

新しい生産システム開発の方法



荒井 栄 司*

Methodology to develop new manufacturing systems

Key Words : Manufacturing Systems, Production, CIM, FUS, Autonomous

1. はじめに

生産システムという概念が一般に認められるようになったのは1970年代に入ってからであるが、それ以来、その意味する内容については実に様々な議論がなされてきている¹⁾²⁾³⁾。

その最大の理由は「生産」という言葉の表わす内容の多様性に負うものであろう。生産とは、工場の中のものづくりのプロセスを指すという考え方から、製品の設計・生産プロセス(ここにも生産という言葉が入っているが、ものづくりのことである)更に管理までを含めて生産システムと称する考え方、更に拡大して開発・研究から営業・流通・製品企画まで含めた生産システムまで、実に多くの考え方が出現している。

さて、最近になって次世代生産システムという研究・開発が盛んに行われつつある。その多くに見られるキーワードに「知能化」と「自律分散」がある⁴⁾⁵⁾。知能化はさておいて、自律分散機能あるいは自律分散型生産システムといった場合に対象となる生産システムとは何である

うか。

これ迄に出されている研究をながめてみると、どうやら工場内部にもものづくりプロセスとスケジューリングを含めた管理プロセスとを統合したものづくりサイドを生産システムの対象としているものが多い。製品設計・企画までを含めるとシステム規模が大きくなり過ぎ、複雑化するため避けられているのであろう。

そこで、ここではこうした工場を対象とした生産システムの近未来の在るべき姿を議論して、今後必要とされてる技術について述べてみることにする。

2. 新しい生産システムのねらい

工場の自動化は確実に進んでおり、オートメーション・アイランズと呼ばれた状況から全工場フロアを統合して自動化する試みも成功しつつある。特に、日本が得意としているボトム・アップ方式の自動化が幅広く浸透している上に、生産管理技術もスケジューリングや品質管理の分野で着実に成果を挙げつつある⁶⁾。

それでは今、何故次世代生産システムなのであろうか。研究・開発テーマにことかいて出されたものではあるまい。現在の生産システムに不都合が生じているために、その解決策として出されたもののはずである。では、その不都合とは何であろうか。

現在の自動化生産システムは、生産設備が故障もなく健全に稼働しており、工場に対する生産注文が安定している限り何ら問題なく機能す

* Eiji ARAI
1953年1月15日生
1980年東京大学大学院工学研究科精密機械工学(博士)修了
現在、大阪大学工学部、生産加工工学科、教授、工博、生産システム
TEL 06-879-7555
FAX 06-879-7570
E-Mail arai@mapse.eng.osaka-u.ac.jp



ると考えてよい。問題が生じるのは、生産設備における故障や、生産注文の変動(それも緊急の)といった変動要因が度々生じるためである。そうした現在の自動化工場が抱える問題点を列挙すると以下のようなになる。

- (1) 設備の一部の異常が生じると、広範囲に影響が波及する。
- (2) 設備構成を変化するとシステム全体の再構築が必要で、かつ困難である。
- (3) 現在は人的要因を排除する無人運転を限定範囲で実現する固定システムであるため、人的要因を積極的に活用出来ない。
- (4) 生産条件等を固定化しているため、工場運用で得られるシステム最適化技術・知識を活用する変更が困難である。
- (5) 変動に対応するための、真に多機能な生産設備が存在していない。
- (6) 新しい製品仕様に対して、工場側だけでは対処不可能で生産が出来ない。

これらの問題を解決してくれる新しい生産システムとは、ひとくちで言ってしまうと

生産すべき製品の製品設計データと材料とを与えれば、要求された生産計画を出来る限り満足させる作業を作成し、これを遂行して製品を完成させる生産システム

と言うことになる。その実現に必要な機能には以下のものが考えられる。

(1) の解決には、設備の肩代り機能(他設備が異常設備の作業を肩代りする)が不可欠であるが、同時に負荷の平滑化をはかるために設備間で協調して作業負荷を分散する機能も必要となる。

