キーワード

Factory Automation, 情報化, 制御 LAN

正 員 新 誠 一

東京大学工学部 附属総合試験所

1. 緒 言

リレー, トランジスタ, IC, マイコンというデバイスの発達で FA (Factory Automation) という分野を産み、育てたことは疑いもない。それどころか、未だマイコンによる革命の影響を吸収しえないでいる。マイコンは PLC (Programmable Logic Controller) を産み、FA の中核機器として存在している。しかし、これは情報化の二つの方向からの挟撃にあっている。一つは、別な世界の情報機器として発達したパソコンの FA における台頭である。パソコン PLC と呼ばれる Windows 機によるソフトウェア駆動の PLC が出現している。もう一つは逆に下位層からの侵食である。これは、各機器の高度知能化に対応している。それをサポートしているのは、Super H, R4000, Strong ARM などの数百 MIPS, 千円弱の RISC マイコンである⁽¹⁾。ここ数年で、機器の方が PLC より高機能化される恐れもある。

以上のような、マイコンを中心とする技術変化は情報化という言葉に象徴されている。マイコン利用では先進的だったはずの工場よりも、現在ではオフィスの方が情報化が進行し、企画、管理、営業、融資、投資などの商売のやり方自体が日々、改変されている。特に、世界に目を向けるインターネット (Internet) と事業所内に目を向けるイントラネット (Intranet) は、組織の構造変化だけでなく、業界全体の構造変化を起こしている。それどころか、ボーダーレス化と呼ばれる業界区分の曖昧化も進行している。正に、仁義無き戦いの幕が開かれた状況にある。そのようなオフィスの変化を起こした情報化は、今、製造現場にも波及しつつある。

旧来からの継承を範としてきた日本システムは、仁義無き戦いの中、方向性を定められずに右往左往して思う。ここでは、工場における情報化の意義を関連技術の動向を踏まえて考察し、工場の情報化に一つの海図を提示することを目的としていく。

実際に物を作る製造業は、抽象化された情報そのものを扱うマスコミや金融業よりも難しい面がある。そのために、製造業という情報化の旗手が、現在、情報化を後追いして

る。物から情報を取り出すことが情報化の一つの原則であるが、実世界を考える以上、情報と物の結びつきは維持しなければならない。以下、FA におけるイントラネットの活用を考えていきたい。

2. 電子化と情報化

まず本題に入る前に、FA の情報部分を大幅に変えつつある電子化技術について論じたい。情報処理の中核であるマイコンを皮切りに OS, ネットワーク技術を論じたい。

一昔前、日本ではマイコンが作れないという誤った風評が蔓延したことがあった。インテル社の Pentium の隆盛を目のみにした日本の技術の実態を知らない人々の評論である。確かにパソコンでは Pentium が圧倒的なシェアを誇っている。しかし、たとえば、スーパーコンピュータでは、NEC, 日立, 富士通が先進的な技術を保持し続けている。これ以外では、スーパーコンピュータの草分けである米国クレイ・リサーチ社があるが、業績不振から SGI 社に吸収されている。

言うまでも無く、スーパーコンピュータには情報処理の高速化技術が集積されている。具体的には、並列化、ベクトル化、パイプライン化である。そして、この分野の主導的役割を日本が担っている。その技術を背景に、RISC 型組み込みマイコンのシェア一位は日立製作所の Super H シリーズである。これは Super H-1 から Super H-4 までの製品系列があり、下位は数十 MIPS, 上位の H-4 は 350MIPS の性能である。このシリーズはセガ社のゲーム機サターンに使われているだけでなく、デジタルカメラ、デジタルムービー、携帯端末などに使われている。1998 年発売予定のサターンの後継機種ドリームキャストには Super H-4 が使われ、1.4GFLOPS の浮動小数点演算能力を発揮する。これは一昔前のスーパーコンピュータの計算能力である。しかも、ドリームキャスト自体、数万円で販売予定という驚異的な事実が目前にある。

ゲーム機については、ソフト、ハードとも日本の独断場である。サターンに加え、プレイステーション、Nintendo 64 の御三家は、それぞれ総計数千万台を世界各地で販売している。ゲームソフトこそが、高度のヒューマンインターフェイスを駆使した、映像と音、振動などのマルチメディアの実現である。その意味で、「日本人がソフトを作れない」という神話も間違いである。そう信じていた人、

Intranetwork for Factory Automation.

By Seichi Shin, Member (Engineering Research Institute, School of Engineering, the University of Tokyo).

