

《第7回》

計装エンジニア その歴史と今後への期待

富田 芳生*

*横河電機(株)システム事業部 東京都新宿区西新宿 1-25-1

E-mail: tomita@sales.yokogawa.co.jp

キーワード: 計装 (instrumentation), 計装エンジニア (instrument engineer).

JL 6602 97/3602-0137 © 1996 SICE

1. はじめに

計装エンジニアとはなんだろうと問うためには、計装とは何かを定義する必要がありそうだ。しかし、計装という言葉は辞書ではみあたらない。これは、日本語だけでなく、英語の世界でも同じで、Instrument とか、Instrumentation という単語の意味として、計装っぽい内容は辞書に示されていない。実に不思議な言葉である。「計」の字は、計るとか計器の意味に違いないが、「装」の意味は、艦装の装に近いと思われる。ちなみに艦装は、辞書によれば「できあがった船体に、航海に必要な装置器具などをとりつけること(工事)」とある。どうも装置器具そのものには別の名前があり、これを機能化するためになんらかの本体にとりつけることをさすらしい。

計器の世界の業界団体を見ても、計測器工業会とかバルブ工業会などがあり、その工事を主体とするところに計装工業会がある。しかし一般のイメージとしては、計装エンジニアとは、工事に携わるエンジニアではなく、プラント類に不可欠な計測、制御、監視、安全保持などにかかわる機能をさまざまな機器類を用いて、実現するエンジニアリングをする人たちや、機器類の開発設計をする人たちをさしているといえよう。

ここでは、あまり細かい定義らしきものはあきらめて、上のような漠然とした解釈に立って、この30年間位の流れのなかで、いわゆる計装がどのような道をたどり、そのなかでエンジニアがどうしてきたのかを振り返りながら、これからどうあるべきかについて考えてみたい。

2. 気になる話

筆者は、化学工学関係の人と会うことが多いが、「化学工学とは何か?」について悩みがあるらしい。化学 (Chemistry) は、〇〇化学ということで学生や若い人達にもわかりやすいらしいが、化学工学 (Chemical Engineering) は、漠然としていてとらえどころがなく、学科選択ではあまり人気がないらしい。工業化や運転などで、化学工学の果たす役割は非常に大きいのだが、

そういえば、「計装」と名のつく学科なり講座は、大学にはないように思える。計測、制御、電気(子)、通信、機械、数理、情報などが、関係の深い学科や講座と考えられ、現

に計装エンジニアと呼ばれる人たちは、このような分野の出身者であることが多い(欧米では、むしろ化学工学などの出身者が、プロセス制御の分野で活躍している場合が多く、歴史と環境の違いを感じさせる)。

これらの多くの分野の人々が計装用計器を作ったり、これを装備したり、利用/保守に携わったりするきわめて応用的な仕事に従事しているのが計装エンジニアらしく、その意味では自らが主体性をもつことが難しくなんらかの本体に付属しながら、その機能や性能を引き出す役割をもっており、化学工学以上にとらえどころがない。したがって、計装エンジニアがどこまで本体に迫るのかによって、その職掌が大幅に振られることになる。

残念ながら、「計装」という名のつく分野がむしろ少なくなる傾向が見られる。かつては、どの装置産業の工場にも計装課とか計装係があり、かなりの人がいたのが、いつの間にか小さな集団になっているケースが多い。スリム化の大きな流れのなかで、装置産業では、多くの会社がエンジニアリング部門の分社化に走り、多くの場合、計装関係の部署もこれに含まれている。分社化は、本体以外の仕事も見つけて、業容を拡大することに意味があり成功例も見られるが、多くの場合成功とはいえず、計装エンジニアと現場の距離を大きくするという負の効果のほうが大きいように見える。

アメーバのように、伸縮自在の職掌ともいえる計装が時代の流れのなかで、どちらかといえば縮小のほうへ向かっている。一方で、新しい職掌としては、新しい集団が組織化されたりもしている。特に、計装という名前や組織にこだわる必要はないのではあるが、もんじゅの熱電対事故のような落とし穴にはまったりせず、プラント本体を最大限に機能化させる仕事の重みを知るグループが誇りをもって仕事に没頭できることが重要であり、計装に携わってきた人たちもいま一度、自分たちの役割を前向きに考え直すのによい時期にきているように思えるし、今回の特集もそれを感じての企画かとも思う。

