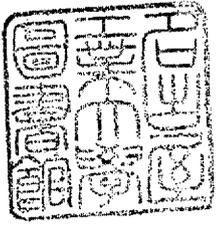


生産期間に関する研究

平成 2 年

熊澤 光正



目 次

序 論	1
第 1 章 生産期間短縮の効果	14
1.1. 生産期間短縮の今日的必要性	14
1.2. 生産期間短縮の効果	14
1.3. 生産期間が経営資本回転率に与える影響	21
1.4. 生産期間増大の理由	34
1.5. 生産期間の短縮方策	40
第 2 章 生産管理システムの設計方策と生産期間	42
2.1. 生産管理システムの史的展開	42
2.2. トヨタ生産方式とMRPの基本構造の対比	44
2.3. トヨタ生産方式	47
2.4. トヨタ生産方式の展開と効果	68
2.5. NPS方式	72
2.6. JITの海外での展開	82
第 3 章 工程構造からの生産期間短縮	90
3.1. 工程の構造と分析	90
3.2. 工程構造からの生産期間調査法	90
3.3. 生産期間の調査例	95
3.4. 生産期間の評価方法	96
3.5. 工程の連結度	97
3.6. 多工程持ちシステムの構造と効果	102
3.7. 多工程持ちシステムシミュレータの開発	113
第 4 章 生産期間と作業システム	120
4.1. 作業システムによる生産期間短縮	120
4.2. 標準作業の構造と作成	121
4.3. 標準作業システムのラインバランス設定	124
4.4. 作業姿勢が作業能率に与える影響	132
4.5. 作業姿勢が作業者に与える身体的影響	143
4.6. 作業姿勢変更が自覚疲労に与える影響	148
4.7. 段取替作業の構造と改善方策	158
結 論	169
謝 辞	173
参考文献	175

序 論

今世紀の初め、合衆国において総合的同時化の理念によって開発されたフォードシステムは、鉍石の投入から、完成車として貨車に積み込むまで、わずか81時間という短生産期間を実現した。このT型フォードは、極めて安価で、品質の良い製品として、新たに自動車市場を開拓した画期的製品であった。フォードシステムは、企業経営の目標である売上高利益率の向上と同時に、経営資本回転率の向上を同時に可能とした。しかし、その後の消費構造の成熟は、単に安価で、性能の良い製品という範疇のみではなく、自らのライフスタイルに合わせた多様な、あるいはより高性能な製品が求められるに至った。市場の要求に対して生産システムは、総合的同時化の理念を棄て、多品種大量生産を目標に、各部分ごとに標準化を進め、より大量に生産することにより、原価を低減させる政策を取ることになった。生産システムは、個々の設備、あるいは機械の高速度化、高性能化を指向し、同時に高額化が進んだ。しかし、見かけの製品原価は、低減したものの、設備が高額であるため、停止時間損失は大きく、生産対象体の切り替えを可能な限り避ける大口ロット生産、すなわち連続的同期化が進んだ。部分部分と全体との、時間的整合性の概念を欠いた進化は、費用側面からの成功を得たものの、極めて長い生産期間を招いた。この結果は、一定の売上高利益率の確保には成功したものの、経営資本回転率を低下させることとなった。また、個々の部分における過度の標準化は、製品全体としての進歩を阻害し、例えばオイルショック時の、小型・経済車の必要性という新たな社会情勢に対する対応を困難とする状況を作りだした。

一国を代表する総合的工業である自動車産業で採用された生産システムは、他の産業においても大きな影響を与え、同様の効果と問題を生じせしめた。

これに対して、第2次世界大戦後のわが国においては、老朽化した設備、不十分な人員で、かつ極めて限られた市場規模中で、トラックから乗用車まで生産を行うという、多品種少量生産が必要とされる状況におかれた。この中では、部分部分の標準化による量産の効果は期待できず、しかも、輸入車、あるいはノックダウン車と価格、品質において、同等あるいは上回ることが必要とされた。

このような状況の中で、トヨタ自動車工業㈱の大野耐一氏を中心として開発されたのがトヨタ生産方式であり、その思想の中核をなすのが、ジャスト・イン・タイム、すなわち短生産期間を目指す考え方である。同一の売上高利益率であれば、短生産期間によってもたらされる経営資本回転率の向上によって、企業はより多くの利益を得ることが可能となる。

トヨタ生産方式は、工程系、作業系、管理系の調和的発展を目指したシステムであって、合衆国において確立された現在の過度の標準化による多種大量生産を前提としなかったため、市場需要の変化に柔軟であって、今日、極めて成功していることは論を待たない。また、現在では、その効用が理解され始め、他産業への応用が始まっている。

しかし、ジャスト・イン・タイム化による生産期間短縮は、経験的、実務的に行なわれたものであって、体系、及び科学的接近は始まったばかりであって、その考え方の基礎となるべき、生産期間課題については、見るべき研究がなされていない。

生産期間に関する研究は、我が国においては、昭和30年代初頭まで散見されたが、その後の高度成長による大量生産によるコストダウン効果が劇的であったため、生産における時間課題が第二義的なものとして取り扱われ、一般には、生産管理の課題として指標すら用いられなかった。同様に、合衆国においても、量産による効果が注目され、現在生産管理では、標準化された製品・部品の連続生産を可能とするために、EDPSを用いたMRPが中心的に利用されるに至っている。ドイツにおいては、REFAが、工程管理の指標として、生産期間の工程責任部分については定義され、分析法、短縮方策のいくつかが提案されているが、経営全体からの視点、生産システム全体の変革による短縮まではふれられていない。

本論文は、生産システム設計において、原価低減と同等の意味を持つ生産期間に着目して、その構造、短縮の効果、経営への影響、短縮方策について研究を行ったものである。

生産期間研究の意義

生産期間は、経済学の分野において、従来から資本利用の有効性を示すものとして定義されてきた。しかし、今日の設備の巨大化・高性能化によって、ある資本投資が行われた場合、その投資はつねに、保全のための追加投資が行われ、継続的に利用されることとなった。このため、上記の面からの生産期間の測定、評価はきわめて困難となった。反面、消費の高度化に伴い各企業はきわめて多様な製品をきわめて短い製品ライフサイクルのもとで生産することを強いられている。ユーザーニーズに答えた生産を行わねば、つねに滞貨を生じ不良在庫として企業経営を圧迫したり、販売機会を失うことによる損失を生む危険を同時にもつこととなった。両者を同時に解決するために目標として必要とされたのが、資材の投入から製品完成までの時間の短縮である。一般に生産管理における課題は、製品品質(quality)、原価(cost)、納期(delivery)の達成であるが[89]、時間課題については、第2義的なものとして取り扱われがちであった。しかし、今日生産管理において時間の重要性は増大しつつある。本章では、時間課題の中心をなす、工程内の加工対象品の移動速度、すなわち生産期間について、これを定義し、研究の意義について考察する。

