

特別寄稿 生産システムのイノベーション*

Manufacturing System Innovation

福田好朗

Yoshiro FUKUDA

1. はじめに

生産システムを含む生産技術は、戦後の日本の製造業を支えてきた。この生産システムの発展を見てみると15年を一代として発展してきている。生産システムの黎明期は、1945年からの15年間であり、戦後の混乱から多量生産の基盤を作り上げるのに貢献した世代である。これは、多量生産技術の導入で、安価な製品を多量に輸出することに貢献してきた。その時には、IE (Industrial Engineering) を中心とした作業の効率化、標準化が行われた。現在の生産システムの考え方は存在していなかったが、その基盤を確立する時期であった。

そして、1960年からの第2世代の15年間では、品質の差別化を目的とした生産技術展開がなされた。作業の標準化と作業改善を取り入れた品質管理を徹底して品質の安定と信頼性の競争が行われた。この時代では、QC (Quality Control) を中心とした生産技術が提案され、導入されることになる。そして、高品質、高信頼性の製品イメージを定着させることになる。

戦後の30年間の近代的な技術の導入と基盤の整備が終了した後、第3世代が訪れることになる。それが、1975年からの15年間であり、それは、製造業の高度成長期でもある。この世代では、NC技術の利用、工業用ロボットの導入など自動化技術を基にした高自動化、無人化技術の開発が盛んになるとともに、複数の製品を効率よく生産するための高柔軟自動化生産 (Flexible Manufacturing System) などが提唱されてきた。この世代では、生産をシステムと捉える考え方が一般に普及して、生産システム技術という言葉が定着してきている。そして、この世代の最後の部分でCIM (Computer Integrated Manufacturing) に代表されるような情報化システムの構築が考えられるようになってきている。

そして、1990年からの第4世代の生産システムは、これまでの世代の生産システムと異なり、オープン化、グローバル化など工場の中のシステムだけでなく、競争環境の中での生産システムを考える時代になってきている。そして、第5世代の生産システムを見据える時期になってきている。

ここでは、生産システムのこれまでの軌跡を振り返りながら、これからの生産システムを展望してみる。

2. 第1世代の生産システム： 多量生産の基盤の整備

第1世代は、戦後の荒廃した製造環境を整備して量産システムを確立する基盤を整備する時代であった。世界中の生産が軍需中心の生産形態であったものが、民需中心の生産形態に変わるための時代である。基本的には、安価な製品を多量に市場に提供することが望まれ、それが、市場からの要求でもあった。市場が要求する量を、市場が求める価格で提供するためには、生産コストを削減して多量に生産するのが、製造業の使命であった。このために、Taylerが提案した科学的時間管理法¹⁾、Ford自動車が提案したコンベアシステム作業分割と標準化を基本にしたFord生産システムを普及させることであった。作業の標準化、標準時間の測定、合理的な作業分割の方法が議論され、Industrial Engineering (IE) が定着した。また、現場の管理にOperation Research (OR) 技法を応用することが提案された。1946年には、Ford社がAutomationという言葉を用いて流れ作業と自動化機械を組み合わせた新しい概念の自動化設備を提案したことにより、その言葉が爆発的に普及することになり、そしてこの世代を代表す言葉になった²⁾。

1950年から1960年にかけて、時間管理を中心としたIE技法のアメリカからの導入が行われ、重工業、精密機器を中心に量産システムが確立された。コンベアによる流れ生産方式、標準部品を一定の誤差内で量産するための社内標準化の導入がその主たる技術であった。IEの概念と言葉が一般的に認知されたこと、そしてIEに基づく作業時間の確立、作業標準の確立、分業システムの導入が後の生産システムの基盤を作ることになっている。