3. 計装のあゆみ (アナログ時代)

筆者も60歳近くなり、30余年間、計装分野に携わってきたが、それ以前の歴史にはうとく、体系的に計装史を語る資格はないが、この間のトピックスをいくつか拾い出し、

そのなかで計装や計装エンジニアがどのように移り変わってきたのかを見てみたい。

(1) 輸入技術の消化

日本の装置産業の技術は、その多くが1950～60年代に輸入され、これをいかに使いこなすかに力が注がれたが、計装技術もこれに付随して輸入されてきた。それ以前にも日本固有の努力もあったものの実用性や完成度において圧倒され、メーカ/ユーザともにその消化に追われた。PIDチューニングなども、メーカのエンジニアが実際に計器室に入り込み、オペレータと一緒にやることが多く、一体のチームになって手探りをしながら押し進めることが多くあり、当時のメーカのエンジニアは、自分たちの製品がどのように使われるかの実体感をもっていた。これらの技術導入が一段落し、ユーザ内でエンジニアやオペレータが自分でチューニングなどをやるようになると、メーカとユーザの関係も機器のサプライヤとユーザの関係になり、徐々に距離ができてくるようになる。センサーの材質選定などについても日常の保守を行っているユーザ側にノウハウが蓄積されるようになり、仕様の決定などもユーザ主導へと移っていった。

(2) 空気式と電子式

当初、空気式計器が主体であったのが、1960年代に入ると電子式が出現し、空気が電気が議論の対象となった。その1つの理由としては、空気式計器の伝送遅れによる制御性の劣化とプロセスの大型化への対応の限界であったが、この点について明確な指針はほとんど日本では作られず、外国のデータの利用にとどまったといえる。

むしろ、電子式への移行をうながしたのは何か精度が上がるのではという期待と、プロセス用コンピュータ到来の予感に基づくコンピュータ結合性への期待であったといえる。

当時から空気式の信頼性が電子式より高いことは認識されていたが、時流として電子化への急速な転換が図られ、後になって、熱問題などが顕在化し、一時的に計装システムの信頼度や寿命の低下を引き起こすこととなった。1970年代半ばに海外立地問題などで、一時空気式の見直しが行われ、伝送ラインの遅れを微分動作で補償するなどの試みがなされた頃になり、はじめて伝送遅れの定量的把握が行われたといってもよい。

しかし、ではどのくらいの遅れまでは許されるのかなどの指標を作るには至っていない。空気式のよさを十分に知っていたDupont社のエンジニアが、伝送遅れの許容範囲に関し、「流量制御はそれ自身が目的であることは少ない。流量の調節を通し、圧力、液位、温度などを制御している。これらの目的とする変量の制御性から、遅れの許容値を決めるべし」といっていたのは、その裏にある見識の差は大きい。やはり日本の技術に余裕がなく、高度成長時代にひたすら突っ走っていたということであろうか。

(3) 高密度化

当初導入された計器は、かなりの大型でしかもパネルへのとりつけもプラントのイメージにできるだけ近づけるようにグラフィックパネルのことが多かった。しかし、これではパネル実装密度が低いことから、

- ・記録調節計から指示調節計へ
- ・多点記録計化や選択形記録計へ

などによるパネル面積の圧縮が図られた。

オペレータの負担増をやわらげるべく、ロガーやコンピュータ用ロガー、ついでプロセス用コンピュータなどが併用され、オペレータの記録作業が軽減されるなかで、高密度化のスピードを上げ、一面に調節計がビッシリ埋め込まれたパネルへと変わっていく。

当時、確かに定時報告書などがすべてオペレータの手書きであり、この作成のために1人のオペレータが専任してもよいくらいであったが、この記録作業を通してプロセス状況を把握するとの考えもあり、一部には重要計測点をわざわざローカル計器のままにするなどの意見があった。プロセスオペレーションとは何かの古くて新しい問題の数少ない議論ではあった。

しかし、高密度化実装はパネル内の温度上昇をもたらし、電子部品、特にコンデンサの寿命問題を生じ、2～3年に1度コンデンサ交換をしいられる事態が発生し、大きな問題となった。このころになって、電子式計器の信頼度に及ぼす要因について、理論的な考察がされるようになり、少電力仕様計器の開発などが行われるようになった。