経済活動と生産期間

資本の利用による社会的富の増大が、現在の企業に与えられた使命であるとするならば、資本の合理的活用が第一義的に考えられなくてはならない。

資本の社会経済機能に注目して、「ボエームヴェルクは、資本をもって迂回生産を可能ならしめる手段として定義したが、この迂回、すなわち本源的生産手段の投入と、完成消費財の産出の間に平均的に経過する時間を生産期間(period of production)と呼んだ。[267]」。同様に、有斐閣経済学辞典[153]においても「本源的生産要素の最初の投入から始まって生産物が完成するまでに経過する平均的な長さである」としている。それは、目的製品に対して直接的に関係する設備・機械であるとか、間接的しか関係しない土地や人に投資され、資本が実際に生産過程で機能して、生産が行なわれることを意味する[267][268]。

また、ケニス[170]は、「資本需要が人口、生活水準(人口一人当りの実質所

得)、資本技術(平均生産期間)の三つの要因に依存する」、とした。迂回的生産とは、すべての資本が直接的に製品の生産に投資されるのではなく、最終目的製品に対して直接的に関係する設備・機械であるとか、間接的しか関係しない土地や人に投資され、生産が行なわれることを意味する[268]。経験的には、多くの投資がなされれば、迂回の程度は高まり、最終的には資本にとり、より効率的な生産がなされるが、時間的な犠牲の上に成されるものであり、この効果は、生産期間の増大とともに逡減するものと考えられる[170]。生産期間とは、生産のために必要とされる資本要素が、投入され生産され、そのすべてが完了までの時間経過として定義されていると考えることができる。

本論文においては、広義の生産期間を、「資本が本源的に生産活動のために投入され、最終製品の引渡しを終了するまでの時間」と、定義する。均等に資本が充填された状態においては、平均生産期間はこの半分となる[65]。

しかしながら、広義の生産期間は、議論のある概念であって、とくに生産期間の測定については困難が多い。特に、中間生産物の生産にはいつ始まったかという時間的な尺度が不明確であることが多い[170]。現在では、特定の製品のために労働や設備が用意され、使用され、生産終了とともに廃棄されることは希であり、一般には複数の製品のために供給されるのが通例である。設備投資を見ても新規投資に比べて保全的投資の比重が高くなりつつある。また、ある時点をとっても、切り換え生産により多様な製品が生産されることが多い。第2点として、最終消費財に変化して行く系列において、固定設備の占める割合が重要性を増す場合の問題がある[268]。

また、近年の技術革新は一般に必要な資本の低減を目指すものが多く、一定量の生産に対して必要な資本量は減少する傾向にある。さらに、生活水準の向上がそれ自身で、広義の生産期間の減少をもたらしているということが出来る[170]。このことが、投下資本に占める流動資本(liquid Capital)の増大をもたらし、狭義の生産期間短縮課題として提示させる要因となっている。

生産管理における生産期間の定義

生産管理、あるいは経営工学の分野において「生産期間」の用語は今日、極めて混乱した状態で用いられている。前節において考察したごとく、経営学に

における定義を、「広義の生産期間」名付けるならば、生産管理において、これの遂行職能としての「狭義の生産期間」定義が必要であろう。

熊谷[89]によれば、生産管理の目標は、Q（quality、品質）、C（cost、原価）、D（delivery、時期）にあるとしている。生産システムは、当該生産過程に投入された素価値体が、何らかの変換を受け、高価値体として離脱する過程であり、製品系、作業系、管理系の三者よりこれをとらえることができる。同様に、大須賀[207]は、生産活動において計画される計数は、時間（time）、物量（quality or quantity）、価値（cost）であるとする。この時間的側面が生産管理における生産期間の主題であると考えることができる。

田杉らによれば、「生産期間（production period、produktionsperiode）すなわち作業対象物が工程系列の始点から終点まで進行せしめられる間に要する時間>[272]」と定義している。また、渡辺[293]も同様に原材料から製品に至るまでの期間としている。この定義は、清水[237,238]の紹介したREFAにおける「製造工程時間（あるいは、単に工程時間）」と同一であり、作業員・設備とともに、生産工程に投入される資材を重要視してこの時間的推移に着目する立場である。

これに対して、並木は「生産期間とは、受注（販売計画）に応じて、製造命令が出てから製品が完成（納品）するまでの所要期間をさしている[173]」とした。これは、設計、調達、事務処理等の生産工程外の期間をも含む概念であり、生産の初期段階においては開発期間をも含めており、正常な範囲で実行される場合は基準日程と同一であるとしている[171]。また、日本能率協会東京管理部会編の「生産期間の短縮[180]」においてもほぼ同一の定義を行っており、さらに、生産開始時期、量産期、終末期に分けてとらえるべきであるとする。

広義の生産期間の考え方においては、生産期間は資本の有効的利用の立場から考えだされた概念であり、生産管理の立場から見る狭義の生産期間の定義も、当然この概念の範囲内で行なわれるべきであると考え。とするならば、後者の生産期間の定義は、いわゆる「リードタイム」の工程内における拡張的解釈にであると言うべきであろう。さらに、後節において考察する生産管理における、時間概念の重要性を考慮するならば、前者の考えに基づき定義されるべきである。

