

セル生産システムの課題

——自律化と統合化の視点より——

しのぶ 信 夫 千佳子

I. はじめに

日本の生産システムの発展過程を見てみると、自律化と統合化の2つのベクトルを目指しているように思われる。

まず、自律化ベクトルでは、リーン生産システムが、現場に主体性を持たせた KAIZEN 活動により設備故障の低減や品質向上に大きく寄与した。CIM (computer integrated manufacturing: コンピュータ統合生産システム) は、顧客ニーズを個別的定量的にとらえ得る「環境認知」能力を向上させたことによって自律化を促進させた。

次に、統合化ベクトルでは、リーン生産システムが、フォード生産システムよりも多品種化を実現しながら、JIT (Just-In-Time) などで各工程の同期化を促進し、製造コストと品質不良を低減させた。CIM は、コンピュータを利用した情報ネットワークの活用で、情報共有を容易にし、製造内外の統合化を推し進めた。製販統合、サプライ・チェーン・マネジメント (supply chain management) なども出現してきたが、同じく統合化ベクトルを推し進めたと言えよう。

このように日本の生産システムの特徴は、自律化と統合化が相まって、生産システムの生産性と適応性を向上させてきたことである。適応性とは、生産システムの内外の不確定性に対応しながら自らの目的、構造や挙動を変革

することによって生産性を維持・改善していくマネジメント・コントロール能力であると考え¹⁾。具体的な適応性には、多品種、需要変動、スピードなどへの対応力があり、この適応性を通じて生産性を高める面があると考え、生産性とともに生産システムのもう一つの評価指標とした。

ところで、1990年代以降、電機・電子・通信機器、コンピュータ、制御機器などの製造企業を中心にセル生産システムが急速に導入された。しかし、これらの製造業で導入されたセル生産システムは、多種多様なものが存在し、各社各様の名称や形態を持つので、本稿では、セル生産システムの定義を踏まえた上で類型を提示し、生産性と適応性を高めるための自律化と統合化の視点からの課題は何かについて検討したい。さらに、今後の日本のモノづくりの質的高度化を可能にするポスト・リーン生産システムの構築に向けて、どのように課題を克服すべきかについて考察する。

II. セル生産システム

前章で述べたように、実際のセル生産システムは、各社各様で、多種多様な形態が存在する。そのため、セル生産システムの形態のみから定義することはきわめて困難なので、特性を中心に、次のように定義した。

(1) 定義

セルとは、「ある程度の自由度と自律能力を持って、ある一定範囲の工程系列を自己完結的に担当する生産主体としての作業者と生産設備の集合」であり、セル生産システムとは、「そのような複数のセルが連携しあって構成する生産システム」である²⁾。

(2) セル生産システムの自律化と統合化

このようなセル生産システムは、日本の生産システムの特徴である自律化

1) 信夫千佳子・森健一「セル生産システムの設計フレームワークー自律化と分散化の視点からー」『日本経営工学会論文誌』Vol.53, No.6, 2003, 492～493頁。

2) 信夫千佳子『ポスト・リーン生産システムの探究ー不確定性への企業適応ー』文真堂, 2003年, 104頁。

と統合化のベクトルから見れば、次のような原理を有している³⁾。

① 自己管理

自律化のベクトルから見てみると、セル生産システムは自己管理のレベルが高く、リーン生産システムよりも高次の自律化を可能とし、適応性を向上させている。自己管理とは、作業者が作業を実行するだけでなく計画や統制などの管理的業務も担当する「職務充実 (job enrichment)」の1つである。セル生産システムでは、与えられた作業だけでなく、生産ペースや作業方法などの管理的業務、さらには製品設計や組立ラインの設計、およびそれらのKAIZENまで担当する場合もあるので、自己管理と名付けて、セル生産システムの一つの原理とした。

② 自己完結

統合化のベクトルから見てみると、セル生産システムは、自己完結度が高く、リーン生産システムよりも高次の統合化を実現することによって生産性を向上させている。ここでいう自己完結とは、作業者が担当する業務を水平的に広げる「職務拡大 (job enlargement)」の1つである。従来、多能工が担当する作業は、脈絡のない複数の作業の組み合わせである場合が多く見受けられた。セル生産システムにおいては、作業者が複数の職務を担当することで職務の拡大が一層進んだだけでなく、意味が分かる単位で職務を担当することで、結果的に達成感を持ちやすい職務のあり方になっている。そのような方向を自己完結と呼んで一つの原理とした。

このようにセル生産システムは、セルというある程度の自己完結性を持ち自己管理を行う中間階層を持つ生産システムであり、この特性がそれ以前の生産システム、例えば「リーン生産システム (Lean Production System)」などとを分かち本質的な違いである。

3) 信夫千佳子「セル生産システムの進展要因－2000年代における日本企業の事例を中心に－」藤本雅彦編著『経営学の基本視座－河野昭三先生還暦記念論文集－』まほろば書房、2008年、298頁。

(3) セル生産システムの8つの事例

このような自己管理と自己完結の原理をもつセル生産システムであるが、実際のセル生産システムとしてはどのようなものが構築されているのであろうか。次に、8つの事例を紹介する⁴⁾。

① NEC 埼玉

同社では、1993年より「スパイダーライン」と名付けたセル生産システムを構築し、新しい機種種の携帯電話を次々に製造している。携帯電話業界では、消費者ニーズの多様化・スピード化、低価格化が急速に進んだために、生産者はこれらの消費動向に対応した生産体制を急速に求められてきた。同工場では、長いラインをセルに再編することで、生産リードタイムの短縮化を押し進め、設備の簡素化によるコストダウンにも取り組んだ。同時に、徹底的なムダ（動作・運搬・停滞）の排除や平準化生産などのリーン手法も積極的に取り入れている。これらの成果としては、新機種の上上げが2カ月から1週間へと短縮され、設備投資額が6億円から1,700万円へと削減されるなど、飛躍的な生産性の向上が見られた。

② ローランド・都田工場

電子楽器の業界では、音楽愛好家や音楽家という限られた消費者に向けた製品のために、利潤の獲得は先行企業が圧倒的に有利である。そこで、電子ピアノや電子オルガンを製造している同工場では、製品開発と市場投入の短期化を目指したセル生産システムを導入した。同時に、リーン手法であるかんぱん方式、および製造と販売の情報を統合したCIMを構築した。これらの成果としては、設備投資額はライン生産システムと比べて10分の1の約2,000万円へと格段のコストダウンを達成し、生産リードタイムは2時間から45分～1時間に短縮された。

