

# セル生産システム研究の傾向と課題 (1)

奥 田 和 重  
獅子原 学

## 概 要

セル生産システムは、大別すると機械加工を行う生産セルと組み立てを行う組立セルに分類することができる。生産セルには、そこで加工する類似部品をどのようにグループ化するかによって生産セルに持たせる機能が異なる。また、生産セル内の設備レイアウト、生産セル間のレイアウトも異なってくる。一方、組立セルでは、組立ラインをどのように複数のセルに分割するのかという問題が存在すると共にその複数のセルをどのように配置するのか、またセル内の工程に作業をどのように配分するのかという問題が存在する。これらの問題に関する研究はすでに国内外で多くの報告がなされていることから、本論文ではそれらをレビューすることで、いままでなされてきた研究の動向を分析し、残された課題について検討する。

## 1. はじめに

近年、景気の変動や顧客の価値観の多様化にともなって、工業製品は大量生産から多品種少量生産へと変化してきた。多品種少量生産に対処する方法の一つにグループ・テクノロジー (Group Technology : GT) がある。これは多種類の製品や部品をその形状や寸法、あるいは加工工程の類似性に基づいてグループ化することで、多品種少量生産に大量生産に近い効果を与える方法であ

る。一方、組立生産においては人間が持つ熟練度や技能、技巧に着目して、従来のコンベアラインによる組立を廃止して1人ないし数人のグループで製品の組立をおこなうフレキシブル（ないし人間中心）生産がある[1]。これらはいずれも本研究で対象としているセル生産システム（Cellular Manufacturing System）を形成する契機になっている。情報技術の発展は生産設備の多機能化を促すことになり、従来は複数の生産設備で行っていた作業を1台の生産設備で行うことができるようになった。これがマシニングセンタ（Machining Center）で、これをコンベアラインあるいは自動搬送装置、自動倉庫、自動マテリアルハンドリング装置などと組み合わせ、これらをコンピュータで統括して制御することでフレキシブル製造システム（Flexible Manufacturing System : FMS）が構成される。FMSは柔軟性、弾力性、適応性に優れていることから多品種少量生産に対処することのできるシステムである。このFMSのなかでマシニングセンタと自動マテリアルハンドリング装置（またはロボット）を組み合わせたものがマシニング・セル（Machining Cell）であり、セル生産システムの構成要素にもなっている。本研究では前者の加工工程におけるセル生産システムを生産セルと呼び、後者の組立工程におけるセル生産システムを組立セルと呼んで区別することにする。マシニング・セルは生産セルに含めることにする。

近年、日本国内では組立セルをセル生産システムとする暗黙の前提があるように見受けられ、海外とは異なる様相を見せていることから、海外の研究については次の機会に報告することにし、本論文では、日本国内で発表された研究論文と研究報告（学会発表）<sup>1)</sup>を1990年以降の20年間について調査・分析して、生産セルと組立セルについてそれぞれどのような問題が存在し、それらがどのような方法で解決されているのかを明確にして、残されている問題を検討する。

---

1) 文献は学会が発行している論文誌・論文集、講演論文集及び大学や研究機関等が発行している研究紀要から収集しており、商業雑誌は対象外としている。

## 2. セル生産システム研究の分類

セル生産システムは前章で述べたように大別すると生産セルと組立セルがある。本論文末に掲載している文献が対象としているセル生産システムをこの生産セル、組立セルに分類することにする。さらに取り扱っている問題を「生産スケジューリング」、「セル構成法」、「ラインバランシング」、「生産計画」、「部品分類法」、「事例研究」、「作業環境」、「その他」の9つのカテゴリに分類する。このようにして作成したものが表1である。なお、2種類以上の問題を同時に取り扱っている場合はそれぞれのカテゴリに重複して分類している。

表1 文献の分類

取り扱っている問題	セル生産システム	
	生産セル	組立セル
スケジューリング	[4][5][7][13]	[14][21][31][33]
セル構成法	[4][6][8][9][10][11] [12][13][20][38]	[14][16][18][19][24][35] [43]
ラインバランシング		[29]
生産計画		[41]
部品分類法	[8]	
事例研究		[22][27][28][32][36]
作業環境		[23][39][40]
その他		[15][17][25][26][28][34] [37][42]

表1を見ると、生産セル関連文献が14件（重複を除く）であるのに対して組立セル関連の文献は26件（重複を除く）であり、カテゴリ別では「セル構成法」が17件と他のカテゴリよりも多く、その内訳は生産セル関連文献が10件で組立セル関連が7件あり、ほぼ拮抗しているといえる。年代別に見ると組立セル関

連の文献が報告されるのは2000年以降であり、それ以前は生産セルに関する研究が中心になっていたことがわかる。多くの文献は対象としているセル生産システムが生産セルであるか組立セルであるかを明確にしていないが、現代に近いほどセル生産システムは組立セルのことを指す、という暗黙の前提が存在しているように見える。また、「事例研究」と「その他」のカテゴリに含まれる文献は、組立セルに関するもののみである。これはコンベアなどでつながれた従来の直線的な組立ラインを廃止して組立セルを導入することは、企業にとって大きな投資を伴い、他方、組立セルの導入は作業者の多能工化を求めることになり、経営あるいは労務管理上大きな問題になる。このような観点から組立セルを対象にした研究がなされるようになったと推測できる。一方、生産セルに関してこのカテゴリに入る文献が少ないのは、セル生産システムが研究対象として注目される以前から後述するGTフロー・ラインやGTセル、GTセンターが工場に導入されており、これらは生産設備の移動・配置換えによって実現することができ、組立セルの導入ほど大きな投資を伴わず、また作業環境も大きく変化することがないことが主な理由であると考えられる。