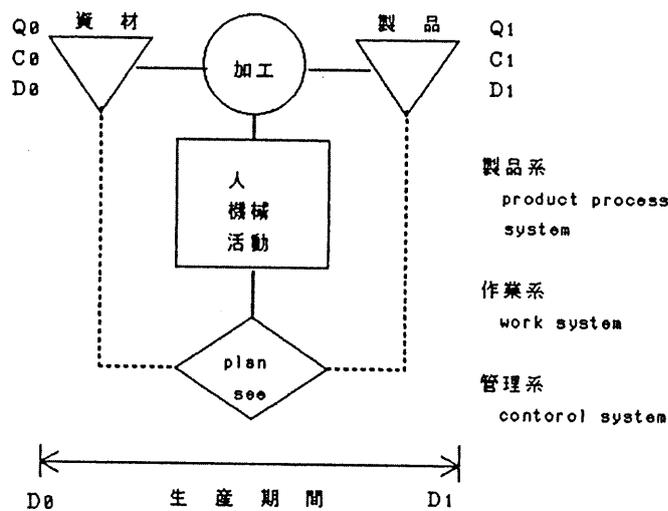


図 0-1 生産システムと生産期間の関連
熊谷[89]より作成した

本論文においては、生産管理における狭義の生産期間（以降においては単に生産期間という）を、資本の一形態として、製品生産のために投下された資材（material）を重視する立場から、図0-1に示す如く「生産期間とは生産管理の責任下におかれた資材の時間的経過量である[102]」と定義する。換言すれば、生産計画と、当該生産シ

ステムの能力により必要とされる時間的精度に基づいて、前システムから資材（素価値体）が投入され、価値変換を受け、製品（高価値体）としてシステムから離脱するまでに経過する時間であるといえる。

生産管理における時間課題

藻利[150]によれば、経営管理の課題は、①なによりもまず経営の生産作業を直接に合理化することであり、経営管理は、まず「生産管理」として成立発展した、②経営の発展に即して自らも、狭義の「生産管理」と「労務管理」に分化した、③現在では、部分管理としての「生産管理」、「労務管理」、およびこれらを総合する「総合管理」からなっている。橘らは、「生産管理（production management）とPuroduction Contorolとの関連把握[263]」について取り上げ、「生産管理における「固有の問題」」の存在を明らかにしている。ここでは、依然として企業経営における中心課題である、「生産管理」の内容とその目的について考察する。

藻利は、Production Managementを生産管理とし、Production Controlについて、工程管理という言葉をあてている。生産管理の内容として、生産管理は「品質管理（quality control, inspection）、費用管理（cost control, accounting）、および方法管理（method control, production engineering, etc.）を包含するが、工程管理にはこれらが含まれないとした。工程管理は、主要な内

容として、製造の時間的側面 (the time aspect of manufacture) に関連しており、製造における、時間的要素 (the time element) にふくまれる要因に集中されるべきであるとしている [150]。

大須賀は、生産管理を、プロダクション・コントロールの内容として、「わが国では一般に工程管理なる言葉で理解されているが、正しくはもっと広義に、生産活動における時間的基準 (time element) による管理を意味するものと理解すべきである [207]」とした。生産管理の範囲は、よって、「製造過程を時間的に管理するためには、製造の時間的経過に関与するすべてのもの、すなわち資材管理や作業管理、工程管理さらに資材・設備の量的管理に至るまで、プロダクション・コントロールに包括されなければならない [207]」とした [208]。

田杉・森によれば生産管理 (production management) は、製造活動を直接的に管理する機能に限定され [212]、プロダクション・コントロールは時間管理と品質管理からなり、時間的進行を対象とする工程系列に対する工程管理と、時間の量を対象とする作業管理を中心的な内容として、運搬管理、機械管理および治工具管理も時間的管理として統一的に取り扱われる。間接的管理である原価的管理は、プロダクション・コントロールに対して、その合目的性を与えるものとして位置づけられる [272]。

以上の三者の生産管理、およびプロダクション・コントロールに対する考察は、生産管理における中心的管理対象としての、「時間」重要性を見いだすものであって、プロダクション・コントロールが、時間を中心として展開、発展してきたことをものごとがっている。

プロダクション・コントロールの成立は、テーラーの課業管理に始まるものであると考える。工業生産が量的にも質的にも増大して、生産職能の組織的分化が進むにつれ、生産管理は作業管理と工程管理を成立させた。さらに、資材管理、設備管理、運搬管理、治工具管理をも時間的管理として成立包含させるに至ったということができよう。その後のさらなる、生産の高度化、大規模化により、製品品質の設定、生産システム・管理システムの設計も生産管理の機能として組み込まれるようになった。これらの諸機能は、時間的管理としてとのみとらえられる枠からは徐々に拡大した。大須賀および田杉においては、生産管理は、プロダクション・コントロールとともに、品質管理、原価管

理も含むようになった。これらの機能は、初期においては、プロダクション・コントロールにおいて、すでにその職能として含まれてきたものである。さらに、時間的管理として統一されていた設備管理や資材管理も製品の品質、原価に直接的に影響を与える点が重視され、設備管理においてはプラントエンジニアリング、また、TPMとして、工場計画、設備設計・計画、保全管理システム設計の内容を含むように拡大した。

今日では、生産管理はこれらの個別的管理の総合的体系として理解されねばならないであろう。すなわち、熊谷[89]の提唱する、製品の価値条件を決定する要件としての、品質（quality）、原価（cost）、時間・量（delivery、quantity）に関する管理を、基本的な課題として、生産要素である労働量（man）、設備（machine, tool）、資材（material）を統合的に管理することがその総合的職能となっている。しかし、生産管理、プロダクション・コントロールにおいて管理されるべき中心的課題は、直接的管理要素として「時間」によって定義されうる領域であることは現在においてもその重要性にかわりはない。

生産管理における生産期間の意義

前節において、生産管理における「時間」の重要性について考察した。ここでは、「時間」の評価の基準について考える。

田杉によれば「その「時間」は、物すなわち<作業対象物の生産過程を移行する前進速度>と、人すなわち<作業者の行う作業時間>の二者においてとらえられる[272]）」としている。前者は、生産対象体が投入されてから、製品として産出されるまでの時間的経過を対象とする管理を指向し、後者は作業対象の単位当りに必要な作業時間の減少、換言すれば一定時間当りの作業量の増大化を対象とする。同様に、日本能率協会の編纂した工程管理[179]においても、生産合理化の2大目標として、難儀をせず（多くの労力を使わず）、早く（生産期間の短縮）にあるとしている。