③ ソニー・木更津

ゲーム機器であるプレイステーションを製造している同社では、セル生産

4) 信夫千佳子『ポスト・リーン生産システムの探究—不確定性への企業適応—』に掲載した事例の中から8事例を抜粋した。

システムを構築することで生産性と適応性を高めた。同工場のセル生産システムは、「屋台方式」と呼ばれる一人方式、レイアウトフリーのチーム方式、台車やコロコンレールを使用したチーム方式など、多様なセルが展開され、これらを総称して「ワーク・セル」と名づけられた。ライン生産システムの時には、在庫が過剰きみであったが、セル生産システムに再編してからは需要に合わせた生産ができるようになり、ヒット商品の販売を可能とする急激な増産にも追従できた。その成果としては、在庫が10日分から6.9日分へと削減され、生産リードタイムが9日から2.5日に短縮し、一人当たりの付加価値が140%に向上した。

④ オリンパス・伊那事業場

光学顕微鏡や手術用顕微鏡などを製造している同事業場では、自己完結度の高いセル生産システムを導入している。高級機種は一人方式を採用し、中級機種は分割方式のセルで加工と組立を行っている。最高級顕微鏡の一人方式では、約800点の部品を組み立てる。

従来のライン生産システムでは、後工程の作業者が、前工程の作業者の癖を調整するなどのムダな作業が生じていたが、一人方式ではそのようなムダはなくなった。最高級顕微鏡（AX）の一人ラインでは、生産リードタイムは15日から5日に短縮され、作業能率は30%向上した。工場全体としては、一人当たりの生産性は77%上昇した。

⑤ ダイハツ工業・本社第二工場

ダイハツ工業では、1990年代に1人乗りの軽自動車「ミゼットII」の組立に、2000年代にはオープン・スポーツ・カー「Copen」の組立に、手作り生産「Expert Center」と呼ぶセル生産システムを導入した⁵⁾。

いずれのセル生産システムにおいても、生産開始時にはどれだけ販売できるかわからないという需要予測の難しさによる設備投資リスクを避けるねらいがあった。しかし、導入後は、熟練技能の伝承という教育の場とともに、

5) 拙著の他に、「しなやかな工場が生き残る」日本経済新聞（夕刊）、2002年11月7日、第一面を参照した。

高品質を保つ点にも注力している。

⑥ オムロン・綾部事業所

同社では、制御機器やFA用センサーなどを製造しているが、同事業所では、1998年4月よりそれまでの分業を見直し、一つの小規模な生産組織で受注から出荷までの責任を持つ「ワークショップ・マネジメント」を導入した。それまでの改善活動が全体最適より部門最適になりがちで、部門連携のための調整・重複、余裕のムダが生じ、顧客満足や収益性などの総合的な改善に繋がらなかったからである。この取り組みにより、トータル在庫が43%削減、間接人員が32%削減、納期が最大4日から1日に短縮されるなどの成果を上げた。

⑦ KOA・匠の里

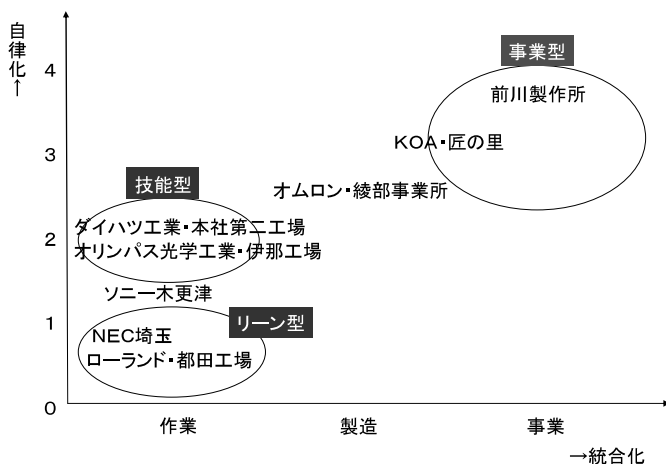
1個20銭の抵抗器を製造しているが、顧客の要望に合わせた製品をスピーディに納品できる体制を構築することによって、海外生産に負けない生産体制を築いている。「ワークショップ」と呼ばれた各セルでは、開発、営業、製造などを統合的に担当することにより、顧客ニーズと直結した製品づくりを実現している。「クルーザー」と呼ばれる技術者は、顧客を訪問して要望をヒヤリングし、社内で新製品を開発および試作をして受注に繋がれば、自らワークショップを構築して製造から販売までを担当する。このような取り組みで、11年間で生産リードタイムは約8分の1、棚卸資産は約7分の1、設備回転率（売上高／設備保有高）は約3倍となった。

⑧ 前川製作所

同社は、冷凍・冷却技術の中核に産業用冷凍機メーカーとして事業を拡大させてきた。個人が創意工夫に取り組むことによって生き甲斐を見いださうる組織形態を目指し、企業活動の最小組織単位であったグループを「独立法人」として独立させることによって、現場の社員が事業目的や目標の設定とともに意思決定を下すことができる高度な自律性を有する組織を確立した。この組織は、自己管理と自己完結が高いレベルのセルの集合体であり、事業分野に拡大したセル生産システムとして見なすことができるものである⁶⁾。

(4) セル生産システムの類型

これらの8つの事例は、広義にはすべてセル生産システムと言われ、狭義には取捨選択されてそう言われているが、いずれにしても各社の目的や目標はかなり異なり、様々な形態が存在している。このことがセル生産システムの議論を混乱させている側面があることは否めない。そこで、このようなセル生産システムを同列に議論するのではなく、自律化と統合化のレベルから、いくつかのタイプに分けて検討する。図1は、セル生産システムの8つの事例を整理して、「リーク型」、「技能型」、「事業型」の3つの類型として提示した。なお、生産システムの自律化と統合化、およびそれぞれの段階に関しては、次章で説明する。



出所) 信夫千佳子『ポスト・リーン生産システムの探究－不確定性への企業適応－』文真堂、2003年の事例から作図した。

図1 セル生産システムの類型

6) 拙著では、これをセル生産システムの自律化と統合化を進展させた「セル事業システム」と名付けた。

① リーン型 例：NEC 埼玉， ローランド・都田工場

ライン生産システムを並列化することにより，生産リードタイムの短縮や在庫の低減が進み，リーン度が高まった型である。同時に，設備の簡素化や内製化によるコストダウン，開発期間の短縮化に取り組んだ事例も多い。JIT などリーン生産システムの手法が多く用いられている。