### 3. 生産セルに関する研究の動向と課題

#### 3. 1 グループ・テクノロジーと生産セル

1940年代後半に旧ソビエト連邦のミトロファーノフ (S.P. Mitorofanov) らによって提案されたグループ・テクノロジーの概念によって生産設備をグループ化ないしセル化したものが生産セルと呼ばれるようになった。GTはその後ドイツのオーピッツ (H. Opitz) によって部品分類法が確立されている。この分類法は、加工の対象となる部品の形状や機械加工工程の類似性に基づいて類似部品群 (部品ファミリー) を形成する方法である [1]。部品ファミリーを製造するために生産設備がグループ化され、設備配置されたものがGTレイアウトである。GTレイアウトはグループ化された部品の流れによって次の3つに分類される (図1) [2]。

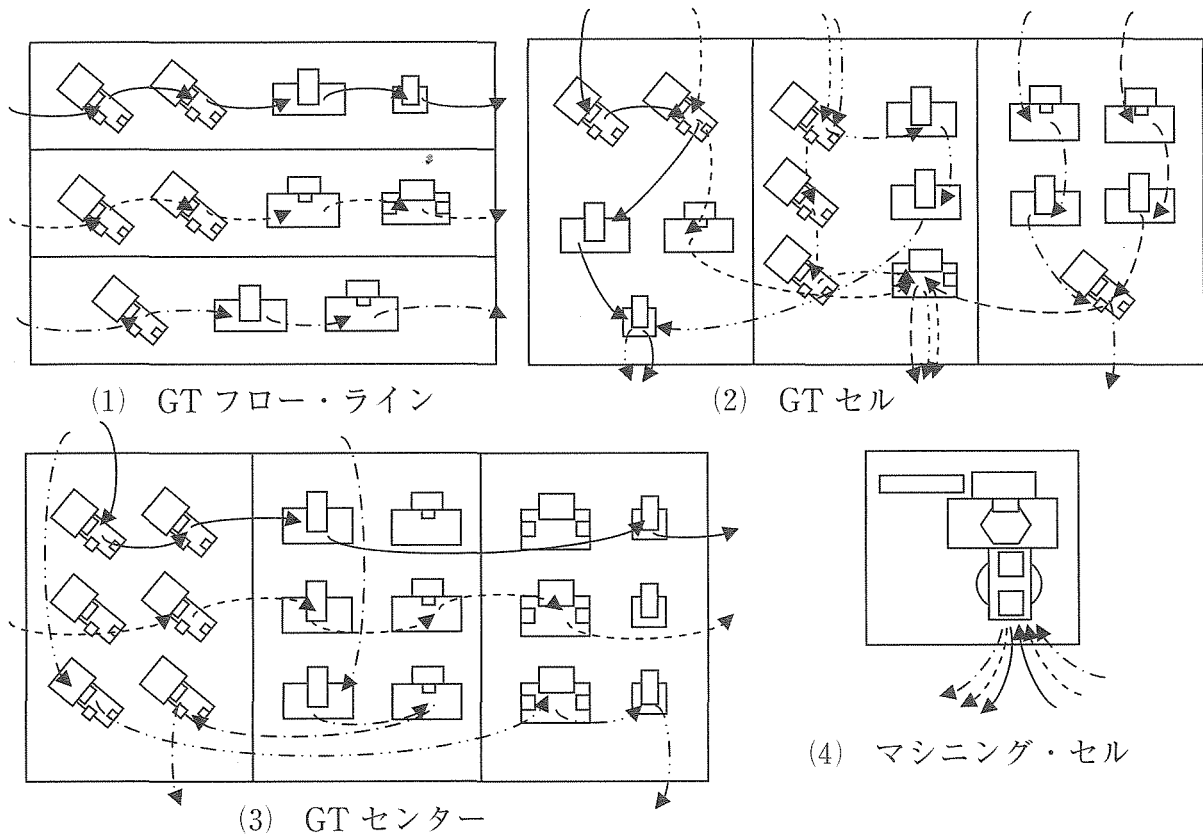


図1 GTレイアウト

- (1) GT フロー・ライン：部品ファミリーの機械加工工程が同じで部品の流れも同じ場合、生産設備はその流れに沿った配置ができ、フロー・ラインを構成することができる。これにより多品種少量生産であっても流れ生産方式に近い生産効率を得ることができる。
- (2) GT セル：部品ファミリーの加工の流れが同じでないとき、グループ化された生産設備でグループ内の部品のほとんどが製造できる場合のレイアウトである。
- (3) GT センター：部品ファミリーの1種類の作業が行えるように同一性能の生産設備をまとめておくレイアウトで、機種別レイアウトに近い形式になる。

