

プロセス・オートメーション用のフィールドバス

日本プロフィバス協会 元吉伸一

はじめに

フィールドバスのプロセスへの適用が検討されてすでに十数年という相当の年月が経過しました。産業用のオートメーションでも機械・電機等の組み立て用ファクトリー・オートメーションの分野では全世界的に PROFIBUS、DeviceNet、INTERBUS そして日本では CC-Link を用いてオープンフィールドネットワークの実用化が進んでいます。しかしながら残念なことに石油、石油化学、化学、薬品等のプロセス・オートメーションの世界ではフィールドバスの普及が(以前、何人かの方が予想したようには)進んでいないのが現実です。今回はプロセス・オートメーションの世界でのフィールドバスについて概観したいと思います。

1. 制御システムのデジタル化

図 1-1 に示すようにプロセス・オートメーション工場のオートメーション・システムは以下の機器で構成されています。

現場のデータ(たとえば、温度、圧力、流量、液位などのプロセスデータなど)を測定する検出端

測定されたデータと設定値(目標値)を比較しどのような操作をすべきかを決定するコントローラ

バルブ等の操作により現場データを変える操作端

付加的な部分として、オートメーション・システムと外部(人間)とのインタフェース部であるHMI(Human Machine Interface)

そしてこれら4つの構成機器間におけるデータのやり取りを担当する通信システム

以上の 5 つの構成要素を考えると、現在、市場にてデジタル化された機器が主流を占めているのは 2 番目のコントローラ部分と 4 番目の HMI の限られた範囲においてであることに読者は気がつくられるでしょう。

今日もっとも一般に使用されているデジタルコントローラの DCS(Distributed Control System)がマーケットに登場したのが 1975 年です。DCS の実プロセスへの導入が急速に進んだのが 1980 年代以降でした。DCS は制御システムとして一定以上の評価を受けました。その後 DCS 化したコントロールプロセスをアナログ計装に戻そうとした試みはあまり聞いたことはありません。制御システムのデジタル化はメリットをもたらすのです。

それでは、“DCSを用いること - デジタル技術をプロセス・オートメーションに取り入れることで、従来のアナログ技術によるオートメーションから何が変わるのでしょうか？”

プロセス制御システムのDCS導入が進んでいるときに、DCSを導入したユーザにこのような質問したことがあります。当時筆者はベンダーの営業技術でしたが、ベンダーサイドからのDCSの良さの説明ではなく、DCSを使用した結果何が変わったか、実際の利用サイドからの意見を聞いてみたかったです。代表的な意見のいくつかは；

制御システム構築のエンジニアリングの修正が楽になった

オペレーター一人で担当できる制御/監視ループ数が増えた

グラフィック画面を自由に作れるので、ユーザフレンドリーなHMIが構築できる
制御のデバックが簡単に行える

上位のシステムと通信できるようになった

などでしたが筆者が一番面白かったのは

プロセス測定値を数字で見ることができる。

という意見でした。

従来のアナログの制御システムでは針式の指示計を使っていたために、たとえば温度、流量の指示にしても、計器の指針を上から見たり、下から見たりすることで読む人またはそのときの読み方により、1~2%の読み取り誤差が出ていました。ところがDCSを使うとCRT画面に測定値のデータが数字で表示されます。これでは、誰が見ても読み取り誤差のない同じ値が読めるわけです。オペレーターの方も今まで1~2%の誤差があっても特別気にはしなかったのですが、このようにデジタルの数字で結果が出てくると、測定値と設定値の誤差がコンマ1桁の値まで気になってしまうとのことでした。その結果、測定値と設定値の差、つまり偏差をコンマ1桁までゼロにしようとするオペレータの努力が自発的に始まり、最終的には製品の品質が大幅に向上したと聞きました。

なるほど、アナログとデジタルの違いはこのようなところに現れるのかと納得した思い出があります。

多分デジタルを使うメリットの一つはこの再現性でしょう。デジタルデータの場合、最小ビットの誤差の範囲内で同じデータは、同じように表現されます。つまり、(測定検出端からくる信号にヒステリシス、精度、劣化等の誤差がなければ)、昨日のデジタルデータの123.4 と今日の123.4 は同じ温度となります。また、来年の123.4 も同じデータとして処理して良いでしょう。