(2) の問題は、設備更新の激しい工場では重要であり、生産設備を管理するシステムとネットワークに設備を登録する糊の役割を持つグローバルな機能を準備しなければならない。

(3), (4) に関しては、従来の自動化を更に進めるためには人間の役割を見直す必要があるとの最近の主張にも見られるように、知的処理とフレキシブルなデータ更新を可能とする制御・管理ソフトウェアの開発が求められる。

(5) での多機能化は、固定設備ではコスト的にも不可能となるであろうため、生産設備を動

的に構成し、生産物・生産量に応じた機能・性能を実現する方法が提案されることになる。

(6) の解決には、製品の原材料が夫々の設計情報を有し、それらの作業対象と生産設備とが対話しつつ必要な作業を決定してゆく生産設計機能が望まれる。

3. 新しい生産システム開発の方法論

従来の生産システム構築のキーワードは、自動化、統合、最適化であった。すなわち全生産行為を出来る限り自動化した上で、トータルな最適化を行おうとしたのである。そのために計算機、ネットワーク、データベースを三種の神器としてシステム構築を行ってきた。その結果、莫大な情報処理を行う大規模システムが出来てしまい、変動への対応に時間差が生じ、中央集権的な管理が不可能となってしまった。同時に人的要因を極力排除したために、人間性に欠けた機械的システムとならざるを得なかったのである。

こうした反省から、多くの次世代生産システムへの提案がなされるようになったが、それらのキーワードは知能化と自律分散が共通しているようである。この2つのキーワードが実現されれば、前述の新しい生産システムが有すべき機能の多くは(精度等のハードウェアに立脚する固有技術はさておいて)具現化することが可能であると思われる。それでは、どのようにして知能化と自律分散とを実現するのであろうか。

知能化については、これ迄も多く的人工知能がらみの開発があり、特にソフトウェア技術に関連する部分が多いので、ここでは取り挙げないこととする。と言っても自律分散となると生産分野以上に生物や生命科学等の分野の専門であり、生産システムがらみで論じると焦点のぼけた場違いの議論になってしまうのであろうが、生産システムの立場から何を考えているのかについて少し紹介してみたい。

新しい生産システムに自律分散機能が出現してきた背景は何であろうか。現在の自動化工場が抱える問題点に対して、今から何十年も前の人が数多く働いていた工場では処理速度は別として、ともかくも解決してきた実績が認められ

る。とすれば、自動化によって失われた要素が存在し、それを復活することが新しい生産システムに求められるのではなからうか。

工場に人間がいるのといないのではどう違うのであろうか。大別して次の3機能に差が出そうである。

- (1) 人の持つ意志決定機能
- (2) 人間相互のコミュニケーション機能
- (3) モノと情報を持って動く機能

これらは独立でなく組み合わせて機能するから更に効果を期待することが出来る。(1)は特に職長等の権限で強化された機能である。生産スケジュールを決定する際に、個々の作業者の状況を把握して負荷決定する場合等には、計算機にデータ化出来ない条件等が必要となるが、これを処理していたのがこの機能といえる。

(2)も、作業でヘルプを求めたり、協力を要請する際に強力で働く機能で、これと個人の状況判断能力の組み合わせで一言で処理出来た作業支援が多く見られたのである。

(3)は、現在のAGVやロボットでは不十分な機能であり、治工具や機器、設備といったハードウェアを持って動きまわることにより、設備構成を動的に変化させることが可能であった。