GT レイアウトは、部品と生産設備の関係を表す 0 - 1 行列を用いて部品 - 生産設備行列を構成することができる。この部品 - 生産設備行列は、ある部品が特定の生産設備で生産できるとき値 1 をとり、そうでない場合は値 0 をとる

行列である。この部品－生産設備行列を何らかの方法で対角ブロック行列化することができるればGTレイアウトを構成することができる。例えば、表2のような部品－生産設備行列が表3の対角ブロック行列にすることができるれば生産

表2 部品－生産設備行列

		部						品					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
生 産 設 備	A	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0
	B	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1
	C	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1
	D	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1
	E	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0
	F	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	G	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
	H	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0

表3 部品－生産設備行列によるグループ化

			部						品					
			グループ1						グループ2				グループ3	
			1	2	5	6	8	12	3	4	9	11	7	10
生 産 設 備	セル1	A	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0
		B	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0
		C	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	セル2	D	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
		E	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
		F	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	セル3	G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
		H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

セルを構成することができる。表3のように対角ブロック以外のところに値1を持つ要素が存在するとき、これを除去要素と呼ぶ。部品-生産設備行列に除去要素が存在しなければ生産セルをGTフロー・ラインとして構成することができる。除去要素が存在する場合、GTセルを構成することができ、同じ生産設備を複数の生産セルに配置するか、部品がセル間を移動することになる。部品-生産設備行列を対角ブロック行列にすることができない、あるいは対角ブロック行列にすることができたとしても除去要素が多数存在する場合は、レイアウトはGTセンターになる。

### 3. 2 生産セルの生産スケジューリング問題

レイアウトがGTフロー・ラインであれば、生産セルはフロー型の多段階生産工程になり、これまでに報告された多段階生産工程を対象にした種々の研究成果を適用することができる。GTセルあるいはGTセンターの場合は、ジョブショップ型の多段階生産工程になるので、生産スケジューリング問題は複雑になる。このような問題を対象にした研究に次の文献がある。

宋と人見[4]は動的市場状況の下で設備配置の変更を行うまでの計画期間について在庫費用、運搬費用、グループ段取り費用、設備配置変更費用の総和を最小にする総合生産モデルを混合整数計画問題として定式化し、ベンダーズの分解法により毎期の生産量と計画期間、類似製品群を求めるアルゴリズムを提案している。本位田と西山[5]は、部品ファミリー全体の段取り費用と在庫保管費用の和を最小にする生産ロットサイズをグループ化した部品に対して決定する動的計画法に基づいた方法を提案している。提案した方法とAtkinsの方法を比較し、さらに複数の生産セルで加工される部品を持つ部品ファミリーのロットサイズを決定するヒューリスティック解法を提案している。宋と崔[7]は、総割増費用を最小にする生産速度、残業時間、加工経路、加工開始時刻を同時に決定する非線形混合整数計画問題を定式化し、これを解く最適化アルゴリズムを提案している。これにより市場の不確実性を吸収する柔軟なセル生産方式を提案したとしている。廣瀬と福田[13]は、需要量より求めた生産比率を

用いてセルを構成し、これを前提に製品の加工工程に基づいて作業を各セルに割り付けている。割り付けの対象となる部品と作業が割り付けられるセルの選択には優先規則を用いている。

これらの研究から明らかになることは、部品の段取りとグループの段取りだけでなく部品のセル内の移動とセル間の移動も考慮しなければならないということである。また、順序付け問題の場合、GTフロー・ラインであれば部品の段取りとグループ段取りを考慮したGTスケジューリング問題になるが、GTセルやGTセンターの場合は、ジョブ・ショップ・スケジューリング問題になり、問題は複雑になる。

### 3. 3 生産セルのセル構成問題

生産セルのセル構成問題は、生産セル内の生産設備配置問題と生産セル間の配置問題が存在し、これに生産設備と生産セルが配置される空間を制約条件とする場合がある。

本位田らの一連の研究[6][8][9][10][11]は、生産セル内の生産設備配置と生産セルの配置を研究しており、[6]は、セルの構成を評価する結合度係数を提案し、生産セル単位の評価が可能になることを示している。また、部品-生産設備行列に対してセル全体の結合度の和を最大にするセル構成法を提案している。[8]は、生産セル間を移動する部品を除去する3つの操作方法(除去操作)を示し、グルーピング効率を最大にする操作方法の選択基準を明らかにしている。さらに除去操作に伴う総費用を最小にし、かつグルーピング効率を最大にする独立した生産セル(GTフロー・ライン)の構成法を提案している。[9]は、セル間の移動距離とセル内の移動距離の重み付き平均を最小にする部品の製造工程順序を考慮したセル生産システムの構成法を提案している。[10]は、部品のセル間搬送総距離最小化とレイアウト領域の面積最小化の2目的セルレイアウト計画を定式化し、非類似度係数に基づいた階層クラスタリング手法による解法を提案している。[11]は、セル構成問題の決定手順にクラスター分析法に基づくセルレイアウト法を組み込むことで、セルレイアウトと設備のグループ



化を同時に決定する方法を提案している。これによりセル内及びセル間を移動する部品の総移動距離を最小にすることができることを示している。これら本位田らの一連の研究では部品のセル内の移動距離とセル間の移動距離を決定変数として、製造工程順序やレイアウト空間などを制約にし、種々の評価関数を用いてセル構成の最適化を図っている。

