生産システムにおけるセルレベル構築の 現状と動向

解説

キーワード

セルレベル, システム構築, 現状, 動向, 課題

正 員 青 木 正 夫

三菱電機(株)名古屋製作所

1. はじめに

セルレベルは, IEC/CIMモデルでは生産設備の制御を行うコントローラレベルの一つ上のレベルで, 上位の生産管理レベルと下位の制御レベルの中間に位置する。

セルレベルは, 上位からの各種の生産指示や加工・組立の指令を下位が処理しやすいように分解して伝えるとともに, 下位からの生産実績や設備情報を処理して上位へ伝える機能を有する。

セルレベルのハードウェアは, パソコンレベルのコンピュータが主流となっている。また, ソフトウェアは設備固有のものが多く, 最近では汎用のソフトウェアパッケージが多用される傾向を示している。

以下, 本文では, セルレベルの位置付けと役割, ハードウェアとソフトウェアの現状と動向, このレベルのシステム構築での問題点などを解説する。

2. セルレベルの位置付け

ここでセルレベルの位置付けを明確にしておく。

図1は, ISOで定義されたCIM (Computer Integrated Manufacturing: 計算機で統合化された生産システム) のモデルである。生産の意志決定から生産現場までのレベルを, 計算機とコントローラ及びネットワークでリンクした, 階層的なシステム構成となっている。

図において, セルレベル以下がFAシステム, このシステムを含み生産を支援する各種の上位システムを含んでCIMと言われている。

実際のCIMでは, この生産に直結する構成とともに, 総務, 資材, 経理, 営業, 開発, 設計, 技術管理, 設備管理, 品質管理などの計算機システムが有機的にリンクされている。

セルレベルはレベル3にあり, 上位の生産管理などを行う情報系と, 設備制御を行う制御系との接点に位置する。この位置は, 上位の情報系のバッチ処理と, 下位の制御系のリアルタイム処理との接点であり, インタフェース的な位置といえる。また, セルレベル以下は生産現場となり, 現場に設置されることが多い。

さて, このCIMモデルを人間の組織に例えると, 設備を制御するレベル2のコントローラが現場の作業員, レベル1の各種機器は作業員が使う道具といえる。レベル3のセルレベルのFAコントローラは複数の作業員の管理・監督を行う作業係長, レベル4のエリアレベルの工場FAコンピュータは課長, レベル5の工場レベルのホストコンピュータは製造部長, レベル6の会社レベルのホストコンピュータは工場長に相当するであろう。

総じて, このシステムでは, 上位からは指示が, 下位からは報告が, また同レベル間では連絡の情報がやりとりされ, システムが運営されている。

3. セルレベルの機能

セルレベルには, いろいろな機能がある。それは, 生産形態や生産品種などによって異なる。一般的には, 上位からの指示を下位システムへ伝えるとともに, 下位システムからの設備の状態や生産実績, 品質に係る状態の報告などを上位へ伝えるのが基本的な機能である。

図1 CIMのシステム構成と関連ネットワーク

The Present Status and Trends of Cell Level Integration Within Manufacturing System.

By Masao Aoki, Member (Mitsubishi Electric Corp.).

しかし、システムによってはセルレベル以下のシステムで自律的に運転し、上位システムは単に報告のみを処理するものであったりする。あるいは、ちょうどセルレベルの上で切れていて、レベル4と3がネットワークで接続されていなく、伝票でやりとりするようなシステムもあり、このレベルはいろいろな変化があり、また機能も異なる。

以下にセルレベルの各種の機能を述べるが、生産形態、生産品目などによってそれぞれ異なる。

3. 1 基本的な機能

セルレベルは、下位システムに対しては、上位システムからの生産や加工・組立の指示のブレークダウンを行い、この情報を下位システムに指示として与える機能がある。

また、下位システムからの生産、品質、設備に関する情報を上位システムが処理しやすいように前処理して渡す機能がある。

3. 2 生産管理

セルレベルで生産管理を行うシステムは、一般に生産計画や実績処理を行う上位システムを必要としない、単一製品の大量生産の場合が多い。また、セルレベルの計算機にはパソコンクラスが多くなり、その能力からして多数の品種の複雑な加工・組立の生産管理は困難で、比較的簡単な生産管理に使われる。