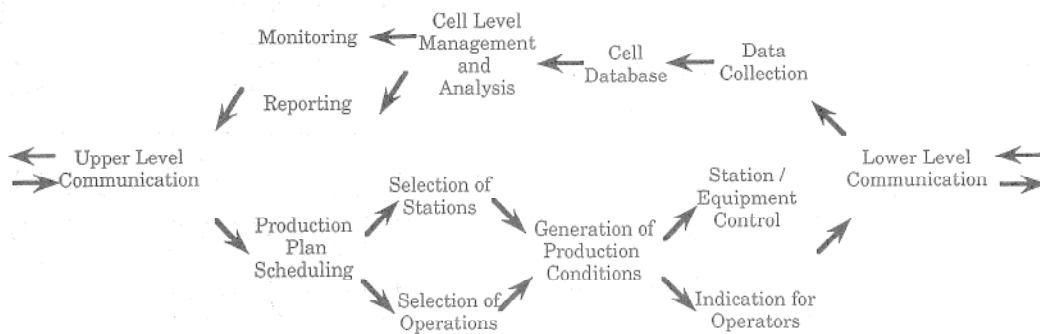
これらのうち、(1)と(2)の機能を計算機支援で実現するために知能化と自律分散とがキーワードとして出現してきたとだとも考えられる。とは言っても、(1)の機能における分散性は、例えば職長クラスの独立は存在しても、それ以下のオペレータ・レベルでは認められない場合もあるといった生産に固有な性質を有するものである。自動化工場においては、生産セルと呼

ばれる機械群が独立しているが、個々の機械はセル内で階層化していていわばセルの集中管理下にあり、セル同士がコミュニケーションを通じて協調動作をしているというイメージが強い。

さて、こうした新しい生産システム実現の方法論であるが、出発点が昔の人が数多く働いていた工場であることから、この機能を継承するのか否かの議論から始めなければならない。もし、答がイエスであれば、次の段階として人の役割を明確化して現在の生産セル機能を定義し、協調動作させるための枠組を提案することが出来る。ここではイエスの立場をとり、セルの機能を求めることとする。

セルが職長レベルだとすると、各セルは自分の機能・性能を知っていなければならない。生産要求が生じると、セル間のコミュニケーションにより各セルが行うべき仕事を決定してゆく。ここで自律性が求められることになる。各セルは行うべき仕事をセル内の機械群に割り当てて遂行してゆくので、ここで分散的な処理が実行されるのだが、図1にセルレベル以下での処理機能例を示す。上位レベルのコミュニケーションでは自律性が要求され、下位レベルのコミュニケーションでは集中管理による階層性が強調されることになる。

システム・アーキテクチャを考える際には、セル間のコミュニケーションが重要であるが、コミュニケーションを通じて協調作業を進める方法は、人間社会の営みに類似している。生産システムで自律分散と言った場合には、器官や細胞レベルの話ではなく、個体以上の社会レベルの動作を手本としていると考えた方が良い。



(Cell function in autonomous production systems)

図1 セル・コントローラの機能

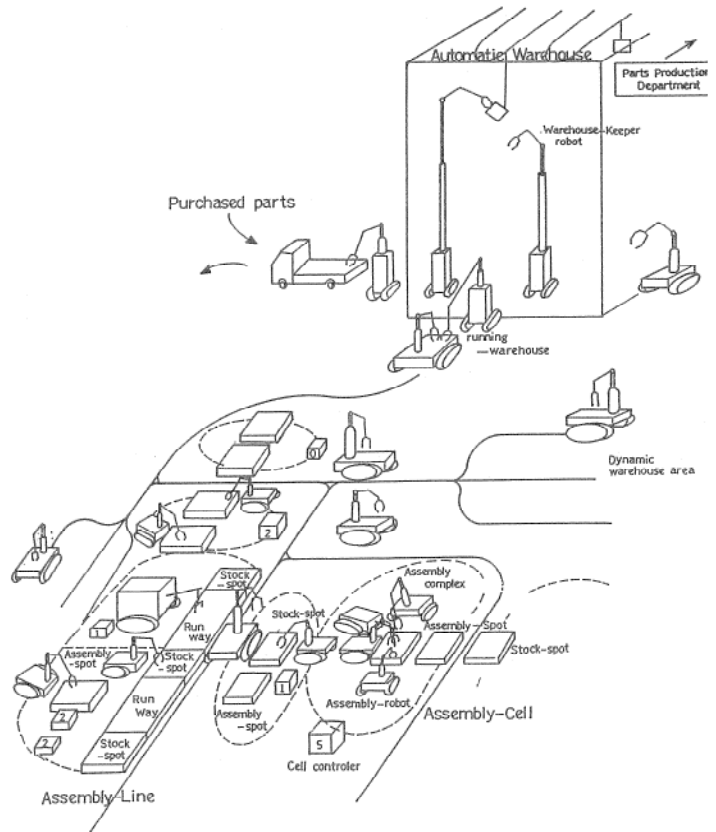
以上を考察すると、新しい生産システムを実現するための方法は、生産に関する判断能力を有する昔の工場での職長クラスの間が集合して工場運用を行う場合の、運用方法を整理し、これを自動化工場で実現出来るシステム・アーキテクチャと生産ソフトウェアを開発するのが効率良い方法であると言う事になる。

