制御のための情報の伝送にはアナログ信号が使われる。アナログ信号でコントローラに伝送された情報が、さらに企業のコンピュータシステムやインターネットに送られるときにはデジタル通信で送られる。

これに対して、アナログ信号に重畳されたデジタル信号が企業のコンピュータシステムやインターネットとの間でやりとりされる場合には、コントローラ経由でやりとりされる

図5 HARTセンサーのアナログ信号とデジタル信号の両方が使われる場合の企業の内外における情報の流れ



可能性もあるが、資産管理システムなどのコントローラ以外を経由してやりとりされる可能性もある。したがって、HARTプロトコルで情報のやりとりを行うセンサーと、企業のコンピュータシステムやインターネットとの間の情報のやりとりは、複線化するケースがある（図5）。

企業のコンピュータシステムやインターネットとの間の情報のやりとりがコントローラ以外を経由して行われる場合には、そのような情報のやりとりについても情報セキュリティ対策を講じる必要がある。これをISA-95における機能の階層モデルで見ると、デジタル通信による情報のやりとりがコントローラ経由のみで行われているときには、レベル0～

2までとその外との間で情報セキュリティ対策を講じればよかった工場でも、それ以外の情報のやりとりにも情報セキュリティ対策を講じることが必要となる可能性がある。

3 センサーに比較的 low コストのデジタル通信機能を持たせる規格

制御に使われるセンサーに比較的 low コストのデジタル通信機能を持たせることができれば、多数のセンサーが使われている場合でも全体のコスト増を小さく抑えることができる。そして、そのようなデジタル通信機能によりセンサーがやりとりする情報は、フィールドバスや産業用イーサネットで行うことができる情報に変換することにより、コントロー

ラによる制御で活用できる。

このようなことを可能にする通信規格の中で特に普及が進んでいるものに、ドイツに本拠地を置くPROFIBUS & PROFINET Internationalの傘下で開発されたIO-Linkがある。PROFIBUS & PROFINET Internationalは、フィールドバスの規格の一つであるPROFIBUSや、産業用イーサネットの規格の一つであるやPROFINETを普及する団体であるが、IO-Linkはフィールドバスの規格から独立したセンサーとアクチュエータのためのインターフェースとして設計されるとされている^{注8}。

2007年にIO-Linkの規格が公表されて、最初のIO-Link製品が発表されたとのプレスリリースが出されている^{注9}。その後、IO-LinkはIECの規格（IEC 61131-9）になり、今日まで普及が続いている。PROFIBUS & PROFINET Internationalは、IO-Linkのノード数を公表しており、2023年4月に公表されたデータによると、直近1年間（2022年）で2730万ノードから3570万ノードに増加している^{注10}。

IO-Linkの規格では、センサーとコントローラの上にIO-Linkマスターと呼ばれるデバイスが置かれる。そして、各センサーはIO-Linkマスターの各ポートと1対1のケーブルでつなわれ、シリアル通信方式によるデジタル通信が行われる。

センサーは、IO-Linkマスターとデジタル通信を行うにはIO-Linkの規格に準拠した通信機能を搭載している必要がある。IO-Linkマスターとコントローラとの間では、リモートI/Oとコントローラとの間と同様、フィールドバスや産業用イーサネットの通信プロトコルによるデジタル通信が行われる。

制御に使われるセンサーからコントローラ

に向けて接点信号やアナログ信号が伝送される場合には、一般に制御に使われるデータだけが伝送される。これに対し、IO-Linkの規格に従ってセンサーがデジタル通信をする場合には、制御に使われるデータに限らずセンサーの持つ多様な情報を伝送したり、センサーとの間で双方向通信をしてセンサーのパラメータの設定を行ったりすることが可能になる。

センサーとIO-Linkマスターとの間のデジタル通信の伝送レートとしては、4.8kbps、38.4kbps、230.4kbpsの3種類が定義されている。そして、各伝送レートに対応したデバイスの通信サイクルタイムとしては、メッセージタイプの一例を使用した条件での推奨の最小値が、伝送レート4.8kbpsの場合18.0ms、伝送レート38.4kbpsの場合2.3ms、伝送レート230.4kbpsの場合0.4msと指定されている^{注11}。IO-Linkの規格によるデジタル通信ではデバイスの通信サイクルタイムが不十分なときは、接点信号やアナログ信号の伝送に戻すなどの必要がある。