セルレベルで行われる生産管理には、次のような要素がある。

- ① 生産個数や台数の指示
- ② 加工寸法などの指示
- ③ 組立部品の指示
- ④ 工程の把握、監視
- ⑤ 生産実績のデータ収集
- ⑥ 不良数の把握
- ⑦ 生産実績や生産予測のモニタ表示
- ⑧ 生産ラインのリアルタイムなモニタ表示
- ⑨ 生産日報の出力

3. 3 設備管理

下位の設備を制御しているPCの制御データから発生する設備に関するデータをセルレベルへ上げ、セルレベルでは予防保全に有効な、次のような処理を行う。なお、設備の異常・故障の検出はPCで行い、セルレベルではその結果の処理を行うことが多い。

- ① 設備の総稼動時間の計測
- ② フィルタや刃物などの消耗性部品の使用時間や回数の計測、使用限界での警報出力
- ③ センサやアクチュエータの動作回数の計測と限界の警報出力
- ④ サイクリック動作の設備でのサイクルタイムの計測とそのばらつきの把握、ばらつき過大時の警告出力
- ⑤ 設備稼動状態、運転状況の日報出力
- ⑥ 設備の異常・故障に関する記録、上位への報告
- ⑦ 設備の状態に関するモニタ表示

3. 4 保全管理

設備管理では予防保全の要素を持つが、保全管理は下位のコントローラレベルからの異常・故障情報に対する処理や、その発生時、つまりトラブルシュートに対する支援などを行う。

保全管理には、次のような要素がある。

- ① 下位コントローラレベルから報告された異常・故障情報に対する他の下位コントローラレベルへの指示、上位システムに対する報告
- ② 下位コントローラレベルでは処理できない長時間にわたる時系列データの処理
- ③ 異常・故障発生時の修復に関するメッセージ表示
- ④ 寿命のある部品や工具の使用時間や回数の管理と交換時期の判定、警報
- ⑤ 予備品の管理

3. 5 品質管理

セルレベルにおける品質管理の機能には、次のような要素がある。

- ① 生産実績における不良数と不良率の把握
- ② 不良発生原因の把握
- ③ 時系列データの処理
- ④ 検査・計測データの処理
- ⑤ 各種品質に関するデータのデータベース化
- ⑥ 上記処理結果のプリントアウト

3. 6 運転操作・管理

セルレベルによる運転操作・管理には、次のような機能がある。

- ① 下位生産ラインの起動と停止の指令
- ② 運転状態のモニタ表示
- ③ 運転指示
- ④ 異常・故障発生時の指示
- ⑤ 操作記録の保管
- ⑥ 運転日報の出力
- ⑦ 運転モニタ表示

3. 7 各種のモニタリング

セルレベルは、上記の各種管理を行うとともに、下位システムからの状況報告による現状把握、過去のデータに基づくヒストリカル処理などのリアルタイムなモニタリングの機能を持つ。

モニタリング表示やプリントアウトはモニタリングの結果であり、下位のコントローラレベルでは困難な処理であり、このセルレベルがそのマンマシンインタフェース的な機能を担当する。

3. 8 ゲートウェイ

セルレベルの上位と下位との間で、情報の交換や変換などの処理を行う機能である。

ゲートウェイ機能には、異なるネットワーク間のデータ形式やプロトコル（通信規約）の方式の違いを合わせる機能と、上位と下位との間のデータの橋渡しを行う機能がある。

セルレベルの機能がほとんどゲートウェイ機能である場合、セルレベルはネットワーク間のプロトコルの違いを処理し、データの変換処理を行う。

データ処理の面では、下位からのビット主体のデータを上位システムが処理しやすいメッセージなどのワードデータに変換することや、上位からのワードデータを各コントローラへのビットデータへ変換して渡す機能がある。