中村と太田[12]は、機械間の類似測度に段取り時間を組み入れた類似度の計算法及びセルの構成法、構成セルの評価法を提案している。さらに従来のセル構成のアルゴリズムを改善することで従来の方法よりもセル生産方式のほうが効率的であることを示している。前節で取り上げた[13]は、需要量より求めた生産比率を用いてセルを構成している。大宅と太田[20]は、既存の類似係数に加工量を考慮に入れ非階層クラスタリング法に基づくヒューリスティック法によるセル構成法を提案している。セル構成の評価にはセル間の運搬費用だけでなくセル内の生産設備の遊休を機会損失としてとらえている。恩田と吉本[38]は、部品の加工を行う工具と生産設備の類似係数をそれぞれ算出してこれを基に工具と設備のグルーピングを行って生産設備への工具配分を決定し、その後セル構成を行う方法を提案している。前節で挙げた宋・人見の[4]は生産セルの構成を需要変動に対応して変更するまでの期間を求めており、セル構成問題の一種と捉えることができる。

### 3. 4 生産セル研究の課題

前節までに見てきたように生産セルに関する研究はセル構成法が中心であるといつてよく、基本的には部品のセル内とセル間の移動距離を最小にすることである。これは部品の移動がある生産設備間とセル間では相対的な位置関係がわかるが、そうでない生産設備間やセル間では位置関係は必ずしも明らかではなく、生産設備と生産セルの空間的な配置を決定するまでには至っていないように思える。

GT フロー・ラインや GT セルを構成する生産設備の機能をマシニングセンタに集約して生産セルをマシニング・セルに置き換えると、セル内での部品の

移動は考慮する必要がない。また、部品—生産設備行列で除去要素が存在する場合、除去要素を取り除くためには部品がセル間を移動するか複数の生産セルに同じ生産設備を重複して配置するという対応が考えられてきた。しかし、マシニング・セルの場合では、除去要素に関連する工具をマシニングセンタに保持させるだけでよく、これにより部品のセル間の移動がない独立した生産セルを構成することができる。さらに、マシニング・セルでは部品の加工中に次の部品の段取りを行うことができるので、段取り時間も考慮する必要はなくなるであろう。したがって、マシニング・セルでは、マシニングセンタを単一工程と見なすと、単一工程のロットスケジューリング問題や順序付け問題であり、また、部品ファミリーに対応するマシニング・セルの構成、すなわちマシニングセンタへの工具配分問題、さらには縦軸のマシニングセンタか横軸のマシニングセンタか、あるいはターニングセンタかを定める問題などが今後の課題となる。

## 4. 組立セルに関する研究の動向と課題

### 4. 1 組立セルの特徴と分類

従来の流れ生産方式では、ラインバランシングに基づくライン編成によって作業者に（要素）作業が割り当てられるが、割り当てられた作業の間には関連性がない場合が多く、作業者は達成感や満足感を得られない方式であった。多品種少量生産に対応しつつ達成感や満足感を得られるシステムとして注目されたのが組立セルであり、人の持つ柔軟性に着目して多品種少量生産に対応しようとするものである。この組立セルの特徴の一つはコンベアラインを廃止したことである。コンベアラインを廃止していくつかのワークステーションをU字レイアウトに編成して組立セルとし、小ロット生産あるいは1個流し生産に対応しようとするものである。U字レイアウトの採用は、一人の作業者が複数の作業を担当する多能工の採用を前提にしている。これらのことから、組立ラインを組立セルによって構成することで作業スペースの削減や仕掛り在庫の減少

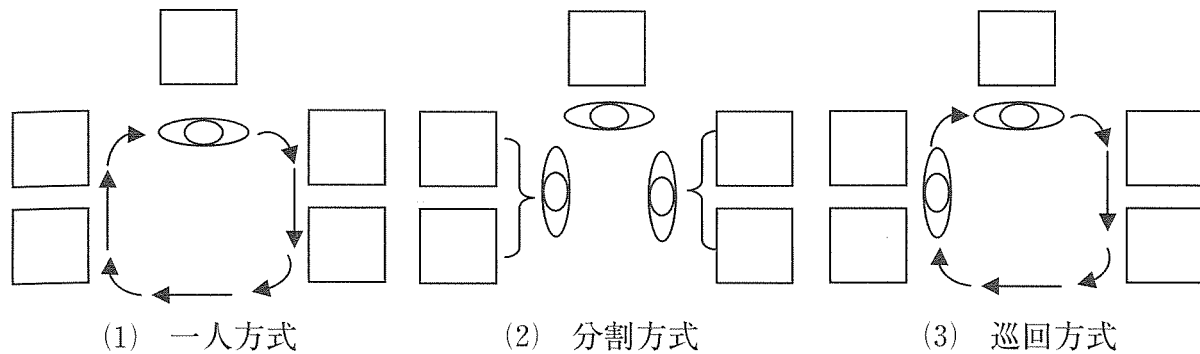


図2 組立セルの分類

が期待でき、多品種少量生産だけでなく生産品種や生産量が変動する変種変量生産にも対応が可能になる。

組立セルは図2に示すように作業方式によって次のように分類することができる。

- (1) 一人方式：一人の作業者がすべての作業を行って製品を完成させる方式である<sup>2)</sup>。一人で作業するので、他の作業者のペースに合わせる必要はないが、一人の作業者がすべての作業をこなす能力が求められ、生産設備も多く持つ必要がある。
- (2) 分割方式：数人の作業者が作業を分割して行う方式で、一人方式に比べて短い習熟時間で担当でき、移動範囲も少ない。しかし、複数の作業者が作業を行うのでバランス効率が低下する。
- (3) 巡回方式：複数の作業者がすべてのワークステーションを巡回して担当する方式である。一人方式を複数の作業者が行うことになることから、生産設備は少なくすむが、巡回速度が最も遅い作業者にペースを合わせる必要がある。