センサーがIO-Linkマスターとデジタル通信を行う場合、IO-Linkマスターは、コントローラとデジタル通信を行うだけでなく、企業のコンピュータシステムやインターネットとデジタル通信を行うこともできる。工場のデジタル情報を企業のコンピュータシステムなどで活用する際の規格の一つにOPC-UAがあるが、2018年には、IO-LinkマスターをOPC-UAのサーバーとする際の規格であるCompanion Specificationが、IO-Link CommunityとOPC Foundationから公表されている^{注12}。

IO-Linkマスターがセンサーとデジタル通

信でやりとりする情報を、コントローラとやりとりするとともに、OPC UAサーバーとして企業のコンピュータシステムやインターネットとやりとりすることを可能にした製品が発売されている^{注13}。また、IO-Linkマスターがコントローラとの間で情報をやりとりする際のIPアドレスと、企業のコンピュータシステムやインターネットとの間で、IoTでよく利用されるメッセージングプロトコルであるMQTTなどにより情報をやりとりする際のIPアドレスを別にして、コントローラの情報セキュリティを高めることのできるIO-Linkマスターも発売されている^{注14}。

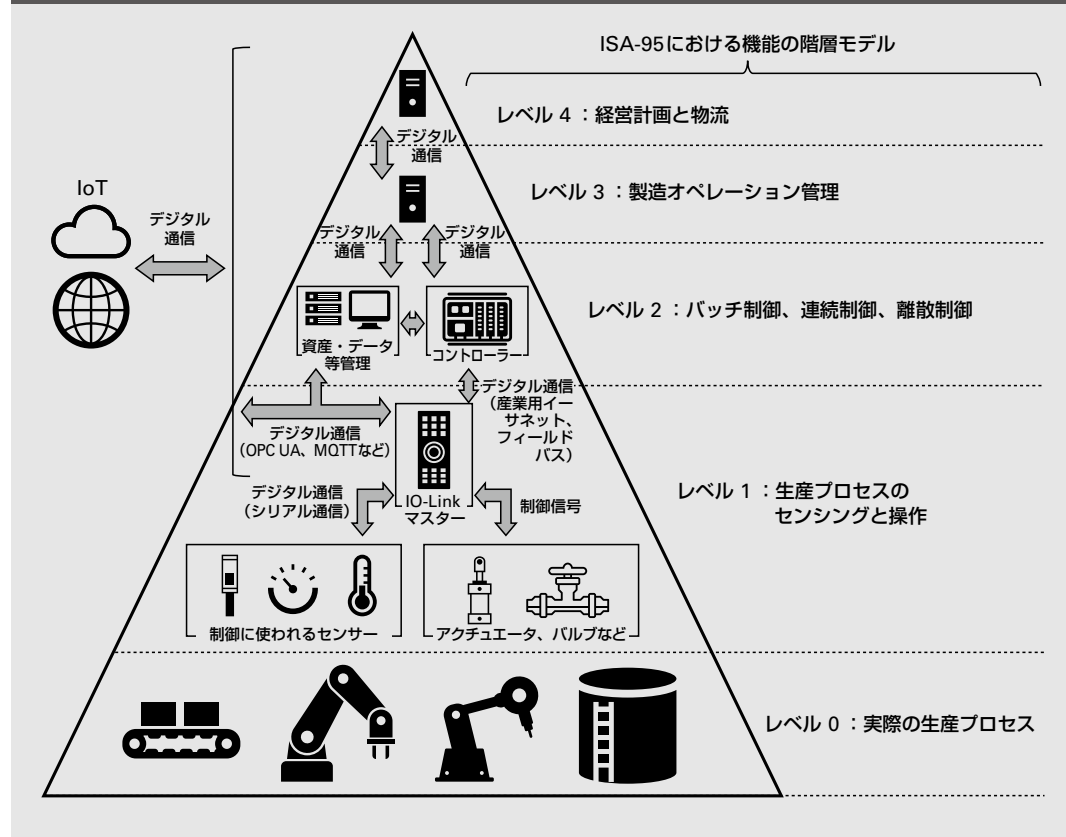
これらのIO-Linkマスターを使えば、IO-Linkマスターと企業のコンピュータシステムやインターネットとの間の情報のやりとりを、コントローラ経由のやりとりとするか、