4. セルレベルの動向

4.1 ハードウェア

一般に、ほとんどの場合、セルレベルのハードウェアとしては計算機であるが、用途によってはプログラマブルコントローラ（PC）が用いられることがある。

セルレベルのハードウェアのトータル的な動向は、高性能化したパソコンへの移行で、高性能化と低価格化を同時に実現する、いわゆるダウンサイジングの加速である。

計算機としてはパソコンレベルが多く、以下のような各種のハードウェアが使用されている。

(1) FAコントローラ

始めからFA用途向けとして製品化されたパソコンクラスのハードウェアで、アーキテクチャはDOS/V対応である。

現場設置を考慮してあり、物理的、電気的環境対策やRAS機能（自己診断機能）が充実している。

(2) FAパソコン

汎用のOA用パソコンをベースに、環境対策やRAS機能を強化したハードウェアである。アーキテクチャとしては、DOS/VとPC-9801の系統がある。

(3) OA用パソコン

OA用のパソコンをそのままセルレベルのハードウェアとして用いるものである。使用環境や信頼性の面で現場設置は困難である。したがって、リアルタイム処理に深く関与するような用途ではなく、モニタリングを主としたマシンインタフェースなどに多用される。

アーキテクチャとしては、DOS/VとPC-9801の系統がある。

汎用パソコンであり、経済性に優れ、各種のオプションボードやソフトウェアパッケージが豊富なことが特徴である。

(4) ワークステーション

パソコンより高速処理のできる上位のハードウェアで、EWS（エンジニアリング・ワークステーション）をベースにしている。上位計算機の処理機能や性能が不足する場合や、その負担を小さくするような場合に用いられる。

最近パソコンレベルの性能の向上が著しく、また、ソフトウェア開発のコストが高く、ワークステーションをセルレベルに用いることは少なくなりつつある。

(5) プログラマブルコントローラ（PC）

高機能、高性能のPCをセルレベルのハードウェアとして用いるものである。セルレベルより上位でセルレベル担

当の処理をしている場合、セルレベルは下位のPCと上位との間のゲートウェイ的な処理が多くなり、PCで足りることが多い。

PCをセルレベルとして適用する場合、下位のPCとはネットワークで直結でき、そのソフトウェア開発はPC言語のため容易であり、また経済性がよい。

ただし、計算機に比べると処理能力が低いので、下位からのデータをそのまま上位へ上げるゲートウェイ、データ収集、現場でのデータ設定など、限定された使い方が多い。

4.2 ソフトウェア

セルレベルは下位コントローラレベルと直結され、生産に直接に関わるため、従来からそのソフトウェアは設備に合った固有、専用の考え方が主流である。これは、ハードウェアがミニコンクラスであったことや、汎用的に使えるこの分野でのソフトウェアパッケージがなかったことに起因すると思われる。

専用ソフトウェアの場合、最近では、プログラム開発期間の増大とこれに伴うコストアップ、生産品や設備の変更に伴うプログラムの改造・変更が困難などの問題点が指摘され、専用ソフトウェアの限界と認識されつつある。

そのため、下位コントローラの情報を基にした、生産実績データの集計、設備情報のデータ収集、保全に係るデータの収集など、生産と設備に関するモニタリング用途の汎用ソフトウェアパッケージが普及しはじめている。

特に、簡易な方法によるグラフィック画面の描画、モニタ情報の登録・設定、データの定型的な処理と保管、簡単な設定によるデータのロギング、上位・下位間の通信などの処理を、簡易な登録、設定で行うことができる、モニタリングのソフトウェアパッケージの普及が顕著である。この汎用ソフトウェアパッケージの機能には、生産のスケジューリングを含む生産管理、設備管理、運転操作、データ設定、データロギング、生産と設備の監視、設備診断、保全管理などがある。いずれもデータを一括して処理するバッチ処理のソフトウェアであり、下位コントローラレベルで発生する事象の変化に即対応する異常・故障診断や、生産対応のプログラムのダウンロードのようなリアルタイム処理のソフトウェアパッケージはないようである。

セルレベルのアプリケーションソフトウェアのOSとしてはMS-DOS, Windows, UNIX, VMS, OS/2がある。現在稼動している累計の実績から見るとMS-DOSが最も多い。しかし、最近発売される汎用ソフトウェアパッケージのOSとしてはWindowsが多く、その中でも業務用としてはWindows NTが主流である。

汎用ソフトウェアパッケージは幅の広い機能をカバーしており、場合により専用ソフトウェアより高機能、高性能、経済的なこともある。最近では、セルレベルのシステムを設備に特化する専用ソフトウェアよりも、汎用ソフトウェアパッケージの機能を活用するなり、その仕様に合わせた使い方をするほうが得策、との考え方が主流になりつつある。