(4) システム的問題

1) 絶縁問題

アナログ計器がそのまま使われている段階では、どんな大きなシステムといえども、個別計器の集合体であり、相互間の干渉はほとんどなく、設計においてもシステム的アプローチはほとんどされなかった。

もちろん図1のように、1つのループにいろいろな計器群が繋がると、それらの機器間の干渉や多点記録計などを介しての他ループとの干渉など、若干のシステム的なトラブルはあった。

(a)ではコモンモードノイズ問題があるし、(b)では記録計の切換時ノイズで警報設定器の誤動作が起きたこともある。ところがコンピュータの導入によって、コンピュータI/Oを介して、これらの独立した計器群を電気的に結合させることとなり、ノイズ、干渉というシステム的な問題にさらされることとなった。

すなわち、図2で見ると、計算機と調節計のやりとりにおいて、計算機のI/Oが非絶縁であれば、調節計の内部の複数個所が計算機によって接地されるし、複数台の調節計が複数個所につながってしまうこととなった。

この問題は、かなり深刻であり、計算機と計装機器の結合性は、期待に反し決してよくないとの理解から、従来の

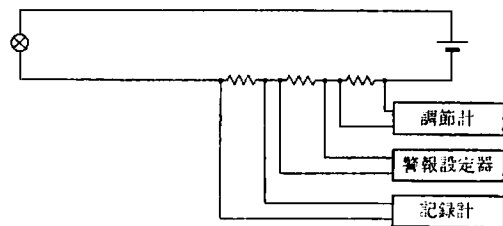
概念を打ち破る新しい概念として、FOXBORO社が1970年にSPEC-200の発表に及んだ(図3)。

すなわち、調節計の諸機能をいったんばらばらにし、計算機結合機能(A/D, D/A, 通信)と調節機能(PID)をシステム共通アースの筐体内に作り上げ、プロセス入出力については絶縁つきの変換器を設ける。

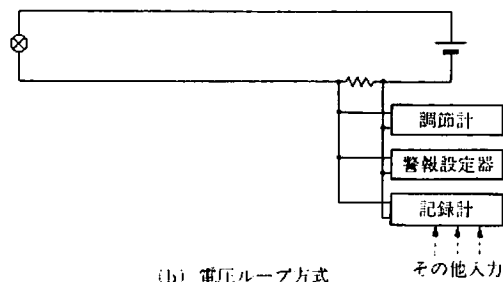
一方、ヒューマンマシンインタフェースは、コネクタで引き出すというものであった。

計装システムを絶縁とかノイズとかの立場から見ると、フィールドのあらゆる個所にアンテナを張りめぐらした、きわめて難しいシステムである。

入出力絶縁により、まずシステムを単純化し、ほかとの接点も単純明確化したシステムを作り上げる発想力と信念は、敬服に値するといえよう。



(a) 電流ループ方式



(b) 電圧ループ方式

図1 ループ構成方式例

シグナルコモン、ループ絶縁、I/O絶縁などという言葉が大きな意味をもつようになり、計装システムを本当の意味でのシステムとしてとらえる必要性が出てきた。

2) 別のシステム問題

トランシーバが計器を誤動作させ、大型プラントが緊急停止するという事件が計装システムに大きな問題をなげかけた。プロセス計装システムは、直流信号を扱っており高周波電波に対する防御手段は講じられていなかった。すなわち設計時には考えていなかった環境の変化(すなわち、計装機器が電波の充満する環境下におかれ、自らの機能が阻害されるようになったこと)が思わぬ問題を起こし、設計者に対して大きな衝撃を与えることとなった。

また同じ頃、CVCF(今日はほとんどUPS)が出現し、突入電流や波形ひずみ、切替え時の瞬間停電などの問題が顕在化し、計装システムは、その使用機器群だけでなく、隣接システムとの結合問題も抱えこむことになった(それ以前は、電源は無限容量のものと考えてもよかったのが、制約条件下での設計が必要になった)。