またはそう信じさせたい人がいるだけである。

話をマイコンに戻すと、Nintendo 64に採用されているのがNEC製のVR4000シリーズである。これは、米国MIPS社のR4000をベースに開発されたCPUであり、現在販売中のモバイルギアに搭載されているVR4111は、やはり350MIPSの性能を誇っている。しかも、消費電力が350mWと、Pentiumの数万円の価格、数Wの消費電力と比べて、大きく優位に立っている。

この二つに加えて、Strong ARMが高性能組み込み用マイコンとして注目されている⁽¹⁾。いずれも数百MIPSの高性能、千円程度の低価格、そして数百mWの低消費電力を実現している。しかも、マイクロソフト社が産業応用の戦略製品として強力に後押しをしているWindows CEが動作する。

マイクロソフト社は、サーバーとしてNT、個人持ちを98、そしてPLCや周辺機器群をCEというWindowsファミリーで統一し、Active X技術を元にした分散オブジェクト環境で制御系を動作させるOPC(OLE for Process Control)を推し進めている。これは、制御系の一つの未来像である⁽²⁾⁽³⁾。

以上の構想からも窺えるように、下位機器とされていたものが強力な情報処理能力を持ち始めている。これが本来のダウンサイジングである。大型機からワークステーション、パソコン、そして組み込み機器への主役交代である。もちろん、スーパーコンピュータからワークステーションまで、消えるわけではなく脇役として働く。もっとも、人に近い部分はパソコンや組み込み機器であり、コンピュータといえば、パソコンであり組み込み機器と人からは見える。これがダウンサイジングの本質である。

このような要素としての機器の情報処理能力の向上と平行して、ネットワーク性能も急速に向上している。10Mbpsのイーサネットがオフィスの標準となるに従い、接続用のボードやカードは急速に低価格化している。現在は、1万円以下となっている。これはFAにおけるプライベートネットワーク用のボードと一桁近く違う価格である。

このような環境変化を受けて、通産省の外郭団体である(財)製造科学技術センターが中心となって組織したFAオープン推進協議会(JOP)の下部組織であり、筆者が委員長を務める分散型製造システム専門委員会ではイーサネットをベースとしたFA通信規格を1996年に制定した。これをベースに、兄弟委員会であるコントロールネット委員会(委員長、神田雄一東洋大学教授)は自動車工業会の委託に答えるイーサネット上でのネットワーク規格を制定し、現在実証試験が進行中である⁽⁴⁾。

オフィスでは、100Mbpsのファーストイーサが新しい標準となりつつある。これにより、通信関連のICが急速に低価格化していくことが予想される。この通信速度は、コンピュータ内のバス通信速度と遜色の無いものであり、実時間性への配慮が充分では無いイーサネットでもFA利用ならば支障がない通信速度である。

図1 電子制御

以上まとめて2～3年後のFAシステムを考えると、最下層の機器でも数百MIPSの演算能力を持ち、100Mbpsの通信速度で相互に情報を交換し合うという姿が浮かんでくる。正にオフィスで当たり前となっているイントラネットが工場でも使用可能というインフラが整うと見ることができる。

3. 五蘊とオブジェクト指向

情報化という新しい動向を論じる前に、温故知新、昔の教えを振り返ってみよう。この解説のように知識を伝えることを蘊蓄を傾けるといふ。この蘊蓄の蘊は仏教の言葉であり、五つあるため五蘊(ごうん)と呼ばれる。具体的には、色、受、想、行、識と呼ばれる五つである。

仏教には仏教の解釈があるが、ここでは計測・制御の立場から解説しよう。最初の「色」は、対象である。計測するにも、制御するにも相手がなければ話にならない。「受」はセンサである。「色」の状態を測定する。そして、「想」は仮想である。実体は情報化の本丸であるコンピュータである。そして、仮想とはソフトウェア。ソフトはアルゴリズム、算法であるから、数学モデルなどの計算方式が仮想である。そして「行」。これは、アクチュエータである。「色」から「受」で受けた信号をマイコンに送り、「想」で演算し、結果を「行」に送って「色」に返す。これは電子制御そのものである(図1)。

さて、最後に残った「識」は連関である。工場内の各工程を「色」と考えると、各工程は干渉している。前の工程が進まなければ次の工程は始まらない。それだけでなく、物やエネルギーを再利用していれば、そこにフィードバックループが存在する。すなわち「色」同士には連関が存在する。これまでは、機器の情報処理能力が低かったため、連関を無視して、ローカルな工程だけを考えた計測制御を行ってきた。しかし、今は、工場規模、企業規模、いや地球規模で考えなければいけない時代である⁽⁵⁾。このため、「色」同士の連携も配慮せざるをえない。これを実現するためには、機器も連携させなければいけない。つまり、制御LANが必要となる。これが「識」である(図2)。