リーン型のセル生産システムを指して，「セル生産システムは，トヨタ生産システム，あるいはリーン生産システムと変わらないのではないか」という疑問を持たれることが多い。確かに，トヨタと関連の深い外部のコンサルタントが指導している場合もあり，リーン生産システムの改善手法が多く用いられている。従来の生産システムを並行化したことにより，生産リードタイムの面では，リーン生産システムよりもリーン度を高めた生産システムと捉えられる。また，調達や納品と統合化した JIT が進み，設備のコストダウン，開発リードタイムの短縮も進んだ。これらのことより，リーン生産システムの要素技術を多く継承しながら，ライン生産システムからセル生産システムへと形態を変えて発展しつつある型と考えられる。

② 技能型 例：オリンパス・伊那事業場，ダイハツ工業・本社第二工場

作業の自己完結と自己管理のレベルが高い型である。一人で800個以上の部品を組み立てるような超多能工や個々の作業の技能レベルが高いものも多い。個別生産に対応しやすくするために流れ生産方式から定置方式に変更したことによるコンベア・ラインの撤廃や在庫の低減によるコストダウンも達成している場合が多い。

技能型のセル生産システムを指して，「セル生産システムは，フォード生産システム以前の職人スタイルへの回帰ではないか」という疑問を持たれることが多い。確かに，セルのメンバーだけを見てみると職人的である。しかし，生産システム全体とのネットワークが存在し，他のセルへの知識や技能の展開も可能であることが異なる。そのことにより職人スタイルでは困難であるとされた研究開発によるシステム進化もできる。

③ 事業型 例：KOA・匠の里，前川製作所

高次の自律化と統合化を事業のレベルにまで実現した型。KOA・匠の里のように、製造・営業・開発の統合化，さらには，前川製作所のように，セルにおいて主体的に事業化を展開する事例もある。

事業型のセル生産システムでは市場と密着した開発体制を取ることができるので，新製品の市場投入の成功率が高く，短納期や行き届いたアフターサービスにより，顧客満足度も高めることができる。また，職務の幅が広範囲なので，他の型よりも創造的な KAIZEN が可能である。

以上，セル生産システムの 8 事例から 3 つの型に分類したが，いずれにしても日本の生産システムの自律化と統合化のベクトルを発展させたと思われる。次節では，日本の生産システムの特徴である自律化と統合化について，その定義と段階仮説について述べる。

Ⅲ. 生産システムの自律化と統合化

1. 自律化

(1) 自律化の定義

自律化とは、「生産主体が，自ら行うマネジメント・コントロールの範囲を拡大すること」と定義する⁷⁾。生産主体とは，作業員や設備などの生産行為を担う存在を総称したものであり，マネジメント・コントロールとは，生産主体の目的，構造，挙動に関する設計および統制を行うこととする。フォード生産システムでは，生産管理者が作業方法やペースを決定し，生産主体である作業員はマネジメント・コントロール機能を担っていないので，自律化されていない。リーン生産システムでは，KAIZEN というある程度の自律性が作業員に与えられている。セル生産システムでは，KAIZEN のみならず，高次の自己管理も含まれるようになった。

7) 信夫千佳子・森健一，前掲稿，492頁。

(2) 自律化の段階仮説

表1は、生産主体における自律化の段階、自律化の対象、自律化の内容を表したものである。自律化の段階として、5つの段階仮説を提示した。第0段階は、生産管理者が作業者の職務をすべて指示するもので、生産主体は自律化されていない。第1段階は、生産主体に、自らの挙動、すなわちペースや作業方法の設計などを設定することが許されている。第2段階は、生産主体に、自らの構造、すなわち生産プロセスやレイアウトの設計などを設定することが許されているものである。第3段階は、生産主体に、生産のインプットとアウトプット、すなわち部材の調達や製品品目などを設定することが許されている。第4段階は、生産主体に、生産の目的や目標までも設定することが許されている。

セル生産システムの自律化は、表1の自律化の内容で示したように、事例によってその段階は異なる。

表1 自律化の段階仮説

段階	自律化の対象	自律化の内容
0	なし	フォード生産システムのように、作業者にはすべての作業手順が指示されている。
1	生産主体の挙動	作業者にペースや作業方法の設計が許されている。NEC埼玉のセル生産システムでは、作業者にペースが任されている。
2	生産主体の構造	ソニー・木更津のセル生産システムでは、作業者に生産プロセスやレイアウトまで含めた組立ラインの設計・改善が許されている。
3	生産のインプット・アウトプット	KOA・匠の里のセル生産システムでは、セルのメンバーが部材の調達先、顧客や製品品目を決定することができる。
4	生産の目的・目標	前川製作所では、独立法人のメンバーが品質・納期・コストなどを設定することができる。

出所)信夫千佳子・森健一「セル生産システムの設計フレームワークー自律化と分散化の視点からー」『日本経営工学会論文誌』Vol.53, No.6, 2003, 492頁を参照し、加筆した。

2. 統合化

(1) 統合化の定義

統合化とは、「共通目的のために、一つのシステムにおいて、サブ・システム間を連結することにより、よりよい全体システムを構築すること」である。フォード生産システムでは、工程を連結し、各工程が一律のスピードで統制される「同期化」を用いた流れ生産システムを実現した。リーン生産システムでは、多品種化を可能にしながら、JITなどで同期化を促進した。また、情報技術の進展によってCIMが製造活動に導入されるが、これは受注、開発、設計、製造、販売さらには経営情報など、生産にかかわるあらゆる機能が情報ネットワークで統合され「情報共有」されたものであった。

このように生産システムの統合化が進展するとともに、リーン度が高まり、生産性が向上してきたが、近年、需要変動への即応化、多品種化、製品の短命化、納期の短期化などが一層求められる中で、従来のリーン生産システムが、生産リードタイムや在庫などにおいて、必ずしもリーンではない面が出来てきたのである。それは市場ニーズの変化による適応性を強く求められた電機・電気産業、精密機械産業において顕著であった。ここに生産システムの一層の生産性や適応性の向上への模索が始まり、セル生産システムが出現したと思われる。セル生産システムは、いくつかのセルと呼ばれる生産主体に分けられたものであるので、分散システムと呼ばれることが多いが、直列型ではなく並列型の分散システムである。このようにセル生産システムは、生産システムの並列化と職務の拡大化が同時に進行する新たな統合化を推し進めたと考える。