しかし、汎用ソフトウェアパッケージでは機能不足、かといって全てのセルレベルのソフトウェアを開発するのは大変、といった事情もある。これを支援するソフトウェアパッケージがミドルウェアである。特に、下位コントローラレベルとのデータの授受や、定型的なモニタ画面作成、上位との通信などの機能をパッケージ化しており、あとはそのシステム固有のアプリケーションソフトウェアをこのミドルウェアの上に載せるような作り方で、所要の機能のソフトウェアを実現できる。この場合OSは、アプリケーションプログラムの作成が容易なWindowsがプラットフォームとなっている。

4. 3 関連ネットワーク

セルレベルに関係するネットワークの動向を図2に示す。

図2 関連ネットワークの動向

セルレベルの上位のライン間ネットワークは、国際的に標準化されているEthernetが主流となっている。これは、このレベルの計算機の機能分散と自律が進み、通信の頻度と量が減ったため、比較的に軽いネットワークで済むようになったからである。

セルレベルの下位のライン内ネットワークは別名PC間ネットワークとも呼ばれる。従来は、汎用シリアルインタフェースであるRS-232Cが主流であったが、最近では下位PCの機種専用ネットワーク用ボードも出現し、直結リンクできるようになってきている。

このライン内ネットワークはPCの機種専用ネットワークが主流であったが、異なるメーカーのPC、パソコン、ロボットコントローラ、NC（数値制御装置）などの異機種を直接にリンクする要求が高まり、標準化の方向にある。

国内では、日本自動車工業会によるこのクラスのネットワークに対する要件書に基づき、（財）製造科学技術センター（旧：国際ロボットFA技術センター）にて国内標準ネットワークが審議され、Ethernetをベースに、

サイクリック伝送ができるように改造したネットワークが標準化候補として採択された。このクラスのネットワークにはEN規格対応ネットワーク、米国と日本でのオープン化宣言したネットワークが存在し、主流となるネットワークがどのようになるかが注目されている。

PC下位ネットワークは、各種の入出力機器とPCとの間の省配線ネットワークである。このネットワークもPCの機種専用が主流であるが、センサ、アクチュエータなどの機器メーカーと、これらを使用するユーザからの要求で、PCの機種依存をしない標準化されたネットワークの要求があった。このクラスの業界標準のネットワークとして、（社）日本電機工業会（JEMA）で制定されたJPCN-1があり、参画メーカーも増加の傾向にあって普及の兆しがある。

4. 4 システム構成

（1）自律、分散、統合の進行

図1におけるCIMモデルにおいて、各レベルとレベル間において、自律、分散、統合の考え方が進行している。

図3に、その概念を示す。

図3 自律・分散・統合の概念

自律は、各レベルの計算機やコントローラが関連する処理や制御を、他に頼らずに自律的に行うことである。例えば、上位からの包括的な指示に基づき、下位が必要とする情報を発生できるような処理である。

分散には、セルレベルでの生産、設備、品質の処理ごとに専用計算機を設ける機能の水平分散などがある。また、コントローラレベルでは、設備ごとにコントローラを設けることは、分散制御として従来から行われている。

特にセルレベルでは、システム構築を容易にするためと設備や生産品目の変更に対応するため、生産や設備の管理単位ごとに計算機を設ける分散処理の傾向が強い。

統合は、各レベルの階層内、階層間にわたりデータを共有することにより可能となる。特にセルレベルは生産、設

備、品質などデータの種類が多く、データフォーマットを統一したデータの共有は重要な要素である。

(2) クライアント・サーバーシステムの普及

生産に必要な加工、組立に関係する情報をセルレベルに全て持たせるのではなく、上位のサーバーに持たせ、生産指示やその変更があった場合、下位のクライアントはサーバーから必要なデータを取り出して下位へ指示を出すシステムである。

このシステムでは、生産に関係するデータの設定や変更はサーバーの計算機のみに対して行えばよく、システム全体にわたってのデータとプログラムの変更を必要としない。

最近の生産システムでは生産と設備の変更が多いが、これに伴い関係する計算機とコントローラのプログラムとデータの変更は大変な作業となる。これがクライアント・サーバーシステムではデータを司るサーバーでのデータの変更のみで済み、生産変更に対する追従が格段に良くなっている。もちろん、クライアント側ではデータの変化を解釈するソフトウェアが備わっている必要がある。