組立セルの場合、本研究で取り上げた文献を調べる限りでは生産セルとは異なりグループ・テクノロジーとの関連は見受けられない。生産セルでは、部品

2) 図2では、一人の作業者が複数のワークステーションを巡回する方式になっているが、複数のワークステーションをまとめることで作業者が静止(移動しない)している場合もある。

ファミリーは部品の形状の類似性に基づいてグループ化されていることが多く、それは加工工程の類似性にもつながり生産セルの構成にも大きな影響を与えている。組立セルの場合でも組立工程の類似性によって製品群のグループ化（製品ファミリー）が考えられ、これに基づいた組立セルの構成も考えられる。しかし、従来の組立ラインには、同じような組立工程を持つ製品は一つのラインで混流されて組み立てられる混流組立ラインが存在していたことから、グループ・テクノロジーとの関連が考慮されなかったのかもしれない。

生産セルの場合、マシニング・セルの導入で素材の供給と完成品の取り出し以外は自動化することができるので、生産セルを自動化（無人化）することが可能である。一方、組立セルでは人間が持つ柔軟性に活かして多品種少量生産に対応するので自動化は困難であると考えられてきた。しかし、作業者の代わりにロボットを導入したロボットセル生産システムの開発が近年行われるようになってきた。これはロボット技術の向上・発展に伴い人間に近い柔軟な動作ができるロボットが開発されてきたことによるものであるが、マシニング・セルに対応するアッセンブル・セルの登場にはまだ時間を要するようである。

#### 4. 2 組立セルの生産スケジューリング問題

従来の組立ラインを対象にした生産スケジューリング問題には、ラインバランスや投入順序決定問題などがある。組立セルの場合はどうだろうか。

福田と廣瀬[14]は、[13]と同じアプローチを巡回方式の組立セルに適用している。しかし[13]と[14]では生産セルと組立セルの記述が若干混乱しているように見える。軽野ら[21][31]は、自社内の専用機械で生産された部品と外注部品を使って製品を組み立てるセル生産で、外注部品の到着に制約がある場合の組立スケジューリング問題を取り扱っており、[21]ではディスパッチングルールと貪欲法を併用した近似アルゴリズムを提案し、[31]は厳密解を得るための分枝限定法を提案している。Suksawatら[33]は、人間の技能の一つである問題解決型技能への配慮を検討し、人間の技能レベルや態度の違い、技能向上意欲等を基準とする人間優位セル形生産システムを提案し、技能者の特性に適合

した作業計画を作成するスケジューリングシステムを開発している。村瀬ら[29]は、作業要素標準工数と熟練度を確率変数とした確率論的ラインバランシングのモデルを提案し、その有効性を示すとともに、一人の作業者が受け持つ作業要素数の増加に対して作業支援係数を導入し、連続組立ラインとセル生産システムの一般化モデルを提案して両システムの生産性を対比している。坂下ら[41]は、一人方式組立セルを対象に作業の進捗状況と習熟による作業時間の変化を考慮に入れ、最大納期遅れを最小にする作業の再配分と作業の投入順序を決定している。

これらの研究は、一人方式の組立セルで完成品を組み立てる場合を前提にしているものが多いため、組立セル内の問題のみを取り扱っており、組立セル間の関連に関する研究は見られない。

#### 4. 3 組立セルのセル構成問題

組立セルは、従来のコンベア等につながれた組立ラインを廃止して設置される場合が多く、組立ラインで行われていた作業を一つの組立セルで行う場合と、複数のセルで行う場合がある。後者の場合は、セル間の位置関係が問題になる。また、組立セルに一人方式、分割方式、巡回方式のいずれの方式を採用するのか、作業員の組立セルへの割り付け（配置）、セル内でのレイアウトなどが問題になる。

今井ら[16]は、分割方式と巡回方式の組立セルを対象にマルコフ解析によってモデル化を行い、スループットと平均仕掛品在庫量を同時に最適化する2目的最適化問題として定式化し、作業員の割り当て方に関するパレート解を求めている。小玉ら[18][19][24][35]は、一人方式の組立セルで、セル内での作業の遅れによる納期遅れが発生した場合の作業員の再配置手法を提案している。[18]では遺伝的アルゴリズムを用いて最大納期遅れを最小にする作業員の再配置手法を提案しており、[24]では[18]のモデルに作業員の能力差を取り入れている。[35]は、[18]の研究を基に作業員の習熟を考慮に入れ、評価基準を総納期遅れ最小化として作業の再配置問題を扱っている。[19]は、[18]と基本的に