こうした方法に対しては議論が分かれよう。はじめに人間ありき、では自動化の方法論として不充分であろうし、計算機と人間とでは得意とする分野が異なるので、人の機能を模倣していたのでは所詮人に負けてしまうため、自動化より人間化に戻ってしまう事にもなりかねない。本来は、こうした生産システム実現の方法論についても議論する場が望まれる。しかし現実には絵に画いた餅を比べても意味がないので、少なくとも数多くの具体的なシステム・アーキテクチャの提案が出されることを期待したい。

4. 新しい生産システムのイメージ例

新しい生産システムでは動的構成で多機能化を目指す必要もあると述べたが、機械製品の組立システムでイメージしたものを図2に示す⁷⁾。簡単のため、組立ロボットが走りまわることによって動的構成をとり、複雑な組立でロボットが多数必要なセルに集中配置するとともに、ボトルネックとなる工程の解消のためこの工程を行うロボット群を複数にするといった生産に応じたセル構成を行うことが可能となる。

この工場を管理・制御するシステムの動作を考える。各セルは、多数のロボットから成る多機能・高性能なリッチ・セルと、貧弱なプア・セルに分かれる。同様に搬送機器もリッチ・プアと分化する。それらが混在する工場では、同一作業が可能セルが(数・種類共)複数存在し、夫々で作業の方法が異なることもある。そこで、製品組立を行おうとすると、どのセルで可能かを問合わせ、その中で比較してセル割当



(Figure. Concept of Flexible Assembly System)

図2 フレキシブル組立システム概念図

(Dynamic Structured Factory with use of moving ability of factory facilities)

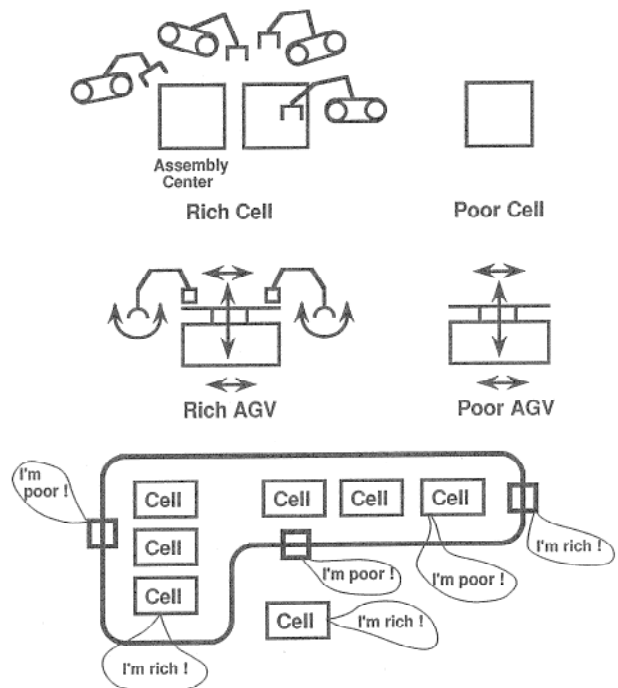
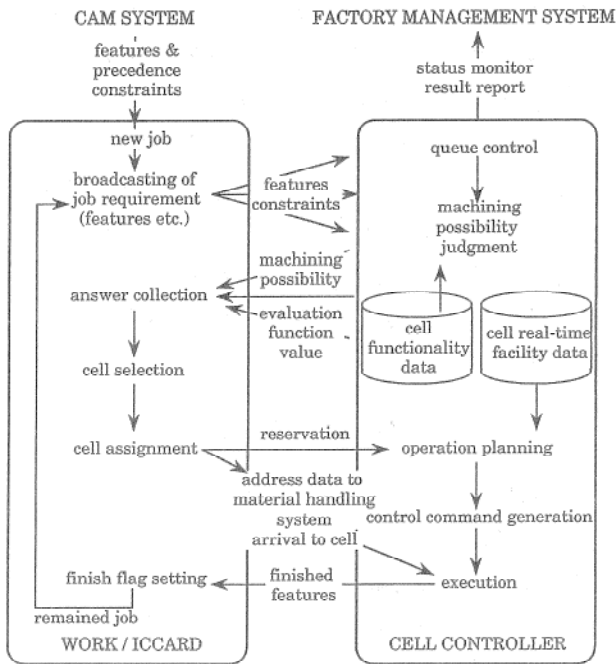