コントローラを経由しない直接のやりとりとするかを選択できる(図6)。後者の場合には、ISA-95における機能の階層モデルにおけるレベル0~2までとその外との間以外でも、情報セキュリティ対策を講じる必要がある可能性がある。

4 イーサネットケーブルの 低コスト化、長距離化や 本質安全防爆を可能にする規格

石油精製や化学などのプラントにおいて、制御に使われるセンサーが計測するデータは温度、圧力、流量などのアナログデータが主であり、かつては4~20mAの電流によるアナログ信号の伝送が適当であった。また、センサー機器の状態情報(異常検知などに使用する)は頻繁にあるいは瞬時に変化すること

図6 IO-Linkマスターがコントローラを経由しない情報のやりとりも行う場合の企業の内外における情報の流れ



が想定されておらず、高速の通信は不要であったため、HARTプロトコルの1200bpsの伝送速度で十分であった。

しかしながら、昨今のITの進展や、今後センサーへの実装が期待されるさまざまなインテリジェント機能を活用することで、プラントの高機能化や安全対策の高度化を志向する場合、これまでとは異なり、高速で広帯域なデジタル通信が必要とされる。

たとえば、ある機器の振動データを常時計測収集してプラントの異常予知を行うことを考えると、Mbpsオーダーの通信速度のデジタル通信が望ましい。あるいはプラントの作業員の安全確保や作業の効率化を図るために、プラント内の動画映像や音声などを取得して活用するケースも同様である。

そのような目的で通信を高速化しようとした場合、通信手段としては既にさまざまな分野で採用され普及していることで、入手性やコスト、さらには使い勝手のよさといった面で優れているイーサネットによるデジタル通信の採用が最適である。

一方で、石油精製や化学などのプラントで使われるセンサーからの4～20mAの電流によるアナログ信号の伝送を、産業用イーサネットによるデジタル通信に置き換えようとすると、イーサネットの従来の規格では次のようなハードルがあった。

- ①産業用イーサネットでは、通常4線式や8線式のケーブルが必要となるが、石油精製や化学などのプラントでは、2線式のケーブルで通信を行うとともに、電源を供給できることが求められた
- ②石油精製や化学などのプラントは、広大

な敷地に設置されているケースが多い。

4～20mAの電流によるアナログ信号を伝送する方式（HART通信を含む）では、そのような場合のニーズに対応できる1kmを超える情報伝送も可能であるが、産業用イーサネットのケーブルの通信距離は100m程度で、それだけでは通信距離が不十分である

- ③可燃性ガスの放出される可能性のある危険場所に設置するセンサーには防爆対策が必要となる。日本国内では爆発の圧力に耐えられる頑丈な容器を用いる耐圧防爆が広く採用されているが、欧米を中心に、国際的には電気回路に発生する火花や発熱が点火限界を超えない本質安全防爆が採用されており、センサーの電気エネルギーを制限することで点火源とならないよう設計された構造が求められる。一般的なイーサネットの規格ではそのような設計上の考慮がなされていないため、改善が必要となる

これらの課題に対処するための新たなイーサネットの技術として、イーサネットAPL（Advanced Physical Layer）が開発された。開発プロジェクトは完了しており、今後の普及が期待されている^{注15}。

イーサネットAPLの開発は、2011年から関連仕様で強化できる箇所の特定などが行われた後に、2018年から4つの産業用通信プロトコル開発団体（FieldComm Group、ODVA、OPC Foundation、PROFIBUS & PROFINET International）とPAの主要サプライヤ12社（日本の横河電機を含む）の協力の下で行われた^{注16}。既にドイツのBASF社など