以上のデジタル化のメリットはDCSの内部 - つまり、コントローラとHMI間について述べているわけです。今後さらにこのデジタル化 - 信号の再現性を高めていこうとすると、コントロールループの総デジタル化、つまりA/D変換、D/A変換をなくすことが必要になります。このことは検出端でデジタル信号を測定し、デジタル信号を通信し、操作端でも受け取ったデジタル信号で操作するというシステムが多分究極のデジタル制御システムになるということです。

プロセスコントロールが、測る 判断する 操作する 監視するの4つの要素から構成されているとすれば、これらの要素間で正確にデータをやりとりすること、つまり5番目の

要素である通信システムは、プロセスコントロールの基本要素技術となるでしょう。そして、この”正確にデータをやりとりする”だけのためにも、プロセスコントロールのデジタル化は進められる価値があると筆者は考えます。そして今日、通信システムのデジタル化とはフィールドバスを指しているのです。

おそらく、要素の1番目の検出端機器と3番目の操作端機器のデジタル化はこれから徐々に進行するでしょう。元来プロセスデータの検出原理にはアナログ方式を使うものが多いため検出端のデジタル化はあまり進んでいません。もっとも使用されている温度の検出原理は熱電対、測温抵抗体という電圧、あるいは抵抗値を計るものであり、また圧力計、オリフィス流量計でも静電容量式、半導体式でもアナログ値の測定です。近年、渦流量計など個数つまりデジタル値を計る検出端が広まってきているのはフィールドのデジタル化を進行させる傾向かと期待されます。また、大手の機器ベンダーが振動数(デジタル的な個数)を利用する測定原理のプロセス用圧力計、差圧計を販売していることも聞きます。しかし、まだこれらは市場の中で多数を占めていません。つまり、もっともフィールドに近い機器のデジタル化にはまだ時間がかかるというのが、妥当な見方だと思います。

まとめると、プロセスコントロールへのデジタル技術の導入は現在、コントローラとHMIの部分をほぼ終了して、通信系のところまで達している、そしてフィールド機器のデジタル化はやっと手がつけられた段階と考えていいと思います。

プロセスコントロールと比較してみると、ファクトリー・オートメーションでのデジタル化は進んでいます。これは判断部であるPLCの普及もさることながら、検出端もスイッチ(近接スイッチ、光電スイッチ、押しボタンスイッチ等)によるオンオフ(デジタル)信号が多かったこと、また操作端もオンオフスイッチ・バルブ・ボタンやインバータなどの回転数制御のため、デジタル信号を使いやすかったことが大きな理由だと考えます。

2. フィールドバスのメリット

それではアナログの通信システムをデジタル通信システム=フィールドバスに変えるとどのようなメリットが期待できるかを改めて確認してみます。

(1) 一本の配線で複数の信号を伝送できます。

フィールドバスは、一つの検出端から複数の信号を取り出すこともできますし、また一本のバスに複数の機器をつなげてそれぞれの機器からも複数のデータを取り出すことができます。おおむね1本のフィールドバスあたり10から100位の機器を接続できます。そのため、この面での直接のメリットは配線のハードコストの削減です。たとえば、いままで現場から数百点ないし数千点の信号を数百m離れたコントローラに持ってくる時、アナログ信号の場合、マルチケーブルを使っても、相当のケーブルコストがかかります。フィールドバスを使うとこれが数本のケーブルですむわけです。

また、複数の信号とはたくさんの機器から1つの信号というだけでなく、1つの機器からたくさんの信号がやり取りされるという意味にもなります。リモートI/Oによる複数データの伝送はケーブルが削減できる典型的な例です。