生産管理における時間的合理化の方向としては、速度的ならびに量的観点からの接近法が可能であって、この両者に立脚した管理が必要とされる。当然のことながら一工程から成る生産システムでは作業時間に対する管理が、時間的経過を対象とする管理を包含している。まさにこれが、テーラーの課業管理に

ほかならない。しかし、生産の量的拡大と、製品要求品質の高度化は、生産活動の統合の困難さを増大させ、分業化を必然の方向とした。そして生じたそれぞれの工程の全体的調整が、生産管理の中心的課題となったのである。単一製品を対象としたフォードの同時管理は、その一つの解答であった。しかし、製品の多様化は、新たな対応を必要としている。

特に、今日では、設備の高性能化、高額化と同時に、消費生活の向上によって多様な製品を同一の設備で生産する必要に迫られている。この場合、設備は常に、切り替えの為の負担を強いられ[272]、原価の低減と、品質の維持のため、まとめ生産を余儀なくされて、この傾向はますます強まっている。

以上のことから、今日の生産管理の課題は

- 1、品質の実現
- 2、原価の低減
- 3、生産期間の短縮

を、同時に達成することが、本質的对象であるといえると考えられる。

生産期間の構造

生産期間は、前節で広義・狭義の二面より定義されることを考察した。広義の生産期間の定義に立つならば、その構造は、マルクス[123]によれば、投下流動資本は、貨幣資本、生産資本、商品資本という個別資本運動を経過し、総流動期間を単位として循環運動をなすものと考えられる。総流動期間は、生産期間と流通期間からなるとされる。さらに藻利[157]は流動資本回転率について生産期間をさらに、労働期間、自然期間、予備期間に分解されるとしている。しかし、中山[164]によれば、この広義の生産期間の測定は極めて困難であることは明かである。

これに対して、本論文で定義した狭義の生産期間、すなわち、「生産期間とは生産管理の責任におかれた資材の時間経過量である」の立場に立つならば、きわめて明確に生産期間の構造について定義し得る。

しかし、これに対してもいくつかの定義が見られる。

1) R E F A [213] は資本に関する重要な問題には、資材の調達・加工等の日程の問題、在庫の問題、使用率の問題があるとし、この最適化に課題があると

する。この資材にかかわる時間として生産時間（資材時間）を定義する。このうち、変化時間とは、資材ないし、作業対象の形状・状態・位置等が変化することに伴って発生する時間を示す。さらに、検査時間、在庫時間およびは握し得ない時間から成る[237]。さらに清水は[238]、オーダーの流れを、運搬、保管、段取り、実施の4部課題に分け、この調査例を報告している。

2)新郷[242]は、生産期間を工程構造そのものからとらえ、加工、停滞、検査、運搬に4分類で調査し、この内停滞時間の割合が、極めて高いことを示している。この内、加工時間の短縮には非常な労力が必要であるが、停滞は割合容易に、いかも大幅に短縮できることを示している。さらに、田杉、森[272]は工程構造から生産期間をとらえているが、さらに、停滞時間を、ロット待ち、加工待ち、アッセンブル待ち、検査待ち、運搬待ちに分けて、5例について調査結果を示している。同様に、渡辺[293]は、停滞時間について、ロット待ち（加工待ち、検査待ち、運搬待ち）、工程待ち（検査待ち、運搬待ち）に細分して示している。

3)並木[171]は生産活動を、設計・調達・作業まで広義に考える。この中で生産期間を、受注（または製造命令）から納品（または完成）までの期間とし、さらに事務処理の時間を加える。外注日程の短縮・準備段階の迅速化・生産活動の同期化の重要性について指摘している。

しかし、これは生産期間を調査する立場からは、リードタイムの拡張的立場であって、本論文ではとらないものとする。

以上の各論において、狭義の生産期間は、生産工程（資材の時間経過）より、取らえられるべきであると考ええる。

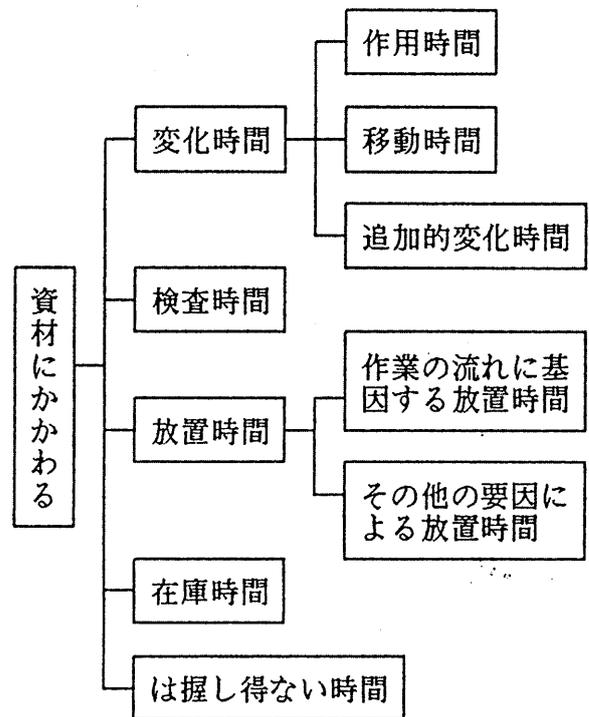


図0-2 REF A方式による資材時間の構成
清水[237]による

表0-1 生産期間の構成

生 産 期 間	資 材 在 庫 期 間		資材・部品が、生産システムの支配下におかれてから供用が開始されるまでの期間	
	製 造 期 間	加工時間	加工サイクルタイムの構成時間	
		検査時間	検査サイクルタイムの構成時間	
		移動時間	工程内、工程間、職場間における運搬時間	
		ロット待ち	ロット・バッチで加工するために発生する待ち時間	
	停 滞 時 間	工 程 仕 掛	段取り	品種切替時間、もしくは準備・後始末時間
			工程待ち	生産システムの活動状態において、次工程内に前製品が存在するために発生する待ち時間
			工程休止	生産システム側の遊休状態による、物の停滞現象であり、確定的な場合と変動的な場合がある。
			工程保管	工程内において、保管的処置が付随する停滞時間
	製 品 在 庫 期 間		生産システムの責任として在庫される期間	