でフィールドテストが行われている^{注17}。

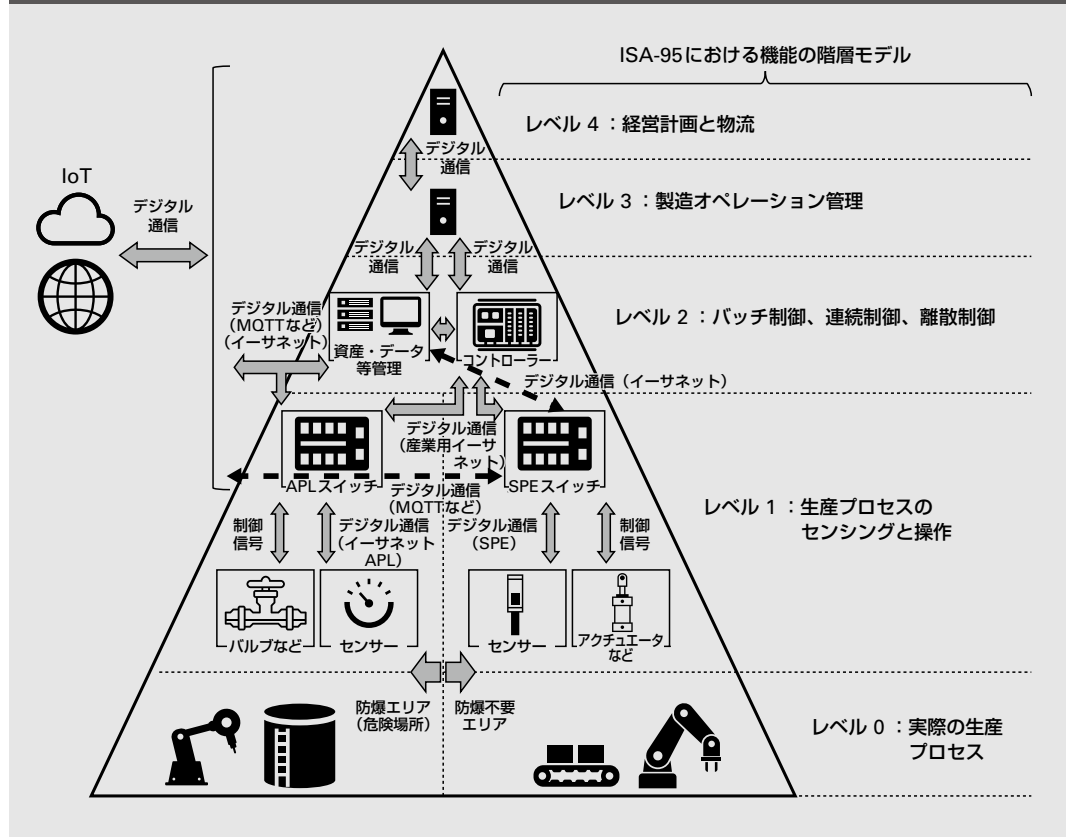
イーサネットAPLの開発により、1000mまでの2線式のツイストペアケーブルによるイーサネット通信などを可能にする規格である10BASE-T1L (IEEE 802.3cg)^{注18}や、それを本質安全防爆とするための給電などの規格であるIEC TS 60079-47^{注19}などが策定された。10BASE-T1L (IEEE 802.3cg)にだけ準拠して、本質安全防爆とする必要はないのでIEC TS 60079-47には準拠しないことも可能で、そのようなケースはSPE (Single Pair Ethernet) の規格に準拠していると位置づけられる。

イーサネットAPLの通信速度は10Mbpsで、HARTプロトコルで普及の進んでいるFSK方式のデジタル通信の通信速度の約8000倍、PAで使われるフィールドバス

(FOUNDATION Fieldbus、Profibus-PA)の通信速度の約300倍である。したがって、イーサネットAPLを使えば、センサーの持つ多様な情報の活用、インテリジェントなセンサーや映像・音声を取得するIT機器の活用、さらにはセンサーとの双方向の情報のやりとりなどを、より高速なデジタル通信で行える。

また、イーサネットAPLを使えば、センサーは、各種の産業用イーサネットの通信プロトコルや、企業のコンピュータシステムやインターネットで使われる通信プロトコルで、シームレスに情報をやりとりすることができる。したがって、石油精製や化学などのプラントのフィールドのセンサーから、ゲートウェイなどによる通信プロトコルの変換なしに、コントローラとも、企業のコンピュー

図7 センサーがイーサネットAPLやSPEで情報をやりとりする場合の企業の内外における情報の流れ



タシステムやインターネットとも、情報をやりとりできるようになる。

イーサネットAPLで情報をやりとりするセンサーが、企業のコンピュータシステムやインターネットと情報をやりとりできるようにする場合には、コントローラ経由とするか、コントローラを経由しない直接の情報のやりとりとするかを選択できる。コントローラを経由しない場合には、ISA-95における機能の階層モデルのレベル0～2までとその外との間以外でも、情報セキュリティ対策を講じることが必要となる可能性がある。