は同じ研究と見なすことができる。山本ら[43]は、一人方式の組立セルを対象にして、作業テーブルのまわりに組み付ける部品を配置する問題を解決する部品配置決定 GA モジュールと 3次元バーチャル・ファクトリ・モジュールを統合した仮想組立セル生産システムを提案し、開発している。

組立セルにおけるセル構成問題を取り扱っている上記の研究は、その多くは一人方式の組立セルを対象としており、セル間での作業者の配置やセル内でのレイアウトの最適化を試みている。しかし、3章で取り上げた生産セルの文献に見られたようなセル間の配置を扱った研究は見られない。また、組立ラインで行われていた作業を複数の組立セルにどのように振り分けるのか、さらに一人方式、分割方式、巡回方式のいずれを採用するのかという研究も見受けられない。

#### 4. 4 組立セルの作業環境問題

組立作業では、従来動作研究が盛んに行われており、効率的な作業を行うためにこの動作研究に基づいた適切な作業環境、具体的には使用機器や組み付ける部品の配置や形態を設定している。また、一人方式だけでなく分割方式や巡回方式を対象にした作業性の評価や作業者負担、従来の組立ラインとの比較も必要であろう。

綿貫ら[23]は、一人方式の組立セルにおける部品取り出し作業について仮想体験（バーチャル・リアリティ）システムを構築し、これを用いて作業性評価をサブリック分析により行っている。その結果、実システムと同じように作業性評価を行うことができ、その有効性を示している。杉ら[30]は、一人方式の組立セルを対象に、作業台に自走式の部品トレイを配置し、トレイの経路計画問題に対しては集中型の経路計画手法が分散型のそれよりも時間効率が優れていることを示し、大型部品を配送する際のトレイ配置問題に対してはヒューリスティック法を提案している。これら提案した方法の有効性をシミュレーションにより検証している。大矢ら[39]は、実際の作業に近い作業モデルの設定を目的にセル生産に従事する多能工が行う各種作業の作業因子に基づいた作

業構造の分類を検討している。また単一作業（コンベア作業）とセル生産での作業の習熟特性を比較・検討することで習熟状態を評価できる指標を提案している。長谷川ら[40]は、コンベア生産（単一作業）とセル生産について生理的評価技法と心理的評価技法を用いて生体負担を測定し、比較検討を行っており、評価技法を総合した結果、セル生産はコンベア生産に比べて生体負担が低いことを明らかにしている。

#### 4. 5 組立セルの事例研究

本節で取り上げたのは、開発事例と同一著者による一連の実証的研究である。信夫らの事例研究は次節で取り上げている。

源と川田[22]は、多品種混流セル生産ラインにおける内段取り時間ロスを最小にするための混流生産支援システムの開発事例を報告している。坂爪[27][28][32][36]はセル生産方式に関して、セル生産システム（組立セル）の導入効果、分類、制御方策を事例研究による実証研究に基づいた報告をしている。[27]は、効果発生メカニズムに関する仮説と適用条件に関する仮説をたて、事例研究を通じてセル生産方式を導入することによる効果と副作用を分析し、これらの仮説を検証している。[32]は、[27]での効果発生メカニズムに対してセル生産方式を導入することにより間接的な効果が発生することから間接的効果発生メカニズムの存在を仮定し、間接的効果発生メカニズムとはどのようなメカニズムなのか、また間接的効果発生メカニズムを強化する論理は何かという問いに対して仮説を構築し、事例研究により検証している。この検証により新たな仮説を得ている。[28]は、セル生産方式の導入目的、対象製品の特性、作業者の特性から既存研究のパラドックスを提示し、このパラドックスを解消するためにセル数と分業人数によってセル生産方式を4つに分類する類型仮説をたて事例研究を通じて検証している。この結果パラドックスを解消するセル生産方式の類型として量産品需要変動対応型セルと高付加価値少量品対応型セルをあげている。[36]は、セル生産方式におけるコントロール方法と作業者統制メカニズムについて標準作業と標準時間の観点から仮説をたて、事例研究を

通じて検証している。検証の結果、標準作業と標準時間に対するコントロール方法が異なることから、作業者の統制のメカニズムが変化するとしている。

#### 4. 6 組立セルに関するその他の研究

信夫ら[15][42]は、セル生産システム（組立セル）の特徴を自律と分散であるとし、評価指標を生産性と適応性とし、これら4項目を設計パラメータと見なして、セル生産システムの設計フレームワークを提案している。[42]は、[15]と同様にセル生産の特徴を自律と分散であるとし、評価指標を生産性と適応性であるとして、これらの観点からセル生産システムの類型化を試みている。8つの事例を基にして類型別に自律化と統合化の課題を明らかにし、その対策を提案している。熊澤[17]は多工程持ちシステムを定義し、このシステムとセル生産方式及び流れ作業の効果と問題点を比較し、セル生産方式が多工程持ちシステムの一類型であることを指摘している。村瀬ら[25]は、連続組立ラインと組立セル及び連続組立ラインと組立セルの併用の3種類の数理モデルを構築し、シミュレーションにより生産性を比較している。その結果、組立セル及び併用方式が全体最適の可能性が高いことを示している。松尾[26]は、「なぜセル生産は高い成果を生み出すのか」という問いかけに対してセル生産と成果の構成要素を既存研究から導き出し、それらの因果関係を明確にすることでこの問いかけに対する分析枠組みを提示している。市川[34]は、大量生産システムからセル生産システムへ移行する過程において作業柔軟性が重要視されるようになった背景を明らかにしている。さらにセルが内包する柔軟性について実際の作業を分析することでその特徴を示し、生産セルが採用される妥当性を明確にしている。山田ら[37]は、従来型の組立ラインシステムと組立セルをコンペアで結んだフレキシブル・セル・システム及び組立セルがほかの組立セルから独立している自律セルを需要量とステーション数を基に利得とリードタイムを表すペア行列表を作成し、需要量が増加した場合にどの組立システムが効率的であるかを分析している。