同時に、多量に生産することによって、製品コストに占める固定費の比率が小さくなり、コストダウンにつながることで、設備稼働率を高くすることによって生

*2004年2月12日 原稿受理

産性が高くなることが認識された。この考え方は、現在のシステムにおいても基本として受け継がれている。

3. 第2世代の生産システム： 品質システムの確立と自動化

第2世代は、ある程度社会が安定してきて、1960年に発表された所得倍増計画に始まる高度成長期である。市場は、購買意欲が高く、家庭電機製品を中心に新製品を吸収していく時代である。市場が産業向けから家庭での利用を意識した製品群に変革をする時期である。家庭での利用を意識して競争力を強めるために、製品の価格を下げて高級製品を大衆製品の価格に引き下げていくこと、そして、故障などが少なくなる高信頼性を追求することが必要となってきた。このために、生産システムの評価項目は、第1世代の生産量の確保から生産コストの削減と品質の安定に向かっていくことになる。生産コストの削減では、無駄な作業の排除、設備や作業者の稼働率の向上、自動化機器の導入などが主要な項目となった。作業の分割が進み、作業が細分化されることによる無駄な作業の発生が起こってくる。これらの無駄な作業をライン全体やショップ全体で吸収する必要が生じる。そのために、ラインバランシング、スケジューリングなどの問題が実際に取り扱われた時代である。また、ライン内の作業時間分布とバッファの関係、ジョブショップ内の搬送の問題、設備の段取り時間の削減など生産システムの問題がライン内に存在しているとの認識が出てきた。ラインの全体をコントロールして無駄な作業を無くすこと、ライン全体の効率を上げることが生産システムの中心課題となってきた。この時期に、生産管理の基盤が確立され、カンバン方式の提案などが行なわれ、トヨタ生産方式の基本と現在の生産システムの常識が確立された³⁾。

この世代の生産システムでは、機械制御と電気制御を組み合わせる製造設備と運搬設備からラインを構成するのがほとんどであり、単一品種の多量生産ラインを構成していた。その典型的な例が、自動車の部品を生産するラインのトランスファラインである。材料を投入すると一定のサイクルタイムで機械加工あるいはプレス加工を行うものであり、部品形状とサイクルタイムによって工程分割を行うシステムである。加工法がそれぞれの企業によって異なるので、ステーションごとの機械は、専用機にならざるを得なく、工程設計

と設備設計が同時に行われるようになった。

量産の生産システムが実用化されると製品コストに占める設備費用の比率が高くなっていくので、稼働率の管理が重要になってくると同時に、市場の成熟に従って高品質、高信頼性の要求が高まっていく。そのため、生産している部品、製品の不良率の低減だけでなく、一定の品質基準を保つ品質管理の要求が強まっていく。そこで、この世代の生産システムでは、統計的な品質管理が導入されるとともに、工程の中で品質を安定させる活動が導入されてくる。現在では、一般化したQC (Quality Circle) 活動が導入され、作業の改善を含む「品質の作り込み」の概念が生まれ、検査工程の充実のみでなく、加工・組立における作業の標準化と改善が行われるようになった。出来上がった製品や部品の標準化から作業工程の標準化へと管理項目が変化したのがこの世代の特徴である。第2世代が品質と低コストによる国際競争力で世界の製造業をリードする基盤を作った技術を考案した時代である。特に、アメリカ発の管理技術を日本流に解釈して、生産システムとして定着させた時期である。

4. 第3世代の生産システム： 多品種生産システムと情報化システム

1975年から1990年までの第3世代は、日本の製造業が一番元気な時代で、第2世代で考案された技術と生産システムを花咲かせた時代である。高度成長によって作業者の人件費の高騰と作業者の不足がおきてきたこと、さまざまな製品の市場が飽和状態になってきて、ユーザの好みが多様化してきて、それに合わせる必要が重要になってきている。このような状況に合わせる生産システムが第3世代の生産システムである。そのために、多品種が生産することができる多品種自動化システム、コンピュータによる情報処理を前提とした多品種生産システムがこの世代の特徴である⁴⁾。

生産システムの全体的な概念は、押し込み型 (Push) から引っ張り型 (Pull) に変わったのがこの時期である。Taylerが提案し、Ford社が実用化してきた量産システムの考え方が、トヨタ自動車が提案した生産システムに変わったことである。押し込み型の生産方式は、生産量を事前に決定してその量を最小コストで生産するために経済的なロットを算出して生産を行う方法で、生産設備、生産能力を優先的に考慮して生産形態、受注方式、管理方法を考えるものであるが、引っ張り型の生産方式は、需要が発生した製品を補充

していくことを優先して、生産形態、受注方式、管理方式を決定する方法であり、生産設備中心できた生産管理の根本を覆させる考え方である⁵⁾

このような引っ張り型の生産の場合、設備稼働率と仕掛かり在庫に矛盾が生じてくること、段取り時間の増大による生産性の低下などが指摘されたが、現場の改善活動の推進などで全体の効率化に対する考え方を確立した。このような生産を可能としている背景には、同一設備で複数の種類の生産を可能とする設備、ものと情報の一体化などが重要な役割を果たしてきている。

また、自動組立ラインを作成するために、組立性を設計段階で評価する方法が開発されるなど設計と生産の評価を同時に行うコンカレントエンジニアリングの考え方もこの世代の特徴である。