(2) 統合化の段階仮説

表2は、生産システムの統合化の段階、統合化の対象、統合化の内容を表したものである。統合化の段階として4つの段階を提示した。第0段階では、工程別分業のように、全く統合化されていないものである。第1段階では、フォード生産システムに見られるように、作業レベルにおいて、各工程が連結されて一列で統合化されているものである。第2段階では、受注から出

荷までの製造全体が統合化されているものである。第3段階は、受注、開発、設計、製造、販売などの事業全体が統合化されているものである。

セル生産システムの統合化は、自律化と同様に、表2の統合化の内容に示したように、事例によってその段階は異なる。

表2 統合化の段階仮説

段階	統合化の対象	統合化の内容
0	なし	工程別分業のように各職場はランダムで、統合化されていない。
1	作業レベル	フォード生産システムでは、作業者の職務は分業化されて、各工程は機械的に同期化されている。
2	製造レベル	オムロン・綾部事業所のセル生産システムでは、受注から出荷までを一元管理できるセルで製造を行い、セル間は連携されている。
3	事業レベル	事業型のセル生産システムでは、セル内のメンバーは、受注、開発、設計、製造、販売などの職務を統合的に担当し、セル間には有機的に連携されている。

以上、日本の生産システムの自律化と統合化について事例を通してその段階仮説を述べてきた。次に、セル生産システムが高度なモノづくりを目指したポスト・リーン生産システムに発展するために、現在のセル生産システムの自律化と統合化の視点からの課題を検討する。

IV. セル生産システムの課題 —自律化と統合化の視点から—

1. 自律化の課題

自律化の課題としては、ペースの維持、品質のばらつき、教育の支援、正社員比率の低下と作業レベルの維持などを取り上げる。

① ペースの維持

マイペースで作業が行えることは作業者にはプレッシャーが少なく、自分の作業リズムに合わせた快適な作業環境を可能にするかもしれない。しかし、フォード生産システムのようにラインの速度に制約されないため、自己管理が苦手な作業者は、生産性を低下させる可能性がある。このことに関して、

かつてX社の生産管理者は、「当社では、月曜日にはハイペースで、火曜日から木曜まではペースが落ちて、金曜日にはまたハイペースになりがちであるが、本当に作業者は能力を発揮しているのか」という疑問を抱えていた。これは、セル生産システムの導入期、多くの生産管理者が抱えていた課題でもある。

その後、作業ペースの維持に関して、各社の取り組みが進み、標準時間の表示などのシステム化が積極的に行われつつある。愛知機械工業では、AGV（Automated Guided Vehicle：自動搬送台車）に付けたライトの色で標準作業時間からの遅れを知らせるようにシステム化した。森精機製作所では、作業者ごとに各作業の標準作業時間を設定し、常時実績との対比を行い、結果を検討・改善するシステムを導入した。これは作業者ペースに対する意識を高めるとともにスキルアップによる標準時間の短縮を目指したものである⁸⁾。

このようにシステム化が進むことは、個々の作業者が成り行き管理に陥ることを防ぎ、標準作業を明示した科学的管理によって生産性向上が期待できる一方で、「労働の人間化」でもたびたび指摘されてきたように機械的な管理によって再び人間性が阻害され、そのために自律性が低下するという課題を含んでいる。

反対に、自律性が高く作業ペースの速い作業者の場合の課題がないわけではない。セル生産システムの導入によって、各セルや各作業者の能力差が明らかになるため、多くの日本企業において依然多く採用されている年功序列型中心の賃金制度ではアンバランスが生じ、自律性が低下する可能性がある。それでは、能力主義に移行した方が、セル生産システムと合致するのだろうか。この場合は、初期の段階で作業レベルの低い作業者は、自分の可能性

8) 木村知史・吉田勝「特集：このままでは危ういセル生産」『日経ものづくり』2004年7月、55～56頁。森精機製作所のシステムは、ネットワークを介した監視システムであり、本来はユーザーが稼働状況を監視できるように工作機械に組み込んで使えるものであったもので、これを組立作業の管理に転用した。（同上稿、55～56頁。）

に早期に見切りをつけてしまい、自律性を低下させてしまうかもしれない。人材育成によって適応性を高める長所があることを考慮すれば、終身雇用制と一体となった年功序列制は、セル生産システムにおいては一定の存在意義があるように思われる。このようなことから、セル生産システムでの作業者の自律性を活かした管理を行うためには、終身雇用制や年功序列制と能力主義とのバランスを兼ね備えた賃金制度の再検討が課題となろう。

② 品質のばらつき

次に、作業者が自己管理することになれば、品質にばらつきが出るのではないかという課題が挙げられる。ペースと同様に、導入期に多くの生産管理者や研究者が抱いていた疑問でもあった。これに関しても現在は作業に対するポカヨケやIT支援が進みつつある。

エンジンやトランスミッションを製造している愛知機械工業では、AGVとポカヨケ装置を連動させ、部品箱から必要な部品を取り出していなかったり、必要な工具を使っていなかったり、締め付けが不足していたりすると、発進スイッチを入れてもAGVが動かない仕組みになっている。オムロンでは、作業指示とポカよけを組み合わせた「デジタルプロダクトライン」と呼ぶセル生産システムを構築している。未熟練作業者も含めて作業者が組み付け作業に専念できるように、作業者の両脇に部品棚を配置し、作業台の正面に作業内容を指示するディスプレイを置いている。このセル生産システムでは、取るべき部品が入った部品箱をランプで指示し、セーフティーセンサーで作業者が正しい部品を使ったかどうかもチェックし、作業指示システムにフィードバックしている。コマツ・小山工場では、2002年に油圧ポンプの組立に、2003年に油圧モーターに、セル生産システムを導入し、製品品質を保つために、パソコンを使ったリアルタイムの作業支援システムを構築した。作業台脇のディスプレイには、動画や静止画面で作業手順が示されるとともに、使うべき工具、締め付け箇所の数、標準作業時間や経過時間などが表示される。これがポカよけ装置と連動しており、締め付け状態をチェックする。締め付け手順の間違い、締め付け不足や締め付け忘れなどが確認でき、一度