図4は、1985年のSICEの第7回産業システム部会で筆者が提起したものであるが、ここでシステムの逆説的定義

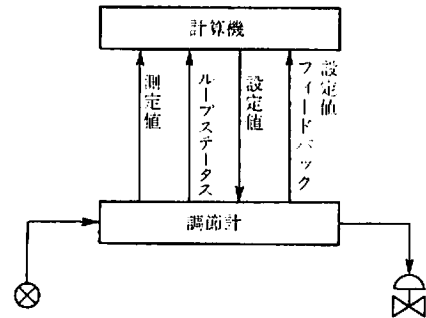


図2 SPC形計算機結合例

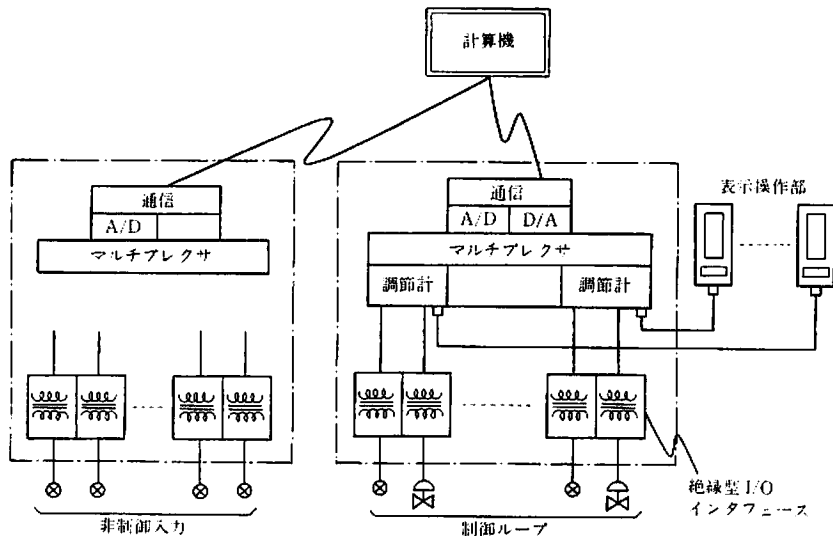


図3 SPEC-200概念例

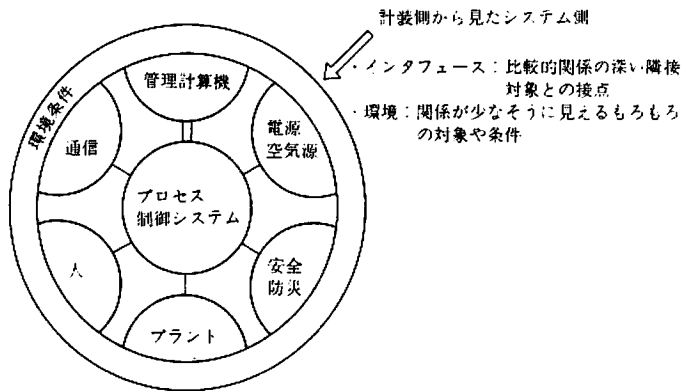


図4 計測側から見たシステム側

として「システムとは、世の中のあらゆる意図的/非意図的活動や事象あるいは関係などに対し、境界を設定し、特定の立場から有限の範囲のみを取り出したもの」とした。図4は、計装を中心に描いたものであるが、ほかの項目を中心にあげれば、また違ったかたちになる。要は、どこに力点をおいてシステムを考えているかであり、それぞれの関係を忘れてはならないとの警鐘のつもりであった。

3) 安全計装

1970年代はじめに石油・化学工場で多くの火災爆発事故が発生した頃から、安全計装システムへの期待が高まった。当時はもちろんアナログ機器が主体であり、そのなかで、温度計のバーンアウト機能や逆信号トランスミッタなどによるフェイルセーフ化を図る案などが提案された。温度計の場合は、上/下方向のバーンアウト機能が危険性の方向によって選ばれる。

逆信号トランスミッタとは、たとえば通常の流量計でヒューズ断など、出力が0になるようなトラブルが起こると、調節計は流量が0になったとみなし、流量を増やそうとする。これが危険方向へ向かわせる場合、トランスミッタの特性を逆（流量=100%で出力=0%、流量=0%で出力=100%）にしておくとし、出力が0のとき、流量を絞り込もうとし、安全側へ向かわせる。

少々違った角度からループ別電源システム（図5）も提案された。ループ別電源システムは、トランスミッタ、調節計などの組合せ時、どの部分にヒューズをとばすようなトラブルが生じて調節計出力を0%側に落とそうとするものである。