生産期間は、直接的には投下流動資本の縮小による回転率の向上を目的としている。同時に種々の短縮効果により生産システムの高度化を図るものである。この視点より、生産期間を<ある資材が生産システムに投入されてから価値を付加され、製品として需要者に提供されるまでの期間>、すなわち循環単位としての流動資本の移動の過程と考えられる。また資材投入とは、流動資本の投入の始点から考えられるべきである。本論文においては、工程構造において生

表0-2 生産期間構成に関する研究比較
[151] [237]

		[151]		[237]		[272]		[172]		
		購買期間		在庫時間				材料部品 調達在庫		
生産 期間	製造 時間	加工時間		作用時間		加工時間		部品加工 組立作業 包装		
		検査時間		検査時間		検査時間				
		移動時間		移動時間		運搬時間				
		停滞 時間	ロット待ち		追加的変化時間、放置時間 (作業の流れに基因する放置時間、その他の要因による放置時間) 在庫時間		停滞時間 (ロット待ち 加工待ち 検査待ち 運搬待ち アッセンブル待ち)			
			工	段取り						
			程	工程待ち						
			仕	工程休止						
		掛	工程保管							
		製品在庫期間		販売期間		在庫時間				

生産期間を定義し、表0-1 に示す構造を提案する。

表0-2 は、各論と本論文で提案する生産期間を構造を比較したものである。

生産期間は、下記の3期間に大分類される。

(1) 資材在庫期間……主として前生産システムの発注リードタイムおよびロット制約等により生ずる。生産システム間の同期生の不均衡により発生する。

(2) 製造期間……生産システム構造（工程・作業・管理）より発生する。加工・検査・移動・停滞からなる。分析・改善のための中心的位置を占める。工程休止が、測定段階において特に注意を要し、かつ大きな比重を占める。これは、Ⅰ）工程の計画休止、保全、工具交換、作業余裕等の確定的要素、Ⅱ）設備故障、修理、作業ミス、他部品待ち、管理不良等の変動的要素に分けて考えられる。生産システム固有の条件によって分類されるべき性質を有している。

(3) 製品在庫期間……需要変動と生産システム性能との相互関連によって発生する。生産システムの設計・運営の良否の判定尺度となる。

この内、測定段階において特に注意を要し、かつ大きな比率を占めるのが、製造期間における工程休止である。この内容としては、

1) 確定的要素…工程の計画休止、保全、工具交換・作業余裕等

2) 変動的要素…設備故障・修理、作業ミス、他部品待ち、管理不良等

の、2要素に分けて考えられる。しかし、この構成比は生産システム固有の条

件により大きく変動するものであって、生産期間の分析・改善においては、十分にこれを考慮する必要がある。

第1章 生産期間短縮の効果

1.1. 生産期間短縮の今日的必要性

生産期間短縮課題に対する研究は、昭和20年代まではある程度みられたものの、昭和30、40、50年代には、工程管理あるいは在庫管理の一部として認識されているにすぎなかった。これは、移動組立法あるいは、設備の高性能化が、高度成長時代の大量加工に対して圧倒的にその威力を発揮し、作業工数低減を可能にしたことと、作れば売れる市場環境によって、原価低減にのみ目が向いていたためであろう。

しかし、近代の市場環境の変化は生産経営に対して、生産期間課題の重要性を再認識させるに至ったと考えられる。この一つのあらわれが、トヨタ生産方式によって提案されたJIT（ジャスト・イン・タイム）の他産業への著名化、普及である。これらは1)階層的構造を有する企業間関連あるいは最終ユーザーにおいても、技術革新等の急速化などの社会変化に対応するための納期短縮要求が強い。2)製品のライフサイクルが短命化かつ不確実化したために、生産期間の長さは、直接品切れおよび不良滞貨の増大に結び付く。3)同時に、製品の多様化要求は、従来の大量生産方式で投取替等のロスの発生により、必ずしも作業工数の低減および、生産期間の短縮をもたらさず、管理の複雑化をもたらす結果となった。4)企業競争の激化は、価格競争として表われ、製品に占める原材料費率が増加した。このため生産期間の長さが投下流動資産の多寡に大きな影響を与えるようになったためであると考えられる。

このように生産期間の短縮は、経営目標および生産経営の目的として本来的に存在していたものであり、今日および今後の生産経営においてさらに重要な役割を有するものであると言えよう。

本章では、上記の視点より生産期間短縮の効果、阻害要因および生産期間短縮方策の体系について考察する。

1.2. 生産期間短縮の効果

生産期間短縮の効果は、広義の生産期間短縮の第一義的目的である「資本の

効率的利用」にあるといわねばならない。これは、同一の生産に対して必要な固定資産を減少されることと、投下流動資産の極小化、すなわち流動資産の回転率の増加にある。狭義の生産期間短縮は、まさにこの流動資産の回転率向上にあるといえるであろう。第二は、対市場関連より生ずる生産期間短縮の効果である。第三は、前章において考察した生産管理の最大の管理対象である「時間」が短縮化されることによる、管理精度の精緻化による効果である。

1.2.1. 経営回転率の向上

企業の目的は一般に、経営資本利益率の極大化の中にあるといわれる[207]。この構造は[151]、

P' : 経営資本利益率 P : 売価 n : 生産数 K : 経営資本

$$P' = \frac{C \times n}{P \times n} \times \frac{P \times n}{K} \quad \dots \text{式 1}$$

(経営資本利益率 = 売上高利益率 × 経営資本回転率)

と、分解される。

式1に基づいて、全産業、製造業について昭和36年から昭和56年までの、経営資本回転率および売上高利益率の推移について図1-1に示す。各業種、企業対して分析を行なった結果の詳細については、1.3.において考察するが、概略的に見るならば、近年ほとんどの業種、あるいは企業において、売上高利益率は減少し、経営資本回転率は増加する傾向にある。経営資本利益