図3 リッチ・セルとプア・セル



(Control architecture and data flow)

図4 データ・フローとコントロール・アーキテクチャ

てを決定しなければならない。問合せに対してセルが行う処理は、従来CAD/CAMシステムで行ってきた工程・作業設計の一部になるであろうから、正に分散処理していることになる。各セルは自らの構成に合った知的処理を要求されることにもなる⁸⁾。

セル割当ての方法にも集中管理と分散管理とが考えられる。分散とは例えば作業可能なセルがみつければ自動的に割当てるといったスケジューリング・レスな方式がこれに相当し、集中では可能セルから何らかの方法で選択して割当てする方法である。また集中方式をとった場合に、意志決定主体を何にするかについても多くの方法が考えられる。製品組立ではセルでの作業時間が一般に短いため、集中管理方式では効率が悪いが、加工時間の長いセルを利用する加工システムでは集中管理が好ましい結果となることも考えられる。図4に、加工システムにおいて意志決定を加工物に取付けられたICカードやフィルム・コンピュータが行うとした場合のセルとの対話の流れを示す。

5. 新しい生産システムのための開発課題

これ迄に述べてきた新しい生産システムを実

現するには、知能化情報処理と自律分散機能の開発が不可欠である。夫々については多くの研究がなされており、ここで改めて述べる必要はないであろう。そこで、焦点を絞ってその基盤としてのネットワーク・システムに対する開発課題を取り挙げる。といってもネットワーク自体ではなく、これに接続する生産ソフトウェアのインタフェースに関する課題である。

生産用ネットワークにはセルをはじめとして多くのコントローラや計算機が接続される。これが相互にコミュニケーションしてはじめて協調動作が可能となる。コミュニケーション・データが複雑化し、セルでの処理が多様化すると、ネットワーク・システムとデータベース・システムは従来の受動的機能より進んだ生産システムの中核として積極的に機能することが求められるようになる。すなわち、アクティブ・データベース等の、コミュニケーション機能とデータベース機能の統合化である。ソフトウェア開発の基盤技術としても位置している動的システムであるが、これを生産システムで用いるためには、マルチ・プロセッサ間のマルチ・タスクに耐えられる時間管理技術を実現することが課題として残されている。

ネットワークに接続するというと、直ちにインタフェースをはじめとして応用プログラム等の標準化が課題となるが、これについては一考を要するかも知れない。標準化により相互接続をはかるのも一手法ではあるが、人間のコミュニケーションには標準が不必要であった事を考えると、別の方法も提案出来るであろう。すなわち、個別のアプリケーション毎に異なるソフトウェア・インタフェースをどのように差し込んでも接続出来る糊技術である。例え標準化が必要でもそれを最低限に留めることで個々のアプリケーションの実行効率を上げ、生産性と保守性を向上させられると考えられる。こうした標準化に頼らない技術は、日本人の得意とする分野かも知れない。とすれば、一般に欧米に対して若干遅れている日本のソフトウェア技術、特に生産ソフトウェアにおいて基盤を新しく確立することが可能かも知れない。