#### 4. 7 組立セル研究の課題

前節までに見てきたように組立セルに関して様々な研究が行われていることがわかる。しかし、多くの場合一つのセルで製品が完成する完結型を対象にしており、複数のセルでの組立を経て完成品となる研究はあまり見られない。4. 3節で指摘したように組立ラインで行われていた作業を複数の組立セルに振り分ける場合、[18]等のようにセル間の作業者の再配置を扱っている研究もあるが、組立ラインをいくつの組立セルに分割するのか、あるいは組立セルの配置（レイアウト）の問題、組立セル間のバランスングの問題、どのような方式にするのかといった問題が単独であるいは複数組み合わせられた形で存在するであろう。

### 5. おわりに

本報告ではセル生産システムを生産セルと組立セルに分けて国内の文献を調査しその研究動向と課題を検討した。残された課題は3. 4節と4. 7節に記しているのでここでは再掲しない。国内におけるセル生産システムに関する研究は、海外のそれとは様相を異にしていると思われる。これは特にヨーロッパではボルボの生産システムに代表されるドック方式[44][45]が自動車産業を中心に採用されていることから、これが研究の対象になっていると推測される。ドック方式とわが国の組立セルはともに「労働の人間化」を目指していることから、次の報告ではこれを軸にして海外の文献を調査して国内外の研究の動向を分析することにする。

## 参 考 文 献

- [1] 人見勝人：「入門編生産システム工学（第4版）」，共立出版社，P.51，(2009)
- [2] 人見勝人（監修）：「GTによる生産管理システム」，日刊工業新聞社。P.10，(1981)
- [3] [2]，PP.77-93
- [4] 宋相載，人見勝人：柔軟なGTセル生産のための類似製品群の編成及び計画期間の設定法，日本機械学会論文集（C編），57巻，542号，PP.253-259，(1991)
- [5] 本位田光重，西山徳幸：セル生産システムにおける動的ロットサイズの決定法，日本経営工学会誌，43巻，4号，PP.289-295，(1992)
- [6] 本位田光重，西山徳幸：セル生産システムの構成法に関する研究，日本機械学会論文集（C編），58巻，547号，PP.307-312，(1992)
- [7] 宋相載，崔貞姫：柔軟なセル生産のための最適加工経路と加工条件の決定，日本機械学会論文集（C編），58巻，549号，PP.192-199，(1992)
- [8] 本位田光重，西山徳幸：グルーピング効率最大化に基づく独立した生産セルの構成法，日本経営工学会誌，45巻，1号，PP.63-70，(1994)
- [9] 本位田光重，西山徳幸：製造工程順序を考慮したセル生産システムの構成法，日本経営工学会誌，46巻，4号，PP.298-305，(1995)
- [10] 本位田光重：クラスター分析を用いた2目的セルレイアウト設計，日本経営工学会論文誌，51巻，3号，PP.186-195，(2000)
- [11] 本位田光重：セルレイアウトを考慮したセル生産システムの構成法，日本経営工学会論文誌，51巻，2号，PP.115-123，(2000)
- [12] 中村正輝，太田宏：段取り時間の短縮を考慮に入れたセル構成，日本経営工学会論文誌，51巻，3号，PP.254-262，(2000)
- [13] 廣瀬已知人，福田好朗：セル生産におけるセルと作業割付けのシミュレータの研究，日本機械学会講演論文集，No.1-1，PP.331-332，(2001)
- [14] 福田好朗，廣瀬已知人：セル生産における負荷と設備計画，日本機械学会講演論文集，No.02-1，PP.359-360，(2002)
- [15] 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－自律と分散化の視点から，日本経営工学会論文誌，53巻，6号，PP.491-495，(2003)
- [16] 今井智和，山下英明，石塚陽：セル生産方式における分割巡回方式の最適設計，日本オペレーションリサーチ学会2004年春季研究発表会，1-G-4，PP.166-167，(2004)
- [17] 熊澤光正：多工程持ちシステムとセル生産方式流れ作業の比較，四日市大学論集，16巻，2号，PP.57-73，(2004)
- [18] 小玉翔平，万代陽，谷水義隆，杉村延広：セル生産における作業者の再配置に関する研究，日本機械学会講演論文集，No.054-1，PP.47-48，(2005)