信号の種類も接点、アナログの測定データ、設定データだけではなく、メッセージ、アラーム、機器データ等も通信できるようになります。

つまり、フィールドバス一本でさまざまな信号の通信がすべてカバーできるようになるわけです。

(2) データを正確に通信できます。

前章でも書きましたが、オートメーションの頭脳になるコントローラにはDCSが使われています。DCSの内部ではCPUがデジタル演算を行っています。CPUにデジタルデータを渡すため、アナログデータをコントローラに入出力する時、信号変換が必要となります。具体的には、アナログデータはA/D変換(アナログデータからデジタルデータ変換)後、DCSに取り込まれ、CPUにて演算された後D/A変換(デジタルデータからアナログデータに変換)され、操作端に伝送されます。通常、このA/D変換、D/A変換のたびごとに、 $\pm 0.2\% \sim 0.5\%$ 程度の変換誤差が生じます。フィールドバスはデジタルデータを伝送しますから、本質的にA/D変換、D/A変換の誤差が生じません。また、一般のコントローラではA/D変換、D/A変換の変換有効ビット数は12ビットから14ビット、時には10ビット程度で、2バイトのアナログデータとして表示されますが、フィールドバスによっては倍精度の4バイトデータの通信をサポートしているものもあり、この場合にはより高精度のデータ通信を行うことができます。精度の高い制御を行うためには、より正確なデータが必要になるわけです。

(3) さまざまな配線コストが削減されます。

1項では、ケーブルのハードコストが削減されると書きましたが、ハードそのもの以外の配線コストも削減できます。たとえば、現場機器とマーシャリングボード間のケーブルの接続チェックは今までは現場機器側とボード側にそれぞれチェックするエンジニアがいて、無線などで連絡を取りながら配線が正しくされているかをチェックしていました。しかし、フィールドバスではバス上にPCをおき、そのチェックソフトを走らせれば、PCが自動的に現場機器との接続状況をテストしてくれます。たとえば、1000点の信号ラインのチェックに一週間かかっていたものが、半日で終了します。

マーシャリングパネルもほとんど必要なくなります。1000点の入出力で今まで数面のパネルを使っていたのが、不要になれば、パネル自体のコストもまた床面積不要(つまり部屋が小さくてすむ)のコスト削減効果も大きなものです。

エンジニアリングはもっと楽になります。今まで、各機器への配線の詳細を決めて、現場機器からの配線がマーシャリングボードのどこのコネクタ、または端子に接続されているかの図面を書かなければ工事が始められませんでした。フィールドバスではバスを一本現場に通しておくようにすれば、後はソフトの設定によるだけで現場機器からの信号がコントローラのどこの番地に行くかを定めることができます。つまり、設計の後、工事とい

う直列的なスケジュールでなく、設計と工事を並列で進めることができるようになり、工事期間の短縮も可能になります。工事中または完成後、設計変更が出た場合、図面の変更が必要になりますが、今まではおうおうにして、変更箇所の図面修正を忘れてたり、ミスがあったりで、図面が現場を正確に反映していないことがありました。しかし、フィールドバスの場合、現在稼働中のプログラムをそのままプリンターにプリントアウトし、図面として使えば、図面と現場との間の違いはなく、間違いも起こりません。

一般にフィールドバスを使えば、ハード、ソフトを含めた配線コストの40%が削減できるとされていますが、スタートアップ時のコストだけでなく、保守面でのコスト削減の効果も大きいのです。

(4) システムの柔軟性が増します。

オープンなフィールドバスを使うと使用できる機器の選択範囲が増えます。たとえば、同じリモートI/Oでも、外形の大きさによる選択、精度による選択、アナログと接点の点数による選択そして価格等による選択、また極端に言えば外国などでメーカーのサポートを受けられる地域かどうかなどさまざまな角度から比較、検討し、最適な機器を選ぶことができます。

ソフトの面でも、各フィールドバスではプロファイルというソフトインタフェースが定義されています。これを使うと、通信のプログラムを組む時、各会社間の機器の違いを意識することなく接続できますし、ある機器を他社の同じような機器に交換する時、プログラムの変更が最小限ですみます。

また、保守の面からもバス上に機器を増設する場合、新たに配線を敷設することなく、既設のフィールドバスに付加する形で、増設が簡単にできます。このような点からもシステムの柔軟性が増したといえることができます。

(5) データ通信以外にも用途が広がります。

フィールドバスの中には、複数のデータを通信できるというフィールドバスの性質に目をつけ、測定データ、設定データ以外に各種エンジニアリングデータを監視、設定できるようになっているものもあります。ですから、計器の校正、レンジ設定、機器管理などをPC上で簡単に行うことができるようになります。