(3) 汎用ソフトウェアパッケージの普及

専用ソフトウェアがコストと開発期間の増大、特に変更と改造への対応が遅くなるなど、その限界が認識されるようになってきている。これに伴い、表計算やモニタリングソフトウェアパッケージを中心とする汎用ソフトウェアの普及が進行している。汎用ソフトウェアパッケージの機能に不足があれば、そのソフトウェアのマクロ機能を使ったり、カスタマイズしたり、あるいは関連する言語による付加的なアプリケーションソフトウェアでカバーするなど、そのソフトウェアを活用する方向である。

市販のセルレベルクラス用のソフトウェアパッケージの機能には、下位コントローラレベルからのデータを基に監視機能を中心とするモニタリング、加工と組立をデータ番号で指示するような生産指示に関係するものが多い。

最近の考え方の一つに、始めから専用ソフトウェアを考慮せず、汎用ソフトウェアパッケージに備えられている機能を活用するようなシステム仕様書を作成することも行われつつある。これは、データの設定や下位コントローラのデータによるモニタリングの場合に、特に有効である。

(4) セルレベルシステムの多様化

生産、設備、品質などの管理要素別の計算機の設置、これによる機能の水平分散、ゲートウェイやモニタだけのセルレベルの機能、セルレベルが明確でないシステム、PCによるセルレベルなど、セルレベルのハードウェアとソフトウェアの多様化が進行している。

(5) FAコントローラが主流のハードウェア

セルレベルのハードウェアは、かつてはミニコンクラスのハードウェアが主流であったが、最近では経済性と性能に優れたパソコンクラスのハードウェアの導入が著しい。

なかでも、ノイズ対策や温度対策による現場設置対応の電氣的・物理的環境対策を施し、連続運転を考慮したFA用途のパソコンアーキテクチャのFAコントローラが主流

のコントローラとなる傾向がある。

5. セルレベルで考慮すべき事項

(1) ハードウェア

セルレベルのハードウェアには、オープンアーキテクチャの汎用パソコンと、用途対応の専用機がある。

汎用パソコンに対してはCPUの高性能化、ハードディスクとメモリの容量アップ、周辺機器の充実などによる高頻度なモデルチェンジが問題視されている。それでも汎用パソコンの経済性は極めて魅力的である。

パソコンを設備用として使用するとき、高頻度のモデルチェンジで問題となるのは、将来ハードウェアが故障した場合、そのときの最新機種で以前のアプリケーションソフトウェアが使えるかどうかである。場合により、ソフトウェアの改造が必要となるかもしれない。

また、周辺機器がそのまま使えるかの問題もある。現在でも問題となるが、古い機種の周辺機器が故障した場合、例えば、現在にしては小容量となったハードディスクが故障したようなとき、互換性のあるものが入手できないことである。長期間使用する設備用のパソコンについては、将来ハードウェアとソフトウェアの問題でプラットフォームがなくなることも考慮し、パソコンの設備への導入については慎重に行うことが必要であろう。

専用機は、継続性、信頼性、保全性の確保を目的として製品化されており、長期間にわたり使用する設備用として配慮されている。ただし、マーケットが小さいためにコスト高であり、また最新の技術に追従することが困難な面もある。そのため、特殊な分野への適用に限定されつつある。

(2) ソフトウェア

従来からセルレベルでのソフトウェアのOSはMS-DOSが主流で、アプリケーションソフトウェアとしては生産や設備のモニタリングが主であった。現在でも稼働しているものが多い。

最近では、セルレベルのソフトウェアは、Windowsを利用した開発環境が主流となり、32ビットマルチタスクへの移行が進行している。

従来、このレベルのOSとしてはUNIXが主流であったが、パソコンのOSとしてWindowsが主流となり、移行が進んでいる。

業務用ソフトウェアのOSとしては、マルチユーザ・マルチタスクのWindows NTが主流となりつつある。このOSによる市販アプリケーションソフトウェアの発売が相つぎ、普及しはじめている。