で手順が分からなければ何度でも再生できる。同工場では現場の作業者の数は正社員と請負作業者がそれぞれ半数ずつを占める。このシステムにより、新人でも数日から1週間で目標作業時間を達成できるようになった。同システムで支援されたセル生産システムでは、品種が増えたにもかかわらず、従来のライン生産システムでは40分以上かかっていた機種種の油圧ポンプを30分弱で組み立てられるようになり、モーターのある機種も3割ほど時間を短縮できた⁹⁾。

このような作業指示、ポカよけ、フィードバックなどのシステム化は、不良品を作らないよう品質を維持するのみならず、ムダな作業や手直しの発生を省くため、生産性向上にも有効であろう。一方、機械化やシステム化が進むにつれて、作業者の品質向上に向けたKAIZEN活動への意識が薄れ、自律性を低下させてしまう恐れがある。

機械化やシステム化以外には、技能レベルの異なるセルを編成し、作業者をその技能レベルに合うセルに配置することが考えられる。品質のばらつきは、作業者の能力のばらつきに起因するからである。作業者の能力差は超多能工が担う技能型あるいは高い自己管理能力を求められる事業型のセル生産システムにおいて、より顕著に現れるであろう。レベルの異なるセルの編成では、製品品質の均一化への取り組みが必須となろう。

③ 教育支援

作業者への教育支援は、自律化のいかなる段階においても重要な課題となる。2000年代に入って、作業者の自律化に向けて効率的に教育を支援するシステムを導入し成果をあげる企業が出てきた。

松下電器産業ホームアプライアンス社は、エアコン事業部のセル生産システムに、教育ツールとして電子マニュアルシステム「easy driver」を導入した。これは、現場の作業指示のみならず、新入社員や海外研修生向けの事前教育および作業終了後の復習教材としても利用し始めている。熟練者の作

9) 同上稿, 58~61頁。

業プロセスをビデオで記録し、動画のマニュアルを作成し、新人作業員などが作業に入る前に見せることで、作業内容を事前に理解してもらい、作業員のスキルアップ、ひいてはセル生産システムの早期の安定化と品質向上をねらっている¹⁰⁾。

レンジフードとそのファンなどを製造している富士工業・白河工場は、1日120種類の製品を製造しているが、2004年からセル生産システムに取り組み、「デジタル屋台」に代表される支援システムと人間の判断にゆだねる部分とに役割分担したシステムを構築している。作業員からの発案で具体化したものに、パソコンで疑似体験できる教育ツールがある。これは、新たに担当する作業員の教育および、作業手順や作業改善についてディスカッションするために用いられている。また、セル生産システムの導入後に作られた作業分析ツールは改善の糸口を見つけるのに役立っている。これらの成果としては、工数が23%削減され、さらに作業員の品質意識や満足度の向上のみならず、改善に自主的に取り組む姿勢が見られるようになったことを挙げている¹¹⁾。この事例では、支援システムの有効活用で作業を効率化しミスを防止する一方で、作業員は判断を要する業務に傾注できることで自律化を促進していると言えよう。

自律化の段階が進んだセル生産システムの運営のためには、技術教育のみならずマネジメント教育も重要である。教育を推進するための教育制度も必要であろう。

NEC 埼玉では、ライン・カンパニー制度を導入し、各生産ラインをプロフィット・センターとみなし、日々損益管理しながら、各ラインが収益向上を目的に自主的な改善活動を展開している¹²⁾。このような自己管理は、従業員にとって日々マネジメントを身につける機会になっていると思われるので、

10) 同上稿，61頁。

11) 大澤裕司「作業員の判断を少なくしたラインで品質と生産性を向上させた富士工業・白河工場—デジタル技術を駆使し、セル生産支援システムを構築—」『工場管理』Vol.51, No.10, 2005年8月, 66～73頁。

12) 拙著, 127～128頁。

セル生産システムにも有効に活用できるであろう。

さらに、事業型のセル生産システムには、作業方法の設計、セルの設計のみならず、部材の調達、顧客や生産品目の選択、生産の目的・目標の設定など、高次の自己管理に必要な知識を獲得するための教育支援が課題となる。

④ 正社員比率の低下と作業者レベルの維持

日本企業においては、バブル経済期までは、終身雇用制の下で正社員を中心に教育・訓練をしながら作業者のレベルを一定に保ってきた。しかし、バブル経済期からその後の不況期にかけて、好況期と不況期の人員調整とコストダウンのために、派遣社員や非正規労働者を積極的に活用するようになっていった。労働者側も、バブル期には帰属意識の低下や労働生活の多様化からフリーター志向が出現し、その後の不況期には不満足就職などによる転職志向が強くなった。その結果、長期に同じ企業に留まる正社員の比率は低下し、製造業にとっては作業者のレベルを一定に保つことが難しくなってきた。

このような状況に対して、セル生産システムを導入している企業は、セルのレベルを分けたセル生産システムを構築、あるいはライン生産システムと併用することによって臨機応変に対応している。

キヤノン・阿見工場では、コピーとファクシミリの複合機の製造において、主に正社員で構成する少人数のセル、請負作業で構成する多数のセルに分けて、作業者の習熟度と需要の変動に合わせた生産を行っている。富士ゼロックスでは、モノクロ中型高速複合機の製造において、セル生産システムとライン生産システムの2つの生産体制を構築し、熟練者はセル生産システムに配置している¹³⁾。

このように作業者の習熟度に応じて、セルを多様化、あるいはライン生産システムと併用することは需要変動にも対応できるため、適応性向上に有効な手段であろう。しかし、熾烈なグローバル競争の中でコストダウンが求められるとはいえ、需要変動調整のための非正規労働者の活用は多くの課題を

13) 木村知史・吉田勝，同上稿，42～48頁。

含んでいる。単なる作業効率の向上だけでは、低賃金国とは競争できない。日本の製造業は、現場の自律性を生かした KAIZEN 活動によって品質向上がなされ、さらに高付加価値製品を生み出してきたからである。長期的にはこのような適応性の高さを通じて生産性を向上させるという好循環も生んできた。また、知識や技能の伝承の点からも正社員比率を高めることが再検討されるべきであろう。