3. Foundation Fieldbus と PROFIBUS-PA

さて、プロセス・オートメーション用のフィールドバスについて説明します。プロセス・オートメーションではファクトリー・オートメーションと異なり、フィールドバスに

1. 2線式電源供給
2. 本質安全防爆

に、対応できる仕様が求められました。

現在、上記の機能を取り込ながら、相互接続性を持つオープンなプロセス・オートメーション用のフィールドバスといえるものは、

Foundation Fieldbus

PROFIBUS-PA

の二つしかないことは、客観的に見て異論がないと思います。

この章では、Foundation FieldbusとPROFIBUS-PAの違いに焦点を当てて、それぞれの特色を説明します。同じ、PA用のフィールドバスでも、PROFIBUS-PAとFoundation Fieldbusはその目指す方向に違いがあるため、一くくりにフィールドバスとしてまとめる、あるいは同列に論じるのは疑問が残ります。

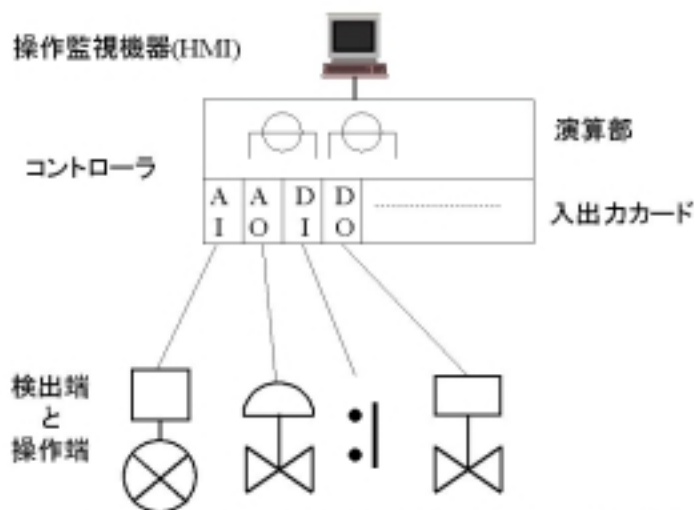


図3-1. 従来のコントロールシステムとフィールドとの配線

図3-1は典型的な従来のコントロールシステムの構成を示しています。

アナログ信号の場合、検出端とは流量計、圧力計、温度計、レベル計、または分析計などであり、ここから出た4-20mAの測定信号は、DCS (またはPLC等) の入力カードに入り、A/D変換された後、DCS/PLC内のCPUにてコントロール演算(PID等)されます。演算結果は出力カードでD/A変換された後、4-20mAの信号で、操作端 (通常はバルブ) に到達します。接点信号の場合も、同じ様にフィールド計器とコントローラが接続されます。

フィールドバスのそもそもの発想は、アナログの信号で通信している部分にデジタル通信技術を使えないかということでした。

デジタル信号を使うことにより、前章に述べたようなメリットが期待できたのです。

PROFIBUSはこの考えをほぼ忠実に踏襲しています。いわゆる、従来のアナログ伝送の部分をもそのままそっくりとPROFIBUSによる通信に置きかえることができるのです。