市販されている各種のソフトウェアパッケージには、大別すると次のような種類がある。

① 生産管理ソフトウェアパッケージ・・・生産指示、生産実績集計、生産計画・スケジュール作成、生産日報作成など。

② 運転管理ソフトウェアパッケージ・・・運転状態の把握とモニタリング、運転履歴データ収集など。

③ 設備管理ソフトウェアパッケージ・・・設備データ収集、加工条件・状態データの収集、寿命部品の管理など。

④ 保全管理ソフトウェアパッケージ・・・下位レベルからの異常・故障の報告処理、修復に対するメッセージ指示、故障履歴収集、補用品管理、保全日報発行など。

⑤ 品質管理ソフトウェアパッケージ・・・良品／不良品の実績把握、不良品発生原因の把握と分析、各種品質管理手法による分析と日報発行など。

(3) ネットワーク

セルレベルの上位のネットワークは、完全にEthernetが主流になり、迷うことはなからう。

下位のコントローラレベルとのネットワークについては、PCの機種専用のネットワークが主流である。このネットワークで問題がなければ、それはそれで良いことになる。

問題となるのは、PCとセルレベルの通信である。通常は汎用インタフェースであるRS-232CかRS-422が多いが、高速・大容量の通信には適さない。最近、PCの機種専用ネットワーク用で、パソコンのオプションスロットに装着できるネットワークインタフェースボードが発売されており、高速・大容量の通信が可能となっている。

セルレベルとコントローラレベル間のネットワークにEthernetを使うこともある。比較的に高速通信ができ、異機種も接続できるが、リアルタイム情報が多い用途では通信の衝突によるスループットの低下に注意する必要がある。

6. セルレベルシステムの構築において

以下に、セルレベルのシステム構築で考慮すべき事項を記す。

(1) プラットホームの喪失

先にも述べたが、パソコンを設備用として使った場合、高頻度なモデルチェンジにより将来とも互換性のあるハードウェアの入手と、現在のソフトウェアがそのまま使えるかが問題となる。最悪は、ハードウェアの互換性がなく、データの互換性もなく、かつソフトウェアの改造が必要になる場合であろう。

(2) 市販ソフトウェアパッケージの活用

セルレベルのアプリケーションソフトウェアを専用とするか市販ソフトウェアパッケージとするかは、悩むところである。専用ソフトウェアであれば、その時の要求仕様を満足できるが、後々の改造を考慮しておく必要がある。このとき、何年後かに現用しているプログラムの開発環境が残っているかが大きな問題となる。

最近の一つの考え方として、機能と性能の向上が著しい

市販ソフトウェアパッケージの導入がある。不足している能があれば、マクロ機能によるカスタマイズによりカバーできることが多い。さらに、下位PCとの通信や、表計算ソフトウェアパッケージとのデータのやりとりをサポートするなどのミドルウェアとの併用がある。

セルレベルに対する要求仕様を、市販ソフトウェアパッケージやミドルウェアの機能に合わせ、不足分をカスタマイズによりカバーすることでかなり充実した機能を実現できるようにになっている。特に、ソフトウェアの開発期間の短縮と費用の節減効果は大きい。

(3) システムギャランティ

オープンアーキテクチャのパソコンの導入、市販ソフトウェアパッケージの使用、標準化されたネットワーク、複数の機械メーカーで製作された下位のコントローラレベルなど、要求仕様で製作されたシステムであってもそのシステムのギャランティ（保証）が問題となる。

とりまとめのメーカーがないような場合などでは、このシステムギャランティはエンドユーザが自ら行う必要が生じよう。

7. おわりに

生産システムにおけるセルレベルのシステム構築に関わる現状、動向、課題などを解説した。

セルレベルのシステム構築での主流のテクニックは確立されつつあるが、それでもハードウェア、ソフトウェアで迷うことが多い。本文がセルレベルのシステム構築の参考になれば幸いである。

(平成9年8月19日受付)

文 献

電気学会「セルレベルにおける統合運営管理調査専門委員会」各種提出資料（1994～1996年）

青木 正夫（正員）

1960年大分県立大分工業高等学校電気通信科卒業。同年三菱電機（株）中央研究所に入社。カラーCRT、レーザ応用の研究に従事。1969年同社名古屋製作所に転勤。各種産業用の制御装置と制御機器の開発、PCの開発・製品企画などに従事。現在、同所FAシステム部にて、主として電気学会、工業会などの対外活動とPCの技術サポート業務に従事。