この考え方は、LOOP INTEGRITYという言葉で表現され、かなり重要視するプロセスライセンサーもある。また、高度安全計装という言葉が生まれ、計測点を追加し、その情報によってより安全指向の制御を行おうとする考えが出てきたが、機能的制約の多いアナログ機器の組合せではおのずから限界があり、あまり進展をみないで終わった。

安全保持回路についてもリレー回路でロジックが組まれたが、フェイルセーフの観点から常時励磁、常時閉接点方式が最もよいといわれたが、実際には千差万別の回路が組

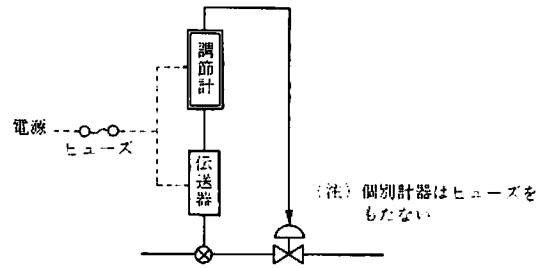


図5 ループ電源方式

まれている。

4) DDCの経験

1960年代半ばにDDCが導入されたが、たいへん高価であったことと、信頼度への恐怖感もあって、多くの導入を見るには至らなかった。しかし、DDCは、計装エンジニアの転機への1つのトリガを与えた。アナログからデジタルへの転換のみではなく、潜在的に大きな計算/判断能力をもつコンピュータをどのように使い、役立てていくかを考えていく必要が出てきた。これは、従来のハードウェアと機能が1対1に対応していたのとは大きな違いであり、ソフトウェアとエンジニアリングによって享受できる効果が違うことになった。

この変化は計装エンジニアにインパクトを与えた。単体の知識でよかったものが、システム的な発想を要求され、また当時の先端技術であったコンピュータを知る必要が出てきたのはもちろんであるが、同時にいかに効果を上げることが問題となった。プロセスにより深くふみ込み、問題解決形の発想と技術が要求されるようになった。図6などはその一例であるが、従来(a)のような制御方式が普通だった。すなわち、処理量の要求に応えたフィード量をまず保ち、温度制御は燃料操作で行っていた。(b)のように組み変えることによって、スタートアップ中なども自動運転を可能にした。すなわち、温度を一定に保つためには、燃料を操作するよりも、フィードを変えたほうが応答が速く、温度制御がきわめて容易になる。処理量はこのままでは守れないかもしれないことになるが、つぎのステップとして、処理量をできるだけ一定にするように燃料の量を調整することになる。この方法は、現在でもほとんどのエチレン分解炉に採用されている。このような努力の成果は、1960年代から70年代にかけ、エチレンプラントの分解炉の自動スタートアップ、シャットダウンや、都市ガスプラントの自動負荷変更、オフサイト操業の自動化など、かぎられた分野ではあったが、従来のプロセス計装とは大きく違い、プロセスオペレーションに深くつっこんだエンジニアリングが行われた。

いままた高度制御の導入などが話題になっているが、当時の計装エンジニアのような、ひたむきな姿勢がほしいと思う。また、計装エンジニアの別れ道として、DDCが導入されたとき、コンピュータを抱き込んで計装システムとし

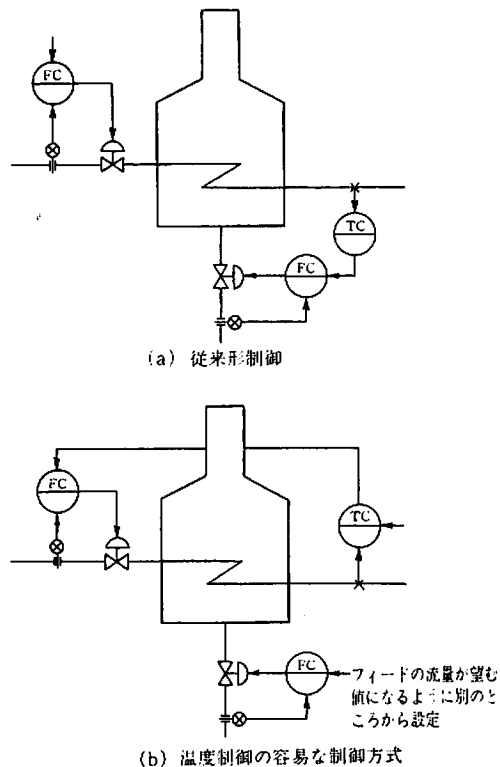


図6 加熱(分解)炉制御例

て扱うのか、コンピュータは、その外にあるとして切り離すのかの考え方が、それ以後の計装エンジニアの社内的存在感をかなり左右することとなった。メーカ側ではかなり早い時点でエンジニアの分離が進んだ。ユーザ側では、DDCは、計装のテリトリーとした場合が多いがどこまで使いこなす意欲があったかによって、その使い方も異なっていた。