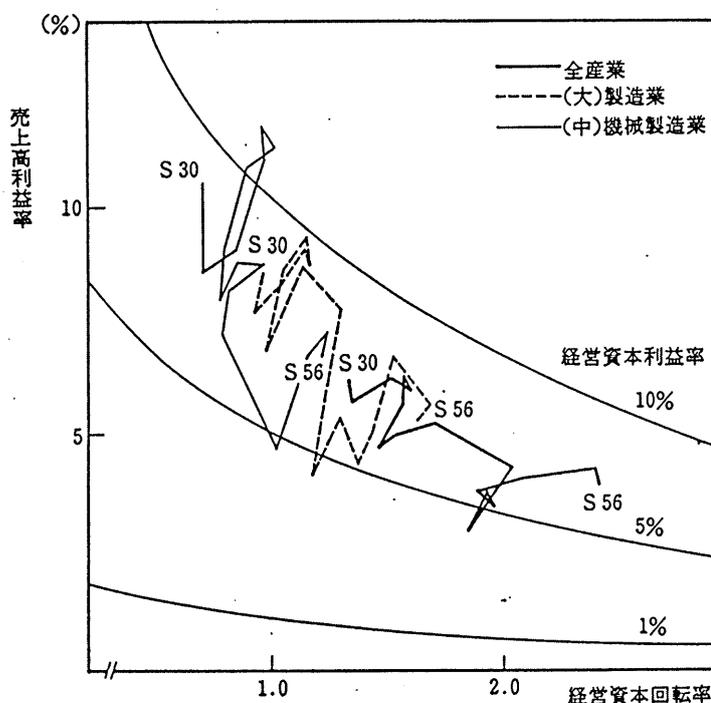


図1-1 経営資本回転率と売上高利益率の推移

率は、すべての企業における経営活動の目標としてとらえられる。従って、この値の高い業種へは他業種からの参入が予想され、反対に低い業種に属する企業は他業種への展開、多角化を進めると考えられる。特に近年はこの流動化が活発であると考えられ、経営資本利益率は各業種ともマクロ的には平均化すると考えられる。

しかし、企業競争の活発化は製品の低価格化を進め、売上高利益率の低下を招く。これに抗して従来と同一の経営資本利益率を維持するためには、経営資本回転率の増加が図られているものと考えられる。

経営資本回転率の増加のためには、式1が、さらに

f' : 減価償却 K : 経営資本 F : 固定資本 N : 回転率 R : 流動資本

$$\frac{P \times n}{K} = f' \times \frac{F}{K} + N \times \frac{R}{K} \quad \dots \text{式 2}$$

と、分解される。

従って、経営資本利益率の増加は、①売上高利益率の増加、②（経営資本に対する）固定資本の比率の減少、③流動資本の回転率の3点にあることがわかる。①の売上高利益率の増加は、一定の原価に対してより多い利益を期待するものである[207]。これは、現在では製品の高付加価値化として理解されている。売上高利益率の増加を換言すれば、同一の売上高に対する費用の減少であり、一般に現在までインダストリアルエンジニアリングの中心的課題として理解されてきた原価低減にほかならない。しかし、すでに大須賀[207]は、「生産コストの引き下げこそ、生産管理の第1の目的である。（中略）資本回転率の増大は、生産期間の短縮によって招来されることとなる。この生産期間の短縮こそ、生産管理の第2の命題にほかならない。」と指摘しているが、主流とはなり得ていない。

②の、固定資本率の低減は、減価償却率が一般には一定の値であることから、一定の生産のために必要な固定資本そのものの減少がはかられなくてはならない。まさに、「最近の発明は資本節約的なタイプのもので、一定の生産に必要な資本投下量を減少させる方法を求める傾向がある[170]」といえ、これによって広義の生産期間の短縮がはかられているのである。

③の流動資本回転率こそ、生産期間の経営面からの表現にほかならない。し

かし、生産期間の短縮は、近年トヨタ生産方式等により重要視されるまでは、原価低減に比べてわが国においては生産管理の責任として考えられることがあまりなかった。これは、従来、生産管理において評価基準とされたのは、原価低減であり[207]、品質の実現であって、生産期間に関しては単に納期管理としてのみ考えられてきたかにほかならない。この理由は、生産期間の短縮によってもたらされる経営資本回転率への効果が製造原価に反映せず[179][242]、また、定量的把握法が不十分であったためと考えられる。

生産においては、原材料に投じられた資金は、仕掛品として加工され製品として出荷される。この生産期間を短縮することによって、経営資本回転率は向上し、同一資金によってより多くの利益を得ることが可能となり、また、余剰資金の活用も可能となるのである。

この点に着目した考察は、小川[189]、渡辺[293]、並木[171,172]などがあげられる。反面、在庫に着目し、生産期間の短縮が在庫減少に結びつくとした研究も多い[293]。また、この在庫減少によるスペース効率に言及した改善例も近年紹介されるようになった。

生産期間の短縮は、工程における生産対象体の移動速度の増加により達成される。後章でより詳細に検討するが、基本的には、①滞留時間の減少、②加工速度の増加により達成される。この観点からみるならば、生産期間短縮による、経営面への効果は、第1義的に、経営資本回転率の増大であり、在庫減少はその手段構造の一端を成すものであると考えられる。

経営資本回転率に与える生産期間の影響についての、定量的効果は1.3.において詳細に検討する。

1.2.2. 対市場対応力の向上

近年製品の多品種化や少量化、あるいは必要性能の高度化が進んでいる。このような状況において生産期間の短縮は有効な対応方策となる。

最大の効果は、納期の短縮による受注競争力の増加と、市場変化への対応力である。

1) 納期の短縮化・・・平均的には生産期間の短縮は納期（リードタイム）の短縮をもたらす。短納期化は、受注競争力の増大として、売上増大、価格政策

上、利益があることは容易に想像できる[180][293]。

2) 市場の変化に対して対応が容易になる・・・生産期間(PP)と対市場リードタイム(LT)の関係において、 $PP > LT$ の場合には見込み生産を行なわなくてはならない。この場合、必要な安全在庫量は $LT - PP$ の大きさに比例する。換言するなら、需要予測における誤差は、予測必要期間に比例するため、生産期間の短縮は需要予測の容易化をもたらす[42][189]。

また、 $PP < LT$ の場合においては、市場変化による生産計画の変化に迅速に対応が可能になる[180]。

受注生産の状況においては、設計・打ち合せにより多くの時間を使うことが可能となりに良品の生産を目指すことが可能となる[293]。

3) 製品在庫を中心とした在庫費用の低減・・・生産期間が短縮され $PP < LT$ となれば、原則的に製品在庫を持つ必要がない。また、納入期間より生産期間が長くとも、その差の少ない方が必要とする製品在庫、仕掛在庫、資材在庫は少なくてよい。これにより、在庫資本の減少、およびそのために必要な金利負担の減少をはかることができる。このことは同時に固定資本化している倉庫設備費用、土地費用、倉庫人件費、空間費用、労働的支出である倉庫入出庫に必要とされる運搬費用、製品にかかわる錆・腐敗等の品質劣化損失の節減が可能となる[42][172][180][189]。