図2 物理的結合と制御LAN

以上見てきたように、情報化、最新技術といっても、数千年前から伝わっている仏教の教えの手の内である。お釈迦様の手の内で、世界の果てを見たとき自慢する孫悟空と現在の技術者も変わらないのかもしれない。ここで申し上げたいことは、「色」あつての「想」であり、「色」の連携あつての「ネットワーク」である。仏教では、「色」だけの世界を欲界。「五蘊」全部がそろっている世界を色界、五蘊から「色」を除いた世界を無色界と呼び、合わせて三界と呼んでいる。この中で仏教では無色界を最上級としているが、製造業が「色」を忘れては意味がない。「色」だけの欲界ではなく、「色」を除いた無色界でもなく、五蘊全部がそろった色界を常に理想とすべきだと思う。この立場からFAにおける情報化を考察していきたい。

4. 制御系と情報系の融合

同じ物を沢山作ればそれでよかった大量生産の時代は平和な時代であった。上位の計画系が予想を立て、それに従って下位の制御系が仕事をこなせばよかった。しかし、今は違う。作って売って見ないと何が売れるか分からない。消費者が求めているのは、セダンかRVか、それとも両方の折衷なのか、作るほうも買うほうも分からない。売れ筋は売って調べるしかない。

このような環境は、情報と交通の発達が発現した社会の必然である。情報が発達したから、消費者は短期間に売れ筋情報を手に入れることができる。同時に、どの地域、どの会社がローカルな独占に胡座をかいているかが直ぐに分かる。そして、交通が発達しているから、直ちに戦略商品を送り込むことができる。今や世界は連携を持った「識」の世界になってきた。

そのような即応性が要求される市場にあつて、消費者が求めている商品を、求めている時に供給する体制造りが要求されている。この要求に答えるためには、下回りの制御系に与える指令を機動的に変える必要がある。すなわち、

固定された指令ではなく、時機に応じた指令を出す必要がある。これまで上位の計画系は下位の制御系に比べてスローペースであったのに対し、市場と呼ばれる時定数の短い変化に対応するため、計画系と制御系の応答時間に差がなくなっている。そのような状況にも関わらず、未だ上位系と下位系と別々の最適化を行っている現状に問題がある。その解決がFA系のイントラネットであり、両者を融合した最適化を考えるべきである。

この両者の融合は、上位系が下位系を飲み込むというシナリオと、逆に下位系が上位系を吸収するという下克上のシナリオと二つ考えられる。マイクロソフト社がOPCという形で制御に乗り出してきたのは、正に飲み込むシナリオであり、横河電機 (<http://www.yokogawa.co.jp/>) がETS(Enterprise Technology Solutions)というメッセージのもと、上位系に食指を動かしているのは下克上のシナリオである。もっとも、どちらから攻めても行き着く先は同じ所である。具体的にいえば、スケジューリングと連続プロセスの同時最適化である。論理値とアナログ値が混じったシステムをハイブリッドシステムと呼ぶことがあるが、このシステムの最適問題の解法が見えてなければ、行き着く先は見えない。論理値を連続化するソフトコンピューティング⁽⁶⁾や組合せ問題をLMI(Linear Matrix Inequality)で解く緩和法⁽⁷⁾は、融合の行き着き先を与えるものと考えている。このことは、定形がないだけに捕まえるにくい「想」を数学モデルに基づく設計・解析で具体的に定式化することの重要性を訴えている⁽⁷⁾。

5. グローバルネットワーク

情報化の進展による計画系と制御系の融合を論じてきたが、情報化は工場内の融合に留まらず、インターネットや専用線を通して世界に広がっている。これらを後押ししているのは、交通と通信の発達である。幼児や年配者もハワイやヨーロッパに出かけ、インターネットに接続すれば世界中の人や情報にアクセスできる時代である。原料は世界中から集まり、商品は世界中に配送される。加工貿易の拠点である日本も国内に工場を持つ意義を見つけにくくなっている⁽⁸⁾。

逆に、税制、土地代、人件費、環境問題と日本から工場を追い出す条件は整っている。国内に工場を作る意義は、原料が国内にあること、消費地が国内にあること、そして狭い地域に密集していることの利用の三つ以外なくなっている。この内、最初の二つは当たり前、最後の一つが多くの国内工場の拠り所だろう。

日本の製造業の優秀さは、良く知られている技術者の優秀さに加えて、ユーザの厳しさに支えられている。僅かな瑕疵を理由にクレームを付けたり、返品したりするユーザが高品質を支えてきた。たとえば、僅かな色の違いや傷である。国際水準からすればオーバースペックともいえる水準であるが、これが日本の紙パ産業や鉄鋼業の財産である。ともかく、新幹線や空路に代表される交通網の整備と固定