2. 統合化の課題

セル生産システムは、並列化された分散システムであるので、まず並列化の課題について述べ、次にこのような分散システムの総合の課題について述べる。

(1) 並列化の課題

並列化の課題としては、設備コスト、物流コスト、専門性の低下、適応性の限界などを取り上げる。

① 設備コスト

従来の設備をセル毎に配置すれば、設備はセルの数だけ必要となり、設備コストは膨大なものとなる。また、ライン生産システムの設備をそのまま使用したのでは、スペース効率や作業効率の面からも不利である。そこでセル生産システムを導入した多くの企業では、作業者が使用しやすく保守も簡単な、シンプルで小型な設備が自社開発された。

この設備のシンプル化がセル生産システムの導入期の成果の分かれ目となり、設備投資コストをライン生産システムと比較して飛躍的に低減させる企業も現れた。前述したように、ローランド・都田工場では、セル生産システムへの設備投資額は、約2,000万円であり、従来のライン生産と比較すると10分の1であった。NEC 埼玉では、設備投資額が、6億円から1,700万円へと格段に低減した。このようにセル生産システムに向く設備の開発は、シンプル化・小型化が進み、生産性向上に寄与した。

ただし、自律化の課題で見てきたように、セル生産システムの自律化支援

のための設備開発が進む中で、徐々に設備投資額が膨らみ、バブル期に見られたような過度の設備投資に陥ることは避けなければならない。なぜなら、セル生産システムは、セルの並列的分散化によって、セルのスクラップ・アンド・ビルドを含めた再構成をやりやすくすることで、適応性を高めることが長所であるからである。このようなことから、設備のシンプル化による設備コストの低減は依然、重要課題であると考えられる。

② 物流コスト

物流コストの高い日本においては調達先や納品先との接近は重要な課題である。セル生産システムの導入によってセルごとの直接的な物流を構築するならば、物流が分散するのでそのコストダウンの問題は拡大する。

ただし、サプライチェーンに沿った統合化を進めることで物流コストを削減させる可能性もある。しかし、1990年代、セル生産システムは、機械産業の組立の分野を中心に普及したが、その川上の加工では普及せず、その乖離は拡大する一方であった。この課題を解決すべく、近年、組立メーカーの工場敷地内で部品の製造を行うサプライヤーが出現し、調達リードタイムを短縮させている。

ノートパソコンを製造している島根富士通では、セル生産システムの隣でサプライヤーに部品を製造してもらい、部品が完成次第、組立メーカーのセルに供給できる体制を取っている。また、加工（樹脂成形）と組立をそれぞれ別の工場で行っていた松下電器産業・松下ホームアプライアンス社エアコン事業部では、新たな工法の開発でスペースが削減できたため、同じ工場の敷地内で加工と組立を同期化し、1年間で在庫金額が半分以下になったという¹⁴⁾。

このようにセル生産システムでは、セルごとの調達先あるいは納品先との直接的連携により、納期の短縮と同時に物流コストの削減を実現できるようになった。かつては、リーン生産システムを採用する工場の近隣では、交通

14) 木村知史・吉田勝，前掲稿，50頁，43頁。

渋滞、排気ガスや騒音などが問題視されることが多く、「調達のJIT化は、工場の近隣の交通渋滞を招く」という批判がなされたが、加工と組立の接近は、環境負荷も低減させよう。

一方、自律性が低いセルにおいては、セルへの直接の調達やセルからの直接の納品に関しては、生産管理者がセルごとに何をいつどれだけ調達や納品をするのかを決定しなければならない。自律化が第3段階以上のセルにおいては、セル内の担当者が決定しなければならない。いずれにしても調達先や納品先の管理を支援するために、外部環境認知を容易にするCIMなどのシステム支援が課題となろう。

③ 専門性の低下

セル生産システムは、自己完結性が進めば進むほど、作業者は広範囲の職務を担当することになる。作業者は、作業内容を修得するのに時間がかかり、ミスが増える可能性が高まる。これに対して、セル生産システムの導入企業では、ポカヨケ装置や多能工育成の教育制度などの支援で対応している。

カーエアコンを製造するサンデンでは、1人で組立て自ら品質管理も行うセル生産システムを構築している。このような自己完結性の高いセル生産システムを導入したことによって、作業員1人あたりの組み付け部品点数が増加して、ヒューマンエラーによる工程内不良が急増した。これに対して、ポカヨケ導入と作業員レベルの向上が必要となった。ポカヨケ装置としては、「締め太郎」という装置を開発し、配管継手の3ヶ所とも締め付けが完了しないと生産対象が次工程へ流せない仕組みである。作業員レベルの向上に関しては、作業員自身が検査の能力を必要とするため、資格認定制度を導入した。認定された作業員だけが、1人方式のセル生産システムで作業と検査を担当できるようにした。また、多能工育成に向けて、個別の業務内容、教育内容および技能レベルを記載した職能調査票を作成し、多能工のスキルを定量的に評価できるように制度化した結果、計画的に作業員の多能工化を推進できるようになった。さらに、技能の伝承を目的としたインストラクター制度を発足させ、重要技能を担う現場従業員をインストラクターとして位置づ

け、次期インストラクターと多能工の育成を義務づけた。これらの取り組みにより、生産性が21%向上し、工程内不良もゼロを維持した。また、「自分1人で全工程を担当している」という充実感がもたらされたため、他の作業者との競争意識も芽生え、全員参加の改善活動が根づいたと報告されている¹⁵⁾。

このようなセル生産システムの自己完結性によって、より広い業務を統合した変化対応ができるというスコープ・メリットがある反面、専門の能力や技術が低下する恐れがある。これを避けるためには、専門の技術を開発し修得する機関を設置あるいは強化する必要があるだろう。

④ 適応性の限界

セル生産システムは、生産システムの並行化によって、セルごとに市場と接近させることができ、市場ニーズを取り込むには有利であると考えられる。セルの規模が小さくなればなるほど、生産リードタイムを短縮させることもできる。多様なセルを構築することによって、市場、技術、労働者の側面からの多様なニーズを吸収することができる。生産システムの改編・更新時も、ライン生産システムのように全体を停止する必要はなく、連続的漸進的に試行や更新できるので、ライン生産システムに比べて投資リスクを減少させることができる。このようなことからセル生産システムは高い適応性を有している。

しかしながら、セルの中だけで知識や経験を蓄積していくだけでは、知識の幅が狭くなり、変化対応に遅れる恐れがある。この限界から脱皮するためには、前項と同様に次節で述べるような全体との統合化を推し進めなければならない。