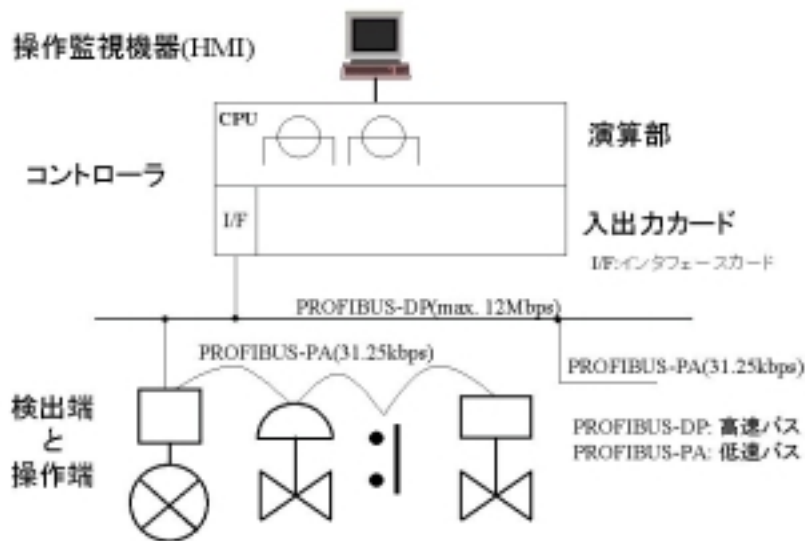


図3-2. プロフィバスを使ったシステムとフィールドとの配線

図3-2を見て下さい。PROFIBUSを使ったシステムでは複数のフィールド計器が一本の低速バス（PROFIBUS-PA）にて接続されます。さらに、複数本の低速バスが高速バス（PROFIBUS-DP）にまとめられ、DCSには高速バスだけが入力するすっきりとした構成になっています。PROFIBUSのシステム構成を定義するためのコンフィギュレータは必要ですが、DCSではアナログの入出力カードがそのままPROFIBUSのカードに置き変わっただけの違いであり、DCSのエンジニアリング方法は従来とほとんど変わりません。

Foundation Fieldbusのカバーする範囲は単にデータ通信の部分だけではありません。従来DCS内部で行っていたコントロール、演算機能をファンクションブロックという形で検出端、または操作端に置くことができるという特長があります(図3-3)。つまり、Foundation Fieldbusを導入するとは、デジタル通信を使うことでのメリットを追求するだけでなく、コントロール、演算機能を現場に置くこと(インテリジェント・フィールド機器といいます)で、従来のDCSの制御機能をさらに分散化させること、またできるならばコントロールは現場で行い、中央では監視機器(PC)のみを置くようなコントロールシステム全体の改革を目指しています。

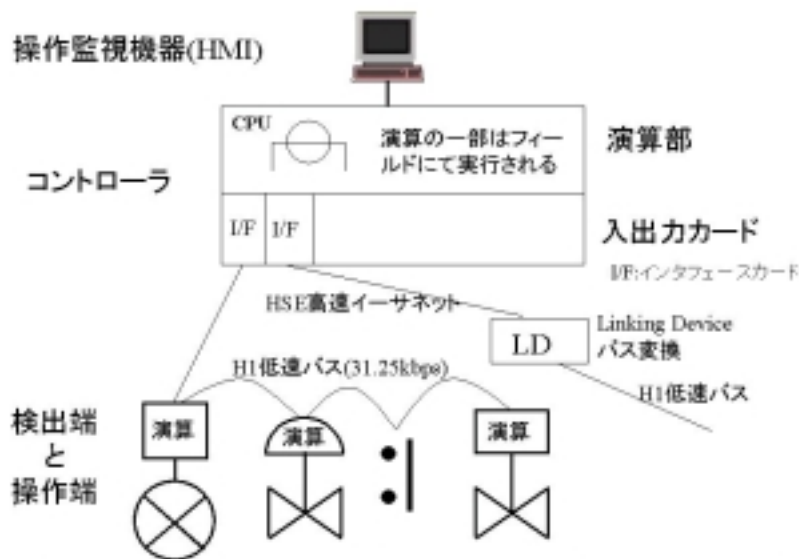


図3-3. Foundation Fieldbusを使ったシステムとフィールドとの配線

もちろん、Foundation Fieldbusでも現場検出端、操作端の中にインテリジェンスを持ち込まず、純粋にデジタルデータ通信システムとして使うことも可能です。ただし、その場合はFoundation Fieldbusの一部機能のみを使う、つまり本来Foundation Fieldbusが目指している方向より多少小さい範囲でのプロセスコントロールのデジタル化の推進となります。

この2つのバスの違いはどのような結果となって現れてくるのでしょうか？

具体的にいうとPROFIBUS-PAより大きな範囲をカバーしようとするFoundation Fieldbusでは、サポートするエンジニアリングの変更も大きくなっています。(図3-4参照)

つまり、PROFIBUS-PAでは従来の4-20mA通信の置き換えのため、通信はDCSと現場機器間の通信の再定義、言い換えればDCSの入出力カードをPROFIBUSのインタフェースカードに置きかえるフィールドバスのコンフィギュレータのみが必要になります。しかし、Foundation FieldbusのシステムではDCSと現場機器間のデータ通信という概念でなく、各現場機器内に存在するファンクションブロック(コントローラ機能、演算機能)をどのように結合してコントロールシステムを実現するかというコントロールプログラムの構築エンジニアリングが重要です。ですから、単なる通信定義コンフィギュレータのみでなく、