電話や携帯電話に代表される情報基盤の整った狭い国土に1億人以上の高度な教育を受けた国民が生活するという特殊性が日本の活力の源泉である。

話をもどし、工場が海外に移転されているのは厳正な事実である。実際、製造拠点を日本、東南アジア、欧州、米国などに持つ会社も増えてきた。このようなグローバル化の中、会社として連携を保った生産には専用線やインターネットなどの情報網の活用が不可欠である。情報網と言う「識」の仮想な世界は、物理的距離に制約を受けない自由な世界である。このため、旧来の工場毎の生産管理ではなく、自由な規模の生産管理が可能である。これが「識」の良さである。この考えにそって、仮想工場の提案がされている。たとえば監視制御を一カ所に集中し、世界中の工場をインターネットを通じて操業させるものである。

確かに、情報世界である「想」は何でもありの世界ではあるが、情報だけでは何の役にも立たない。虚である情報は、実体である物と結びついて始めて意味を持つ。コンピュータは単体では何の役にも立たない。「受」や「行」を通して実世界である「色」と連携しなければ人の役には立たない。なぜならば、人は実世界に存在しているからである。ヒューマンインターフェイスを含む物理量との「受」や「行」こそが、コンピュータの存在意義の裏づけである。

この観点からネットワークを見直すと、情報世界も実世界の構造を反映しなければならない。たとえば、人は昼間働くように出来ている。だから、インターネットを通じて、どこでも工場の監視制御が出来るのであれば、昼間の地域で操作することが一番である。すなわち、アジア、欧州、米国に工場があれば、昼間の工場で監視制御を行い、夜の部の工場の担当者は工場で就寝していることとする、そして異常があったとき、またはインターネットが不通となったときに、強制的に起こされて問題に対処するというのが虚と実を上手く使う一つの方法である。

6. モバイルコード

次に、最近の話題の一つであるモバイルコードについて話をしたい。これの代表的なものとして、Active X や JAVA がある。まず、どんなものかを説明していく。

ネットワークを通して情報を交換する場合、データを送受信するが、このデータにはプログラムやコンパイルした後の機械語であるビット列も含まれる。実際、パソコン通信やインターネットを通じて多数のソフトを交換したり、アップロード、ダウンロードをしている。その意味で、プログラムを送れること自体、目新しい物ではない。

モバイルコードの目新しさは、プログラムコードを送った先で自動的に実行できることである。モバイルコードを受け取った方にすれば、送られてきたソフトが勝手に動き始めることになる。これは、忌避されているコンピュータウイルスと基本的には何も変わらない。もっとも、JAVA や Active X はモバイルコードが実行される環境

を整える枠組みであり、ウイルスのような悪さが出来ないようにする仕組みである。

この仕組みの面からいえば、先に開発された JAVA の方に一日の長がある。送られ先でディスクにアクセスできないとか、ポインターは扱えないなどの制限がしっかりしている。確かに、自宅に出張してきてもらったコックに、自宅の引き出し全部を自由に開ける権利を与える訳にはいかない。コックはコックの分があり、台所内に活動を制限しなければ安全性も秩序も維持はできない。

では、ウイルスもどきのモバイルコードを受け入れ、秩序を乱される危険を侵す価値があるのだろうか。これが、モバイルコードで一番大事なことである。この答えとして、ソフトの自動更新が良くあげられる。1998年夏に Windows 98 が発売されたが、Windows 95 からのバージョンアップは誰がするかが大きな問題である。最初にパソコンを購入するときは、業者が全てインストールし、設定してくれる。しかし、その後、全社で購入した数千台にも及ぶパソコンの OS バージョンアップは無償ではしてくれない。有償にしても、数千台では膨大な手間である。それなら、自動的にバージョンアップできればという要望を実現したのがモバイルコードの出発点である。

もっとも、プログラムコードを送り込み、先方で自動的に動作させることができるのなら、もっと別な使い方も可能である。特に、ハードディスクなどを持たずメモリ容量が少ないネットワークコンピューター (NC) や組み込み型 CPU などに、動作する時だけコードを送り込むという使い方ができる。これはレンタル使用の形態である。つまり、乳児期にしか必要としないベビーベッドを買い込むのではなく、必要なときだけ借りるという使用形態である。スペースの狭い都市のマンションが NC である。もっとも、マンションにはマンションの利便性があることが大事である。