4. 計装への歩み (DCS の出現以後)

1975年に、日本とアメリカでほぼ同時期にDCSが発表された。その背景にはかなりの差があり、プロセス計算機との結合性をより重視し、DCS自身としてはアナログ計装時代とあまり変わらない機能で、どちらかといえば、SPEC-200のデジタル版的な印象を与えたアメリカと、DDCの経験からこれの分散化により、より高度な計装システムをめざし、スタートアップやシャットダウンの自動化まで意識した機能をもった日本とで、当初はかなり特徴の違いとなった。

アーキテクチャ的に見ても、データハイウェイがシステム信頼性のキーポイントとして、トークンバス方式のバスが日本で生まれ、これがPROWAY, MAP, IEEEなどの標準化のベースとなり、今日のフィールドバスにまで及んでいるのは、日本が世界の計装関連技術に大きく貢献した数少ない例といえよう。もちろんDCSが出現して20年たったいまでは、相互に影響しあい、だんだん差異がうすめられてきている。

DCSは、石油ショックの直後で、設備投資意欲の低下した時期に出現したこと、およびCRT上での操作に対する不安感から、石油化学などの分野ではその導入にためらいが強かった。

一方、省エネルギー化をめざし、鉄鋼プロセスを中心にプロセスの連続プロセス化などが図られるなかで、計装システムへの期待も単にシングルループの寄集めから、複合的制御システムへと移行し、DCSの導入が進められた。また、重合などのバッチプロセスでは、品質スペククの多様化と先鋭化のなかで、そのオペレーションの変更が迫られ、DCS化のもう1つの推進力となった。

これらの分野ではもともと従来のアナログ計器群ではなかなか制御できないものがあり、パネルを見ても、ランプ、押ボタン主体でオペレータの手動操作主体で運転されていたのが、演算や論理、シーケンスなどの機能を包含したDCSによって大幅に自動化が進められ、また、ヒューマンマシンインタフェースもCRTの特徴を生かし、ランプ/スイッチ類からグラフィック表示への移行によって、大幅な改善をみるに至った。

鉄鋼プロセスは巨大プロセスであり、とてもDCSのみで制御しきれないが、多くの化学バッチプロセスでは、このDCS化によってほとんど自動化しきれるところまできた。これらの経験が、石油、化学、紙パルプなどの連続プロセスへのDCS導入へのきっかけとなり、1980年代に入り、計器室統合の要請とかみ合せて、世界でも例をみない急速な勢いでDCS化へと進んだ。

いまやある程度の規模のプロセスは、すべてDCS化されたといってもよいほどである。この過程でアラーム多発などのオペレータの負担増が問題となっている。多くの統計によれば、毎分1アラームの発生頻度は決して例外的なものではない。

この大きな理由がプロセス計装システムがプラットフォームが変わっても従来の機能からプロセスの安定化やより合目的な制御に向けて、あまり大きく前進していないことにあるといえる。その機能が用意されているのに使われていない。計装システムも故障という観点では、飛躍的に信頼度を上げてきているが、プラント機器群においても同様であり、故障によるアラームは減っており、プロセスが安定でかつプロセス目的にかなった運転ができるようになっていけば、このようなアラームの洪水が生じるはずがないからである。残念ながら、計装システムとその運用があるいは新しい技術の導入が計器室統合やプロセスオペレーション上のニーズに対して遅れをとっているといわざるをえない。

5. 計装エンジニアへの期待

小資源国である日本の宿命としての輸出指向産業構造のなかで、円高下での国際競争力の維持のためのいっそうの

努力が強いられている今日、プロセス操業の点でも一大変革が要請されている。よりマーケットオリエンティドな操業や、低コスト化指向のなかで、プラントのもてる可能性を最大限に引き出していくうえで、計「装」への期待はいっそう強まっている。これはもちろん従来の計装とは趣の違ったものになるし、プロセス特性の計測や推定、モデル化など本質に迫った状況把握とその制御を可能にする高度な要素技術が必要になる。