なお、10BASE-T1L (IEEE 802.3cg) に準拠して1000mまでの2線式のツイストペアケーブルによるイーサネット通信を可能にしつつ、IEC TS 60079-47には準拠しないことで、本質安全防爆にはならないが、自由度のより高い給電などを可能にするSPE規格に準拠した製品も発表され始めている²⁰。そのような製品を使って、センサーが企業のコンピュータシステムやインターネットと情報をやりとりできるようにする場合も、コントローラ経由とするか、コントローラを経由しない直接のやりとりとするかを選択できる (図7)。

V おわりに

本稿では、工場で制御に使われるセンサーを、デジタル通信により活用することを容易にする規格の進展をサーベイした。そして各規格は、センサーと、企業のコンピュータシステムやインターネットとの間の、コントローラを経由しない直接の情報のやりとりの可能性を生じさせるものである一方、そのよう

な情報のやりとりを実際に可能にする場合には、追加の情報セキュリティ対策を講じることが必要となる可能性があることに触れた。

プロセス産業におけるオートメーション技術のユーザーの団体であるNAMURは、2020年にNOA (NAMUR Open Architecture) という提言を公表した²¹。NOAは、ISA-95における機能の階層モデルは工場の長期にわたる安定的な操業を可能にする一方、進展する情報技術を工場で活用するうえでの障害にもなっていると指摘している。

その理由としては、機能の階層モデルを前提にした生産プロセスの更新のスピードが、情報技術の進展のスピードに比べて遅いことが挙げられている。そして、工場の安定的な操業と進展する情報技術の工場における活用という相反する要請に対応するため、既存の階層モデルはそのままにして、既存の階層モデルとモニタリングや最適化のためのシステムとの間にオープンなインターフェースをつくるべきであるとしている。

制御に使われるセンサーと、企業のコンピュータシステムやインターネットとの間の、コントローラを経由しない直接の情報のやりとりを可能にすると、追加的な情報セキュリティ対策が必要となり、コスト増につながるかもしれないが、進展する情報技術の活用が中長期的に容易になる可能性もある。本稿でサーベイした規格を使って、制御に使われるセンサーをデジタル通信により活用することを検討する際には、センサーと企業のコンピュータシステムやインターネットとの間の直接の情報のやりとりの可能性についても、ケースバイケースで検討されるべきであると考えられる。

今日進展しているDXの基盤技術であるインターネットは、TCP/IPやイーサネットといったデジタル通信の通信プロトコルの標準が確立することで生まれ、発展した。それらの標準が確立する過程で、米国が発信源となり日本は後追いするという傾向があったことは、日本の産業の成長が鈍化し始めた一要因になったと考えられる。

他方、工場における制御に使われるデジタル通信は、フィールドバスについても産業用イーサネットについても、リアルタイム性の程度などが異なる複数の通信プロトコルが並存する状況が今日まで続いている。インターネットが生まれ、発展する過程で見られたような標準の確立はなされておらず、生産プロセスの情報をコントローラ経由で企業のコンピュータシステムやインターネットで活用するには、通信プロトコルやデータフォーマットの変換が必要となることが一般的である。

本稿においてサーベイした制御に使われるセンサーのデジタル通信の規格については、フィールドバスや産業用イーサネットの規格に比べて、一つの通信プロトコルがより広く使われる可能性がある。

アナログ信号にデジタル信号を重畳させる規格については、規格がつくられ始めた頃には複数の規格が並存していたが、今日ではHARTプロトコルのシェアが極めて大きくなっている。したがって、工場全体のセンサーの管理を広くHARTプロトコルを使って行う可能性がある。

また、IO-Linkは、既に見たとおり、フィールドバスや産業用イーサネットから独立した規格として設計されている。したがって、異なるフィールドバスや産業用イーサネット

の規格が並存している工場でも、IO-Linkに準拠したセンサーを共通に使う可能性がある。

さらに、イーサネットAPLやSPEはイーサネットの規格なので、既に見たとおり、各種の産業用イーサネットや企業のコンピュータシステムやインターネットで使われる通信プロトコルによる、シームレスな情報のやりとりを可能にする。イーサネットAPLを開発した4つの産業用プロトコル開発団体が発行した白書のタイトルは、「Ethernet - To the Field」であり^{注16}、オフィスなどで使われているイーサネットが、工場現場にも直接つなげられることを示している。