(2) 統合の課題

統合の課題としては、セル内の統合、セル間の統合、セルと全体との統合、

15) 遠藤正一「セル生産システムの構築とパフォーマンスの改善」『IEレビュー』日本インダストリアル・エンジニアリング、Vol.45, No.2, 2004年5月, 22~28頁。

加工工程と組立工程の統合などを取り上げる。

① セル内の統合

セル内の職務に関しては、職務の統合化が進めば進むほど、セル内の人数が少なくなり、多能工化が求められる。前節の専門性の低下で見てきたように、セル生産システムでは、このような作業者の多能工化をどのように支援し育成するかが課題となる。ITシステムの支援で複数の作業を容易にするか、教育支援で作業者の多能工化能力を高めるか、あるいはその両方の取り組みが必要である。ポカヨケや作業指示システム、パソコンの利用による教育などが増えている。キヤノンのマイスター制度のような多能工育成に向けた教育制度の取り組みも必要かもしれない。さらに、近年、正社員比率の低下と派遣社員の急増の中で、いかに多能工化に取り組むべきかという課題も出現してきた。

1997年に創業したチノンテックは、ガラス/プラスチックレンズ、プロジェクター、光学測定機器、医療用機器などを製造し、2001年4月からセル生産システムの構築を始めた。同工場では、日系人派遣社員が作業者の大半を占めていたため、セル生産システムの導入時には、慣れない多工程持ちによって、モラルが低下し、簡単な仕事を求めて作業者が辞めていった。また、生産性や品質責任を巡っての作業者間のトラブルが増え、作業指示の徹底が図れないなどの問題が続出した。そこで、日系人派遣社員に対して、本格的に多能工への教育に取り組むこととした。まず、新入派遣社員の基礎教育として、セル生産システムをビデオで見せて、セル生産システムや多能工のイメージを持たせた。次に、作業者と技能者の違いを理解してもらうために、多くの技能を修得することによって自分自身のスキルアップが図れることを説明するなど意識改革に取り組んだ。さらに、熟練作業者による教育体制を築き、多能工化へ向けた技能研修を始め、多能工化認定テストを実施し、合格した人をセル生産システムへ投入することとした。セル生産システムは作業者のモチベーションを高く保つ必要があるため、優秀な作業者をリーダーとして抜擢し、目標管理をさせた。また、各セルの成果を表示することで達

成感を感じられるように、提案制度も導入した。その結果、在庫金額87%削減、生産リードタイム66%削減、生産性163%向上などの成果を達成した。同社を退社して帰国する派遣社員の中には、「セル生産システムについてブラジルの大学でさらに勉強したい」と話す作業員も出てきたという¹⁶⁾。

ここでは、派遣社員にもセル生産システムを試みた成功事例を紹介したが、企業内での技能の伝承を考えるならば、正社員が担うべき役割ではないかと思われる。また、長期的に多能工として活躍する派遣社員や非正規労働者が存在するならば、正社員に登用することを検討すべきではないだろうか。

② セル間の統合

生産管理者は、生産品目、生産量、人員、原材料や部品、スペースなどの確保に関して、各セルの分担を決めなければならない。自律化レベルの高いセルの担当者は、自分のセルのために自ら設備改善を要望するなどの折衝が必要になるだろう。各セルがセクショナリズムに陥り、生産資源や取引先の取り合いなどの対立でセル間の統合がうまくいかず、時間やコストがかかれれば、セル化のメリットは失われるだろう。反対に、各セルが没交渉に陥れば、独善的な運営になる可能性もある。セル間のコンフリクトを解消し新たな創造に向けての統合化が課題である。

TOTOの設備情報の共有化のように¹⁷⁾、あるセルで開発された設備情報を共有し他のセルに有効活用すればコストダウンが可能となる。そのためには、セル間をつなぐセル生産システム向けのCIMの構築は、今後の課題となるう。

③ セルと全体との統合

生産管理者は、部分最適と全体最適を考えながら、セルと生産システム全体との統合を考えなければならない。従来、日本企業では、ミドル・マネジ

16) 宮嶋 浩 (チノンテック株) 「セルラインの能力を最大限に引き出す多能工化の取り組み」『工場管理』Vol.50, No.10, 2004年8月, 22~27頁。

17) 「セル生産の柔軟性は多様な作業員ニーズも満たせる」『日経ものづくり』日経BP社, 2006年5月, 65頁。

メントが調整役、例えば、上位階層と下位階層、推進派と現状維持派との調整の面で果たした役割は大きかった。セル間のコンフリクトのコーディネーション機能が常時必要となるセル生産システムには、昨今の組織のフラット化が進む傾向の中で、誰が調整役を果たすかが課題となる。ロア・マネジメントやセルの担当者が全体最適も考え合わせたセルのマネジメントを考るか、あるいはサポート機能を果たす専門スタッフや機関が必要になるかもしれない。

セル生産システムの導入と進展は、トップ・マネジメントのポリシーとリーダーシップとも大きく関わっている。近年のセル生産システムは、1990年代初頭にソニーの導入を皮切りに多くの機械産業を中心に各社で導入され、キヤノンや松下電器については2000年代に入ってから導入で他社に比べ後発であったが、トップ・マネジメントの推進力で一気に進展し成果を手に入れる。ライン生産システムからセル生産システムに変更するという生産システム全体の再構築には、現場の責任者だけでは大きすぎる決断であり、トップ・マネジメントの決断が必要である。さらに、セル生産システムを進化させるようなサポート機能、すなわち教育やモチベーションの向上あるいは精神的なバックアップにしても、部分最適と全体最適を統合させる立場にあるトップ・マネジメントの明確なポリシーとリーダーシップを伴った意思決定が必要である¹⁸⁾。

④ 加工工程と組立工程の統合

物流コストの課題で見てきたように、昨今、加工工程と組立工程の統合化の問題を克服すべく、加工工程へのセル生産システムの導入、あるいは加工工程と組立工程を統合したセル生産システムの構築などの試みが始まりつつある。

オムロンでは、基板実装工程にセル生産システム向きの設備を開発することによって、従来のバッチ生産方式から1個流し生産方式に転換することが

18) 信夫千佳子「セル生産システムの進展要因—2000年代における日本企業の事例を中心に—」314～319頁。

できた。このように、加工も含めて需要に合わせた生産体制を築くことにより、基板在庫の削減、生産リードタイムの短縮、段取り替えの短縮、設備のコンパクト化が実現された¹⁹⁾。SUNX・本社工場では、電子部品実装にもセル生産システムを導入すべく、実装工程を解体し、実装工程と組立工程とを連結したセル生産システムを開発した。ただし、本社工場には約30の組立ラインがあるが、実装工程との一体化を実現したのは1つにすぎない²⁰⁾。