また、単にプロセス制御のみでなく、プロセスを支える設備の監視や適切な保全、安全、環境、保護などを含めたトータルシステムとしての一層の改善が要請されてきている。では、一体誰がこれらの期待にこたえられるのであるか、最初に述べたように多彩な分野の要素技術をもった人たちの集団である、かなりの広義ではあるが、計装技術者をおいてほかにないと思える。その反面、前述気になる状況のなかで、計装に携わる人々の意気は決して高くない現状がある。

まずは、計装技術に携わるエンジニアの自信回復が望まれるところであるが、これは、決して人から与えられることはあるまい。世の中の活動は、安定化よりは発散しやすいものであり、計装の分野も一定の期待と役割が安定的に存在すると考えるべきではなく、ますますその任務が重要視されていくか、ジリ貧的に落ち込んで行くかのどちらかであろう。

化学工学の学生達が悩むように、プロセス本体のことについては、その専門家に及ばないなかで、そのもてる可能性を最大限発揮させることは、いかにも苦しいように見える。しかし、プロセス操業のなかで、いや新製品開発活動のなかにおいてさえ、その動きを押し量り、それを人間のコントロール下におかないでは進歩はありえないし、そのための要素技術に一番近いところにいるのが計装エンジニア集団である。この要素技術をもって自ら境界領域を埋める、すなわち1歩も2歩も対象に向かってふみ込んでいくことこそが望まれているといえよう。自信回復のためには、成功例に学ぶことも必要であるし、新しい技術の取得も必要であり、産業界のなかや、学産共同での自己研鑽の場などの提供もぜひ必要である。

教育という点に関し、興味のある話があるメジャーオイル会社から聞いた。図7に示すように、就業時間内のエンジニア教育時間比がどんどん上がり、2000年には20%を超えるであろうとのこと。どんどん新しくなるツールが使えるかどうかによるエンジニアリングの生産性の差は大きく、十分採算に合うとの見通しがあるし、突っ込んだ改善には工学分野にとどまらず、科学の分野の知識が必要に

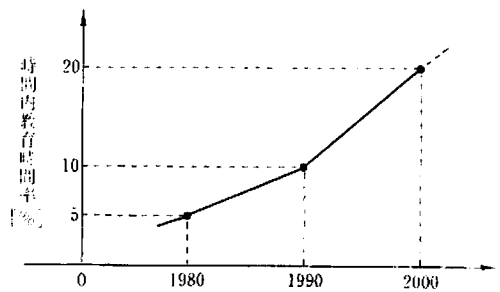


図7 時間内教育時間率 (あるメジャーオイルの例)

なってくるとのことであった。OJT (on the job training) と称し、ほんの数パーセントを無理矢理教育時間としてカウントしている日本の現状とは、その差はきわめて大きい。

6. むすび

計装エンジニアというより、計装そのものに、しかも多少古い話に重点をおきすぎたかも知れない。しかしプロセスの神経ともいえ、さらに頭脳になりつつある計装システムの重み、ちょっとしたトラブルが全体に影響してしまうおそれのあるシステムをあずかる人たちの努力の積み上げをしっかりと伝承していくことの重要性を浮き彫りにするためには、むしろ古い話を紹介したいと思ったのである。かざられた紙数のなかで、うわすべりなトピックスの抽出だけに終わったが、これからを考えるうえで、少しでもヒントらしきものがあれば…と願っている。また、世の中が、目的追求型になっているなかで、計装エンジニアがその対象となる本体の最適運用という大きな目的をとらえることができたらと願い、少々過激とも見える表現になったことをお許し願いたい。

最後に、原稿作成の過程で、このシリーズを引っ張ってこられた江木紀彦氏に、いろいろ助言をいただいたことを感謝したい。

(1996年8月9日受付)

[著者紹介]

富田芳生君 (正会員)



1938年6月25日生。61年京都大学工学部電子工学科卒業、同年横河電機(株)入社。計装システム設計、コンピュータSEなどを経て、現在、システム事業部取締役、ISAなどの会員。