これらのことから、本稿においてサーベイしたセンサーのデジタル通信の規格は、工場における制御に使われるデジタル通信の標準が確立されていないことを補う可能性がある。そして、既に見たNOAの提言における「既存の階層モデルとモニタリングや最適化のためのシステムとの間のオープンなインターフェース」になる可能性がある。

デジタル通信規格の国際的な標準化に向けた流れにおいて後追いになることは、産業全般の競争力に悪影響を与え得る。制御に使われるセンサーのデジタル通信の規格についても、日本の産業全体で積極的に取り組むことが望まれる。

注

- 1 接点を持つ機器などから電気信号で伝送される2値信号
- 2 最初のPLCは、米国のゼネラル・モーターズが1968年に作成した要求仕様に対応して、米国のモディコンによって開発された。モディコンは

- 他社に何度か買収された後、フランスのシュナイダー・エレクトリックに吸収されて、現在に至っている
- 3 <https://www.hms-networks.com/ja/news-and-insights/news-from-hms/2023/05/05/industrial-network-market-shares-2023>
 - 4 産業オープンネット展準備委員会編『産業用ネットワークの教科書——IoT時代のものづくりを支えるネットワークと関連技術』P.10～P11、産業開発機構株式会社、2019年
 - 5 田中隆二『防爆電気設備の基礎知識 改訂2版』P.67、オーム社、2013年
 - 6 横河電機編『〈計装メーカーが書いた〉フィールド機器・虎の巻』（第二版）P.8、工業技術社、2010年
 - 7 FieldComm Group™ “HART COMMUNICATION PROTOCOL, FSK Physical Layer Specification, Rev. 9.1.1” Oct. 2022
<https://library.fieldcommgroup.org/20054/TS20054/9.1.1/#page=1>
 - 8 <https://www.profibus.com/newsroom/press-news/fieldbus-independent-sensor/actuator-communication-with-io-link>
 - 9 <https://www.profibus.com/newsroom/press-news/launch-of-the-first-io-link-products>
 - 10 <https://www.profibus.com/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=178708&token=c711dfa3b01a38aad8f0e2cf2d8e23af77f2c027>
 - 11 IO-Link Community “IO-Link Interface and System, Specification, Version 1.1.3” June 2019
https://io-link.com/share/Downloads/Package-2020/IOL-Interface-Spec_10002_V113_Jun19.pdf
 - 12 https://io-link.com/share/Downloads/OPC-UA/OPC-UA_for_IO-Link_10212_V10_Dec18.pdf
 - 13 https://files.pepperl-fuchs.com/webcat/navi/productInfo/doct/tdoct6610__jpn.pdf?v=03-APR-23
 - 14 https://www.youtube.com/watch?v=IBZGY57T_XI&list=PL4pk6Ot0sgAY362ur4xbBVR5V83MUdnY9
 - 15 “APL Project Successfully Completed: Ethernet-APL is here!” August 2022
<https://www.ethernet-apl.org/blog/press-release-apl-project-successfully-completed-ethernet-apl-is-here/>
 - 16 “Ethernet - To the Field” Nov. 2020
<https://www.ethernet-apl.org/blog/ethernet-apl-whitepaper-now-available-in-japanese/>
 - 17 “APL Ethernet for Hazardous Areas Passes Practical Testing” May 2020
<https://www.ethernet-apl.org/blog/basf-successfully-completes-initial-test-of-ethernet-apl-technology/>
 - 18 IEEE Std 802.3cg-2019 “Physical Layer Specifications and Management Parameters for 10Mb/s Operation and Associated Power Delivery over a Single Balanced Pair of Conductors”
 - 19 IEC TS 60079-47 “Explosive atmospheres - Part 47: Equipment protection by 2-wire intrinsically safe Ethernet concept (2-WISE)”
 - 20 <https://www.phoenixcontact.com/ja-jp/products/industrial-ethernet-switch-fl-switch-2303-8sp1-1278397>
 - 21 NAMUR “NAMUR Open Architecture NOA Concept NE 175” Edition 2020-07-09

著者

金子 実（かねこみのる）

野村総合研究所（NRI）未来創発センター戦略企画室主席研究員

専門は国際経済、流通システム、RFID、IoTなど