1. 現場計器にコントローラ機能・演算機能を作り込むコンフィギュレータ
2. コントローラ、演算、また入出力の各ファンクションブロックの実行周期とデータ通信周期を定義するスケジューラ
3. 作ったコントローラ、演算等のプログラムをチェックするデバッガ
4. 計器ごとに異なる各社のコントロールと演算アルゴリズムを理解するエンジニアリングツール

が、必要になってしまいました。

たとえば、簡単なセレクト制御について考えてみます。PROFIBUS-PAではこのような制

御機能はDCSに任せます。ですから、従来とおり,DCSの標準演算機能にてセレクタで選択されていない1次側の出力値と2次側の設定値のトラッキングが自動的に取られるようになっていきます。つまり、エンジニアはセレクタを切り替えた際の2次側設定値のバンプを考慮しなくても自動的にDCSが対応してくれることとなります。PROFIBUS-PAの場合,この制御プログラムは仕様の対象外なのであえて考慮する必要はないわけです。

Foundation Fieldbusでこのセレクタ制御を現場機器の中で実行しようとする、

1. どの機器にコントローラを置くか,どの機器にセレクタを置くかの選定。
2. 機器内でのコントローラ、セレクタの指定
3. 1次側のコントローラの演算終了後、2次側コントローラの演算が始まるような実行スケジューリングの作成
4. 2次側設定値をセレクタの状態または2次側コントローラのモードをみて1次側に伝達するバスの作成

などのエンジニアリングが必要になります。さらに異なったベンダーが製造する機器間でこのループがうまく動くかのデバッグが大切になってきます。現在のFoundation Fieldbusのエンジニアリングツールの状況を筆者は完全には把握していませんが,このようなエンジニアリング要求をサポートするツールが大手ベンダーを中心として徐々に市場に出てきはじめて段階と理解しています。

PROFIBUSはFoundation Fieldbusと異なり、アナログ信号を単にデジタル通信に変えるだけという、もっと簡単なフィールドバスシステムを志向しています。そのため、コントローラのエンジニアリングに変更はないため、従来のシステムでも入出力部分さえPROFIBUSに対応すればDCSのエンジニアリングツールをそのまま使うことができます。

以上のような違いがあるために、Foundation FieldbusとPROFIBUSでは通信のプロトコルも違ってきます。この点については参考文献等を参照していただきたいと思います。

PROFIBUS-PAとFoundation Fieldbusのもう一つの大きな違いは、Foundation Fieldbusはあくまでプロセス・オートメーションのためのシステムであるのに対し,PROFIBUS-PAはPROFIBUS-DPというファクトリー・オートメーション用のフィールドバスと完全にリンクが取れているということです。

つまり、Foundation FieldbusとPROFIBUSでは目指す方向が多少異なるため、両者は同じものでないことを理解していただきたいと思います。

筆者はここでどちらのフィールドバスが優れているかという結論を早急に出したくはありません。プロセス・オートメーションのフィールドバスはPROFIBUS-PAが1997年に発表(ファクトリー・オートメーションとしては1989年にPROFIBUSは発表されています)、Foundation FieldbusのHSE(High Speed Ethernet)を含めた規格は2000年3月に決定と歴史はまだ長くありません。これから市場に残るフィールドバスはマーケットが選択するものであり,その場合には上に述べたエンジニアリングによる違いのほかに、価格、パフォ

パフォーマンス、機能、オープン性なども検討事項になるでしょう。

むしろ筆者としては 2 つのフィールドバスの目指す方向が違うために、Foundation Fieldbus と PROFIBUS-PA はプロセス・オートメーションの世界で両立する可能性があると考えています。

4. まとめ

プロセス・オートメーション用のフィールドバスを概観しました。実はこの議論をもっと進めると、制御システムだけのデジタル化ではなく、工場及び全社のネットワーク化の一部として制御システムの今後をどう考えるかとか、インターネットなどの技術をどのように制御システムに生かすかなどのお話に展開していきます。

今回は紙数の関係もあり、あくまでプロセス制御システムのデジタル化とフィールドバス、そして Foundation Fieldbus と PROFIBUS-PA の違いということで話を進めました。読者の皆様のご参考になれば幸いです。

<参考文献>

- 1)甲斐 忠道 フィールドバス基礎ブック オーム社 1995 年
- 2)元吉 伸一 フィールドバス入門 日刊工業新聞社 2000 年