ネットワークコンピューティング下では、コードは手元で動作する必要はない。これが「想」の世界の特徴である。それにも関わらず、何故手元でコードを動作させる必要があるかという点、それは全て集中にするとサーバーとクライアント間の通信量が増えてネットワーク負荷が大きくなるためである。全てのコードがクライアントの手元にあれば、ネットワークが切断されるという極端な場合にも支障無く動作させることが可能である。このように、「想」の抽象化を十分に活用しながら、現実の配置を忘れないことが五蘊が揃った色界の姿であり、私が理想とする FA におけるイントラネット利用である。

7. セキュリティとセーフティ

さて、ネットワークに限らず情報化では、実体を抽象化して印 (ポインター) で表す。印だけの操作ならば、実体を実際に操作する手間とは比較にならないほど軽い。これが情報化の本質である。しかし、逆に、印と印が指している具象物との対応が情報システムのアキレス腱である。印

をいじれば、不当な人間にアクセス権を与えたり、漏らしてはいけない情報を与えてしまうことも可能である。このようなセキュリティの問題だけでなく、印が常に正しい物を指しているという思い込みや、ネットワークは正常に動作しているという思い込みはネットワークベースの制御系に誤動作を生じさせるというセーフティの問題を生じる。

この対策には、パスワード、暗号化、ファイアーウォールなど種々提案されているが、本質的解決には前節で述べたように、印と実体を常に対応させる色界の考え方が有効である。それには、ネットワーク上で常にパケットをモニターして、不正なアクセスを芽の段階で摘むことなどの通信の各層毎の監視が有効である。もっとも、ここでは工場内利用を考えているので、ネットワークからだけみるのではなく、人やロボットが工場内を循環し、情報系と物理系が正常に対応している確認をとることを考えたい。物理的に存在しながら情報系に現れない機器や人、情報系に存在していながら実体が無い機器や人。これらが、不正の温床であり、警報を出すべきものである。

8. 結 言

以上、「色」、「受」、「想」、「行」、「識」という「五蘊」という仏教の教えに基づいて、ネットワークで結合された制御系の諸問題を考えてきた。情報という仮想世界は無限とも思える自由度を提供するが、物理的、社会的実体と結びついて始めて意味を持つ工学の世界では、「色」である物理的実体との対応が最も重要である。悪意による攻撃、人的ミス、機器の不調などに晒される工場内で、情報の自由度を活かすためには、ここで述べたようなポインターと実体との対応を常に確かめることが、情報化に溺れないための秘訣である。温故知新、新しい事は古い事物を基礎に成り立つものである。今の工場システムを見て、それを活かす方向に情報化を考えて頂きたい。情報中心で考え、実体を知らない者が設計すると情報と実在とが捻れた関係になる。ここが、堰を壊す蟻の一穴である。敵は常に弱い所を攻撃してくることを忘れないで頂きたい。以上の教えの下に、FAのイントラネット化による自由度を享受してほしい。最後に、種々の議論をさせていただいた分散型製造システム専門委員会の皆様、ならびに本文作成を手伝っていただいた本学大学院生川北真裕に謝意を表す。

(平成10年8月1日受付)

文 献

- (1) 新誠一：中小規模計装考，オートメーション，vol. 43, no. 6, pp. 2-7 (1998)
- (2) 新誠一：オープンネットワークと制御システムへの影響，オートメーション，43-1, pp. 2-8 (1998)
- (3) 新誠一：情報化と計装，流転の時，紙バ技協誌，vol. 52, no. 3, pp. 303-314 (1998)
- (4) 新誠一：放送型FA制御ネットワーク，月刊バーコード，vol. 11, no. 7, pp. 6-11(1998)

- (5) 新誠一：環境計測・計装に望む，オートメーション，vol. 43, no. 4, pp. 10-15 (1998)
- (6) 新，池田，湯浅，藤田，自律分散システム，朝倉書店 (1995)
- (7) 新，無責任体制の終焉ーさらば文系，さらば理系ー，名著出版 (1997)
- (8) 新誠一：未来工場，オートメーション，42-1, pp.10-15 (1997)

新 誠 一 (正員) 1980年東京大学大学院工学系研究科修士課程終了。同大学助手，講師ならびに筑波大学電子・情報工学系助教授を経て，1992年より東京大学助教授。1986年工学博士(東京大学)。

1991年，1993年，1998年計測自動制御学会論文賞受賞。1992年同賞武田賞受賞。制御を中心に，広く工学の諸問題に関心を示す。日本ディスタンスラーニング学会理事，日本応用数

理学会評議員，計測自動制御学会，日本機械学会，システム制御情報学会，IEEEなどの会員。