このように柔軟な生産を効率よく行うためには、これらの生産システムの稼働を支援する情報システムが必要となってくる。情報システムとして、1) 受注から生産に至る、生産計画、部品調達、在庫管理の情報システムを構築すること、2) 生産されている状況を把握して生産指示を的確に行うこと、段取り替え情報を適時に送るなどがそれである⁶⁾。これに対する答えとして、CIM (Computer Integrated Manufacturing) システムが提案された。受発注業務と生産計画、生産管理、進捗管理をホストコンピュータの統合データベースで一元管理して、生産情報を取り扱うという考え方である。1980年代の後半から、日本精工、花王、日本IBM、富士通、NECなど多くの企業がCIMのシステムの構築を発表してきている⁷⁾。

また、この世代の生産システムは、日本において集中的に生産して、全世界に製品を供給するという考え方から、世界の各地で生産を行っていくグローバル生産に変わった時期でもある。実際には、工場が海外に建設され、日本的な管理方法が海外に普及して行った時期である。日本的な管理方法が、アメリカ、ヨーロッパで研究され、それぞれの企業の中で消化された時期でもある⁸⁾。

この世代のもう一つの特徴は、量産システムにおける作業員の役割を問われた時代でもある。それは、1974年のVolvo社が組立ラインのコンベアシステムを全廃して、固定サイクルのコンベアからフリーフローコンベアを採用したことから始まっている。自動化によって作業員の重負荷の作業や危険作業をラインの中から排除していくことや搬送台車の導入や情報処理支

援システムで自由なサイクルで組立を行う方法などが実用化された。また、小グループで組立を行うセル組立方式や組立部品を一つのトレーに準備して任意のサイクルタイムで組み立てる配膳方式などさまざまな方法が提案された時期でもある。

第3世代は、日本の高度成長と円高に支えられ、高度な自動化と情報化が推進され、生産システムに関するさまざまな日本発のアイデアが発信された時期であるとともに、流れ作業を主体とした生産システムの効率優先から、作業員のモチベーションや仕掛かり在庫、受注処理にかかる時間、品質など広範囲なシステム全体の最適性を求める生産システムに変わる時期であり、第1世代の点の生産システム、第2世代の線の生産システム、第3世代の面の生産システムと区別されている。

5. 第4世代の生産システム： 変種変量生産システムとグローバル生産システム

1990年から始まるこの時代は、工業製品が市場に対して供給過多になってきて、それぞれの製品を長期に生産することができなくなったこと、また、日本では、グローバル生産の重要性が認識され、世界的な基準の共有を意識した生産システムの構築が議論され、同時に、世界の中での日本の生産を意識した時期である。

製品が設計されて、市場に出るまでのリードタイムが極端に短くなることと成熟した市場に製品を投入することから一つの製品の生産量が第3世代の生産システムに比べて少なくなっている。試作や信頼性確認に対するコストを削減していかなければならなくこと、生産設備の投資回収の期間が短くなる。

また、一個所で集中して効率的に生産するだけでなく、全世界に生産拠点を展開して現地生産するとともに、新しい技術や新しいコンセプトの部品を効率的に調達して生産するグローバル生産が望まれてきた。

変種変量生産では、生産数量に迅速に対応するために、セル生産システムが用いられることが多くなった。セル生産システムは、少人数あるいは一人で多くの作業を行って、製品を完成させ、生産量の変動には、セル数で対応している。このシステムでは、個人の作業員の習熟度によって、品質や作業速度に影響が出るので、製品の作り方や設備や道具、治具などの設計に配慮をする必要があり、生産、組立を意識した設計など生産システムの上流との協業が重要になってきてい

る。また、試作や生産の立ち上げなどのリードタイムの管理も重要になってきた。

グローバル生産では、作業者の人件費と自動化設備投資のトレードオフ、労働生産性と設備稼働率のトレードオフ、作業者と保全技術など従来の日本のみで生産していた価値観だけでなく、グローバルな環境の中のローカルな条件を考慮して生産システムを実現することが求められている。

このような状況においても、当然、生産コスト、品質、柔軟性に関する競争力を維持することは、従来と同等に求められてくる。このような要求を実現して、競争力を維持する生産システムが第4世代の生産システムであるが、従来の第3世代の生産と異なり、面の管理を中心とした生産システムから、周辺の条件を調和させるトレードオフを用いた生産システム、さまざまなりードタイムを短縮することを意識した生産システムを志向したものに変わりつつある。つまり、管理対象を点、線、面に拡大していくものではなく、質的な変換が始まった世代と考えられる。