原材料や部品の加工工程そのものを組立のセル生産システムに組み込む方法もある。コピー機のトナーカートリッジを生産しているリコー・沼津事業所において、従来はトナーボトルを外部から調達していたが、カートリッジの製造時にボトルを随時セル生産システム内で成形する方法を考案した。原料は他の品種のボトルにも転用できるものであり、ペレットの状態では保管しておけば良いので、ボトルの在庫とスペースが削減された²¹⁾。

このように企業間のみならず企業内でも加工と組立の統合化が試みられつつあるが、まだ一部の企業間や工場で試行されているにすぎない。本格導入に向けてはセル生産システム向きの設備開発が課題として挙げられよう。

V. 結び －ポスト・リーン生産システムへ向けて－

最後に、セル生産システムの3つの類型別に、自律化と統合化の課題とその対応策を述べる。

① リーン型

自律化ベクトルでは、ペースの維持や品質のばらつきに関するIT支援や教育、KAIZENが必要である。正社員の比率の低下に対応するならば、作業者のレベルが異なっても編成できる一人方式の採用か、作業者のレベル別のセルの構築が考えられる。

19) 津呂和志・倉橋正志(オムロン株)「基板実装工程のセル生産設備による1個流し生産の実現」『IEレビュー』Vol.45, No.2, 2004年5月, 29～33頁。

20) 高野敦「部品実装にもセル生産方式」『日経ものづくり』2007年1月号, 93～98頁。

21) 木村知史・吉田勝, 前掲稿, 51～52頁。

統合化ベクトルでは、サプライチェーン全体のリードタイムの短縮化を目指すべく、川上である供給業者との統合度を強める必要がある。そのためには、加工と組立の同期化や加工分野のセル生産システムへの導入が検討されるべきである。コストダウンや品質の均一化のための設備の自動化や産業用ロボットの開発が有効な場合もあろう。現在、ホンダのASIMOに代表されるような人型ロボットが盛んに開発されているのと同時に産業用ロボットへの応用も進展している。セル生産システムは、産業用ロボットの開発にも少なからず影響を与え、セルのレイアウトを変えずに使用できるように、人間と同じような大きさで人間と代替が可能なロボットの開発、および人間に近い知覚を組み込んだ産業用ロボットの「人間化」が始まりつつある。産業用多関節型ロボットを製造している安川電機では、人間の上半身のような胴体から2本の腕が伸び、それは6つの関節をもち40kgの重さを持てるだけでなく、アーム先端は0.1mm単位で制御できるので細かな作業にも対応できる。セル生産システムの構造を変えずに人間の代わりとして導入しやすいロボットで、自動車メーカーだけでなく、電機メーカーにも採用されている。ファナックでも、センサー類を駆使し自律的に判断できるロボットを開発し、自動車のオートマチックトランスミッションのような熟練技能工による組立作業を可能にしている²²⁾。

このような自動化、さらにコンカレント・エンジニアリングなどによる開発期間の短縮化、およびセル生産システム向けのCIMの構築も有効であろう。人間と機械の長所を活かした絶え間ないKAIZEN活動が強みとなるであろう。統合性を強めたリーン型のセル生産システムとして発展していくものと考えられる。

② 技能型

自律化と統合化の両方のベクトルから見れば、個別技能修得や多能工化のための教育が重要な課題である。高いレベルの技能者や多能工は、処遇の面

22) 熊野信一郎「人間化により機能高める」『日経ビジネス』日経B P社、2006年4月24日号、124～126頁。

で評価すべきである。技能レベルを高め、さらに職務を拡大した多能工を活用したセル生産システムとして発展するものと考えられる。

ダイハツのように自動車を1からすべて組み立てるセル生産システムの職場そのものを教育の場とすることも有効である。同社では、軽自動車やスポーツ・カーをチームで最初から最後まで組み立てるという自己管理と自己完結性の強いセル生産システムを導入し、不良率を従来の半分程度に減少させた。当初はどれだけ売れるか分からないという設備投資コストのリスクの低減を狙ったものであったが、現在は技能伝承のための教育組織と位置づけられている。

また、技能者の経験や知識の蓄積、技能の伝承、改善結果の有効活用も課題である。技能者の減少を補うために、某日本酒メーカーは、技能の伝承とともに、杜氏の技能の機械化に取り組んでいる。技能者の育成と同時に機械化に取り組むことによって、人間と機械の両方の伝承システムの構築が課題であろう。

③ 事業型

自律化と統合化のレベルに合わせた教育、すなわち技能・技術、研究・開発、マネジメントなどの教育が必要である。また、セル間やセルと全体のコーディネーションをスムーズに行うための支援体制も重要である。事業化にふさわしい組織構築が求められている。また、高次の自律化のためには、「自己集合」の概念、すなわちある目的や条件のもとで、様々な専門性や適性をもつメンバーが自主的に寄り集まりセルを構成することを提案したい²³⁾。セルの中でメンバーが目的達成のために自律性を持って、他のセルとも適切なコーディネーションを築いていくためには、どのセルを担当するかも自らが選択できることができれば、自律化が促進されるであろう。

セル生産システムの3つの型において、いずれも重要なのが従業員の教育

23) 自己集合の概念は、理論生物学の生命理論の概念を援用した。

である。バブル経済崩壊後は、需要変動へのバッファー、グローバル競争中の人件費削減のため、多くのメーカーで、派遣社員や非正規労働者が積極的に活用された。しかし、コスト削減のためだけに派遣社員を活用し競争優位の源泉と考えるなら、新興国との競争には優るとは思えず、むしろそれらの製品群は低賃金労働の地域での生産を考えるべきである。派遣社員への本格的な教育を行う事例も見られるが、知識や経験の企業内蓄積から考えれば、正社員中心に行われるべきであろう。

日本のような工業化された先進国が、グローバル競争の中で、モノづくりの質的高度化を目指すためには、セル生産システムの自律化と統合化の課題を克服し、さらに生産性と適応性に優れたポスト・リーン生産システムを構築することが重要であると考えられる。

(しのぶ・ちかこ／経営学部教授／2009年1月13日受理)