4) 生産終末期における効果的撤退の容易化・・・生産終末期における生産は、そのまま不良在庫となる可能性がある反面、製品系列上の必要性から生産の必要がある場合がある。このとき生産期間の長さはそのまま不良な在庫の発生確率を支配する[180]。

生産期間短縮による対市場競争力の効果・調査例については2.4.および2.5.で検討する。財務諸表上は、売上高の増大と相反する棚卸資産減少として測定可能である。

1.2.3. 生産必要面積の減少

現在、わが国では地価の高騰により生産投資全体に対する不動産部分は、無視できない割合となっている。また、生産量の増大への対応や、新製品の生産に必要な土地を、新たに取得する事は困難である。市場と離れた遠隔地へ工場

立地する事は、地価対策からは有力であるが、①移動距離の増大やそれに伴う時間の必要、②生産期間の増加、③中間ストック地点の必要、④消費者から遠ざかることによる消費者ニーズの汲み上げの困難化、⑤若年労働力の不足の問題がある。

このため生産期間を短縮することにより、製品在庫の削減、中間在庫の圧縮により、現在必要としている生産スペースを合理化し、新たな製品のため空間として利用する可能性が注目されている。

雑誌、新聞記事等では定性的ではあるが、これらの効果が注目され、生産期間短縮によって不用化された倉庫スペースで「運動会」を開いた例が紹介され注目を浴びた[252]。

生産期間短縮によって、生み出される不用空間は、生産期間短縮によって生ずる在庫削減量と、生産期間短縮のために必要とされる生産ラインの専用化、設備の増大化の差として現れる。

実際の紹介例（表1-1では、生産期間が約60%削減された場合の、生産面積削減量は約5.6%であつが、雑然とした物品置き場がストア化され、長期滞留品等は排除が可能となった。

表1-1 生産期間短縮と生産スペースの関連

(三菱電機[131]による)

		短縮前	短縮後	低減短縮率
生産期間		5 日	2 日	60 %
仕掛削減		6.9 日	3.0 日	57 %
生産ライン長	メインライン	9.0 m	4.5 m	50 %
	サブライン	13.0 m	7.7 m	41 %
生産スペース	作業面積	59.0 m ²	31.0 m ²	47 %
	物品置き場	139.0 m ²	0.0 m ²	100 %
	ストア	0.0 m ²	151.0 m ²	—
	その他	0.0 m ²	16.0 m ²	—
	合計	198.0 m ²	187.0 m ²	6 %

1.2.4. 生産管理の精度の高度化

前章において考察したごとく、生産管理はまさに「時間」を基準とした管理であった。この生産管理に必要な精度は、対象とする資材の移動速度、換言すれば生産期間により決定される。生産期間が短縮化されれば当然、そのために生産管理は精緻化されねばならない。これは、生産計画、進捗統制、段取替のすべてにわたりおこなわれる必要がある。時間に関する管理の精緻化は、当然の如く管理の応答性の向上を伴うものでなくてはならず、生産管理システム成長の動因となると予想される。

1.2.5. 生産システム改善への動因

生産システムにおいて生ずる設備故障、作業ミスあるには、段取時間がかかる等解決すべき多くの問題が存在している。生産プロセスにおいて、バッファーとしての在庫を持ち生産期間を増大させることは、これらの問題の解決を防ぎ、改善に対する意欲を減少させるところとなる。

生産期間を短縮させ、在庫量を低減させることにより、問題点を顕在化させることになり、その改善を実施する過程から、より性能の高い生産システムへの展開が可能となる。

1.2.6. 社会活性化への寄与

資材が入手され、それぞれの工程において加工され、製品として需要者において効用を発揮するまでの期間を短縮することは、それ自身、社会的に意義のあることであると言える。

サービス型産業、たとえば、ある地域に移動するために必要とされる交通所要時間あるいは官公庁において見られる窓口所要時間等に見られるように、工的生産においても、応答時間短縮は活力の高い社会実現のための基本的課題であると言えることができる。

1.2.7 その他

生産期間の短縮の効果は、前述以外にも多く考えられるが、主な効果について以下列挙する。

- I) ユーザーの嗜好の変化に対応しやすい
- II) 受注に対する優位性を確保できる
- III) 仕様変更被害を、くい止めることができる。
- IV) 受注後、製品設計に十分に時間を使うことが可能となり、良品の設計をめざすことができる。
- V) 客先効用の向上

1.3 生産期間が経営資本回転率に与える影響

1.3.1. 調査の目的

昭和48年10月の第1次オイルショック、昭和53年12月の第2次オイルショックを境として日本の産業構造は大きな変貌をとげた。生産管理では従来の単品種大量生産体制から、多品種少量生産体制への対応が迫られた。ここでは、このドラスチックに産業構造、生産体制の変様が進んだ期間を含む昭和45年から昭和56年を調査対象として、企業経営の課題の一つである経営資本利益率について、この重要な構成要素である経営資本回転率を中心として分析を行う。経営資本回転率がいかなる構造であるかを考察し、経営資本回転率に影響を与える要因について、経営財務資料を用いて定量的分析を行なう。特に、生産期間関連の各要因に着目し検討することを目的とする。

1.3.2. 分析の手順と方法

1) 分析の手順

経営資本回転率に影響を与える要因について検討するために以下の手順によって分析を行なう。まず、経営資本回転率と影響要因間に仮説を設定し、マクロ的な分析を行なう。次に経営資本回転率の構造式を設定する。構造式に基づいて、各業種ごと、各企業ごとに要因による主成分分析を用いてパターン分類を行なう。さらに、構造式を用いることによって実験計画による分散分析を行ない、経営資本回転率の変動に対する各要因の寄与率を求める。この結果に基づいて応答解析を行ない、経営資本回転率と各要因間の回帰式を設定する。回

帰式を用いることによって、各要因が社会的、経済的影響を受けて変動した場合や生産期間関係の要因が生産管理政策により変化された場合、経営資本回転率にいかなる寄与があるかについて予測、シミュレーションが可能となる。