6. 第5世代の生産システムに向けて

2005年からの第5世代の生産システムは、第4世代の生産システムを継続しながらも、異なるフェーズに移行することになる。当然、従来のように一個所に集中した大規模工場を統一的な考え方で運用するのではなく、適切な規模で分散された工場や機能ごとにそれに適した所で、適した時間に、適した仕様で運用することになることが考えられる。また、分散された機能やシステムは、必要に応じて組み合わせを変えることで生産量的な規模の減少や拡大に対応することができるし、部分的な更新をすることで新しい製品や技術に対応していくことになるであろう。すべての機能を一斉に更新するのではなく、部分的に更新しながら、最適性を守っていくことになる。

また、これからの生産システムは、地球環境や製造をする国や地域の文化や環境など多様な制約条件を考慮し、その中で、最適な、快適な生産システムを構築していかなくてはならなくなってくる。当然、製品にかかわる知識や生産技術にかかわる知識だけでなく、多様な知識が求められてくる。また、生産性や採算性だけでなく、工場内の快適性や地域との共棲性など、定量的、定性的な多様な制約条件を満たす生産システムを構築していく必要がでてくる。このことは、工場の設備や知識あるいは情報システムを部分的に構築し

ながら徐々に新しい環境に対応することができるようにするだけでなく、長期的な展望を明確にして、生産システムを設計していく、洞察力も求められることになる。

部分的な最適性を求めるのではなく、製品のライフサイクル全体、複数の製品のライフサイクルを含めた工場全体のライフサイクルの全体的な最適性を考えていかななくてはならないであろう。

従来の現場主体の改善活動も重要であるが、工場あるいは生産システム全体を考え、制約条件の矛盾点を解決できる生産システムのイノベーションを起こせるような技術が求められてくる。

7. まとめ

第1世代から第4世代までの生産システムを概観してきた。世代が代わる毎に生産システムの中でその価値観が変わってきていることが分かる。そして、第3世代までは、生産技術や自動化技術、情報技術が大きな役割を果たしてきたこともみてとれる。しかしながら、第4世代からは、従来の多量にものをつくり、無理と無駄をなくすことによるコスト削減だけでなく、周囲の環境や条件を考慮してそのバランスよい解をつくり、付加価値を高める生産システムに変質してきていることが分かる。そのときには、必ずしも新しい技術が新しいシステムを生み出していないことにも気がつく。当然、第5世代の生産システムは、第4世代の延長であるので、より複雑な制約条件をバランスする管理技術、考え方が重要な役割を果たすようになってくるであろう。それが第5世代の生産システムのイノベーションを生み出すのではないだろうか。

<参考文献>

- 1) F. W. Taylor, The Principles of Scientific Management, Harper & Brothers (1911)
- 2) 日本経営工学会編, 経営工学便覧, 丸善 (1975)
- 3) 大野耐一, トヨタ生産方式, ダイヤモンド社 (1978)
- 4) 吉谷龍一, コンピュータによる生産管理, 日刊工業新聞社 (1970)
- 5) 藤本隆宏, 生産マネジメント入門, 日本経済新聞社 (2001)
- 6) 河合峰雄, デンソーの生産システム, 日本能率

協会企業特別研究（1981年）

7) 国際ロボットFA技術センター，日本のFA/CIM
事例集，エンジニアリングジャーナル社（1994）

8) MIT産業生産性調査委員会，Made in America，
草思社（1990）



<著 者>



福田 好朗
(ふくだ よしろう)

法政大学大学院イノベーション・マネ
ジメント研究科 工学部経営工学科
教授

1971年 中央大学理工学部卒業

1971年 (財) 機械振興協会入職

1989年 工学博士 (神戸大学)

1996年 法政大学工学部教授

2004年 法政大学大学院イノベーション・マネジメン
ト研究科教授

2004年 チューリッヒ工科大学 (ETH) MBA-SCMコ
ース客員教授

主な研究分野

生産システム設計，シミュレーション・システム，設
備管理，工程設計

主な著書

生産管理の事典 朝倉書店（1999），CIMのためのオ
ープンアーキテクチャ 日刊工業新聞社（1993）など

受賞

1991年 (財) 高度自動化財団論文賞

1999年 (財) 製造科学技術センターIMS論文賞

1999年 (財) 製造科学技術センターIMS成果賞

2001年 経済産業大臣表彰 (標準化貢献表彰)

2002年 日本機械学会生産システム部門功績賞

2002年 (財) 製造科学技術センターIMS成果賞