- [19] 谷水義隆, 小玉翔平, 万代陽, 杉村延広: 生産システムの動的再構成に関する研究－セル生産システムにおける作業者の再配置－, 日本機械学会講演論文集, No.05-25, PP.51-52, (2005)
- [20] 大宅秀和, 太田宏: 加工量を考慮した類似係数に基づくセルフオーメーションとそのコスト評価, 日本経営工学会論文誌, 56巻, 1号, PP.29-37, (2005)
- [21] 軽野義行, 長谷川匡男, 木瀬洋: 外注部品の到着時刻に制約がある柔軟生産セル組み立てスケジューリング, 日本機械学会論文集 (C編), 71巻, 703号, PP.268-275, (2005)
- [22] 源幸雄, 川田一樹: 需要同期に向けた多品種混流生産支援システムの開発, 日本機械学会講演論文集, No.05-1, PP.37-38, (2005)
- [23] 綿貫啓一, 新村修平, 小島一恭: VR技術を利用したセル生産方式の部品組み立て作業における作業性評価, 日本機械学会講演論文集, No.060-5, PP.89-90, (2006)
- [24] 万代陽, 谷水義隆, 杉村延広: セル生産システムにおける遅延に対する作業者の再配置に関する研究, 日本機械学会講演論文集, No.64-1, PP.15-9, (2006)
- [25] 村瀬康比古, 郭偉宏, 殷勇: セル生産とコンベア組立ラインの数理解析, 日本経営工学会論文誌, 57巻, 4号, PP.314-322, (2006)
- [26] 松尾知也: セル生産と成果の因果関係の分析枠組み－概念の定義からのアプローチ－, 九州産業大学商経論叢, 47巻, 1号, PP.89-102, (2006)
- [27] 坂爪裕: セル生産方式と分業の新展開: 導入企業8社の事例研究, 日本経営学会誌, 16巻, PP.95-110, (2006)
- [28] 坂爪裕: セル生産方式を巡るパラドックス－セル生産方式類型化の試み, 日本経営学会誌, 17巻, PP.51-74, (2006)
- [29] 村瀬康比古, 増田士朗, 福田収一: 在庫理論の応用展開による組立ラインバランシング－連続ラインとセル生産システムの比較－, 日本経営工学会論文誌, 57巻, 2号, PP.1-9, (2006)
- [30] 杉正夫, 二階堂諒, 田村雄介, 太田順, 新井民夫: 作業支援形セル生産システム Attentive Workbench のための自走式部品トレイの動作及び配置の計画, 精密工学会誌, 72巻, 11号, PP.1380-1385, (2006)
- [31] 軽野義行, 長谷川匡男, 西本陽平, 木瀬洋: 外注部品の到着時刻に制約がある組立てスケジューリング問題に対する分枝限定法, 日本機械学会論文集 (C編), 72巻, 714号, PP.349-356, (2006)
- [32] 坂爪裕: セル生産方式の間接的效果発生メカニズムとその促進要因, 日本経営学会誌, 19巻, PP.51-64, (2007)
- [33] Bandit Suksawat, 何偉銘, 平岡弘之, 井原透: 人間優位セル生産システムのためのスケジューリング, 日本機械学会論文集 (C編), 73巻, 727号, PP.256-262, (2007)

- [34] 市川英孝：セル生産における作業柔軟性に関する考察－リレー方式によるパソコン組立を例に－，経済科学，55巻，4号，PP.49-69，(2008)
- [35] 坂下義孝，谷水義隆，岩村幸治，杉村延広：セル生産における習熟を考慮した作業の動的再配分に関する研究，日本機械学会講演論文集，No.08-13，PP.39-40，(2008)
- [36] 坂爪裕：セル生産方式における作業者の統制メカニズム，日本経営学会誌，22巻，PP.91-104，(2008)
- [37] 山田哲男，掛札智美，長友寛，松井正之：需要変化のもとでの効率的組み立てシステムの比較研究，日本経営工学会論文誌，59巻，1号，PP.1-10，(2008)
- [38] 恩田洋希，吉本一穂：セル生産システムにおける工具配分及びセルフオーメーションの同時解法に関する研究，日本機械学会講演論文集，No.095-1，PP.356-357，(2009)
- [39] 大矢雅之，福田康明，山田裕昭：セル生産における作業者の習熟特性に関する研究，人間工学，45巻，5号，PP.278-285，(2009)
- [40] 長谷川勝久，福田康明，斉藤真：セル生産における作業者の生体負担に関する研究，人間工学，45巻，4号，PP.219-225，(2009)
- [41] 坂下義孝，谷水義隆，岩村幸治，杉村延広：ハイブリッド進化型計算アルゴリズムによるセル生産の動的生産管理に関する研究，日本機械学会講演論文集，No.09-5，PP.29-30，(2009)
- [42] 信夫千佳子：セル生産システムの課題，桃山学院大学経済経営論集，50巻，4号，PP.39-66，(2009)
- [43] 山本秀彦，山田貴孝，中村昌弘：GA とバーチャルファクトリを用いた組立てセル生産の部品配置決定システム，日本機械学会論文集 (C編)，76巻，764号，PP.210-215，(2010)
- [44] 田村豊：ボルボ・ウッデバラの試み－最終組立工程の特徴とその意義－，経営研究論集，3号，PP.81-106，(1995)
- [45] カイサ・エルゴード：新しい生産システムの創造－スウェーデンのボルボ・ウッデバラ自動車組立工場，中京経営研究，10巻，1号，PP.279-301，(2000)