図5は、こうしたソフトウェア・コミュニケー

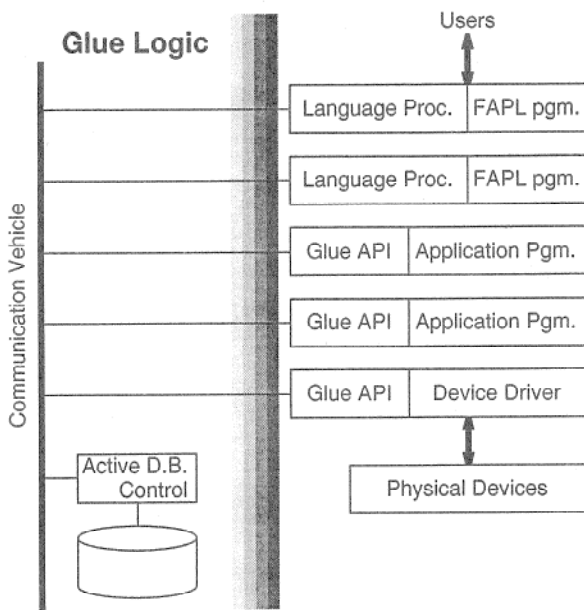


図5 コミュニケーション・システム

コミュニケーション・システムの概念図を示しているが、糊機能をグルー・ロジックと表わしている中にこそ新しい開発課題が含まれているのである。ここでは、従来の応用プログラムを結合する最低限度の標準部分をグルー・アプリケーション・インターフェースとしているが、理想的にはこれが無いようにしたのである。図中で上部の部分では生産応用プログラム (FAPL pgm.) 自体に対して標準化インタフェース (Language Proc.) が占める割合が多く描かれているが、一般に標準化を進めると、こうした結果になってしまい、本体よりインタフェースの部分が重くなり結局使われなくなってしまうからである。

6. おわりに

新しい生産システムの在り方と開発方法について、思うままに書かれて頂いた。はじめに人間ありき、の考え方の議論の必要性和、標準化にとらわれないソフトウェア基盤技術開発の必要性を訴えたかったのである。生産応用のプログラム開発では、生産設備の例外処理や異常処理、更に相互接続におけるリアルタイム性の保証が特有の問題として、ソフトウェア生産性と保守性を低下させる原因となっている。これを

解決した上で知能化をはかろうとするとパラダイム・シフトまで考慮した大改革が必要となるであろう。インダストリ・コースのソフトウェアでは、日本製品は息の短い (個別応用中心) ソフトウェアが多いと言われる。その生産性を向上し、保守性を良くしてライフサイクルを長期化するとともに、息の長い基盤ソフトウェアを開発する方法論を議論する場を期待したいものである。

参考文献

- 1) 岩田一明他, 生産システム学, コロナ社, (1982).
- 2) 佐田登志夫編, 生産システム, 日刊工業新聞社, (1973).
- 3) 人見勝人, 生産システム工学, 共立出版, (1975).
- 4) Okino, N., A Prototyping of Bionic Manufacturing System, Proc. of Int. Conference on Object-Oriented Manufacturing Systems. pp.297-302, 1992.
- 5) Ueda, K., An Approach to Bionic Manufacturing Systems Based on DNA-Type Information, Proc. of Int. Conference on Object-Oriented Manufacturing Systems. pp.305-308, 1992.
- 6) Ranky, P.G., Intelligent Planning and Dynamic Scheduling of Flexible Manufacturing Cells and Systems, Proc. of the Japan-USA Symposium on Flexible Automation, pp.415-422, 1992.
- 7) Arai, E. et al., Conceptual Design of Flexible Assembly Systems, Proc. of the USA-Japan Symposium on Flexible Automation, pp.731-735, 1988.
- 8) Arai, E. et al., Intelligent Assembly System, in Distributed Production Environment, Information Infrastructure Systems for Manufacturing, pp.281-293, North-Holland, 1993.