2) 用いた資料

用いる資料は、調査期間中の資料が調査対象業種、企業について統一的に得られることを考慮して、三菱総合研究所発行の「企業経営の分析」、昭和30年～昭和56年の計27年分（45冊）を用いた。以下用いる用語、勘定科目、各企業の呼称は、特にことわらない限りこの「企業経営の分析・昭和56年度[132]」に準拠するものとする。また、この資料は昭和45年より勘定科目が変更されているため、分散分析以降の分析には昭和45年～昭和56間の12年間を中心的に取りあげる。分析対象は表1-2にしめす38業種（大、中、小分類の合計）とする。またいくつか業種から注目される企業を図1-6に示す72社を、原則的に業種単位で抽出した。

3) 生産期間の推定式

生産期間（日）を原材料期間、仕掛期間、製品期間に分解し、國弘[114,115,116]、藻利[152]を参考として以下の式により、推定する。

$$I \text{ 原材料期間} = \frac{\text{原材料貯蔵品（期末）}}{\text{原材料費}}$$

$$J \text{ 仕掛期間} = \frac{\text{仕掛品（期末）}}{\text{原材料費} + (\text{労務費} + \text{経費}) \times \text{進捗率}}$$

$$K \text{ 製品期間} = \frac{\text{製品又は商品（期末）}}{\text{売上原価}}$$

生産期間 = 原材料期間 + 仕掛期間 + 製品期間

但し、各期間の算出において、日数を算出する場合には、暦日を用い、進捗率は分析期間中の一貫性を保つため50%とする。また、棚卸資産（原材料、仕掛品、製品又は商品）には、資産評価の観点から、期首、期末平均ではなく期末有高を用いた。

1.3.3. 経営資本回転率と各要因の関連分析

1) 仮説の設定

経営資本回転率に影響を与えるであろうと予測される要因には、大別して、

1) オイルショック、為替市動の変動等の社会的あるいは経済的な環境の変化、製品の多品種少量化、製品オプションの増大、顧客要求使用に基づく生産や高付加価値化など、2) 企業の有する本来的な行動特性要因、在庫の不良化、陳腐化防止するためのJIT化[197][198]等に見られる高流動生産化、親企業、納入先業者からのカンバン方式等の導入や短納期化要求[292]の2点にわけて考えることができる。これらの点から、経営資本回転率と生産期間を中心として、いつかの影響要因の関連について仮説として整理する。

仮説1。。。経営資本回転率と売上高利益率の積（経営資本利益率）は経時的に一定であって、近年前者は増加する傾向にあり、後者は減少する傾向にある。経営資本利益率は、すべての企業における経営活動の目標としてとらえられる。従って、この値の高い業種へは他業種からの参入が予想され、反対に低い業種に属する企業は他業種への展開、多角化を進めると考えられる。特に近年はこの流動化が活発であると考えられ、経営資本利益率は各業種ともマクロ的には平均化すると考えられる。また企業競争の活発化は売上高利益率の低下を招き、これに抗して従来と同一の経営資本利益率を維持するためには、経営資本回転率の増加が図られるものと考えられる。

仮説2。。。経営資本回転率は、生産期間によって規定されており、近年の経営資本回転の向上は、生産期間の短縮によって達成されている。経営資本回転率は、その企業の棚卸資産の不良在庫量によっても影響を受けるが、生産管理による生産期間の短縮によってもたらされる流動資本の回転率向上により、大きな影響を受けると考えられる。また、生産システム構造の進展によってこの間は積極的に生産期間の短縮が図られており、この結果、経営資本回転率は向上しているものと仮説する。

仮説3。。。経営資本回転率と原材料費比率（原材料費／製造総費用）の間には、相関関係が存在する。原材料費比率の高い業種企業は、原材料の加工変換による付加価値が低いことを意味する。このことは一定の経営資本利益率を生み出すために、高い経営資本回転率の追求が指向される動因となるものと仮説する。

仮説4。。。経営資本回転率と減価償却売上原価比率（減価償却費／売上原価）の間には、相関関係が存在する。経営資本回転率の向上は、生産期間の短縮

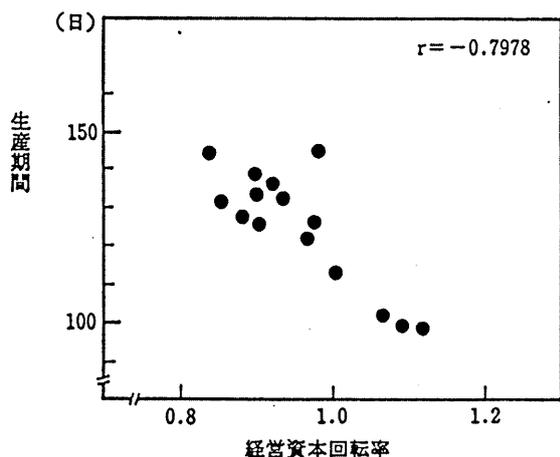


図1-2 生産期間と経営資本回転率の相関（機械製造業）

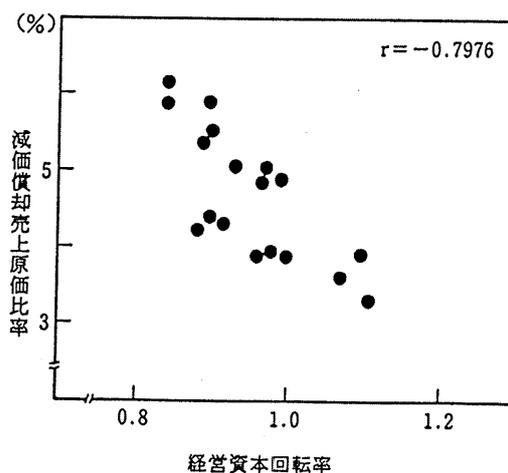


図1-3 原価償却売上原価比率と経営資本回転率の相関（機械製造業）

によると仮定される流動資本回転率の向上と同様に、固定資産比率の低減によっても可能となる。しかし、一般的に固定資産の経営資本に占める比率を直接的に得るのは大変困難であるので、本章においてはこの代替指標として減価償却売上原価比率を用いる。

2) 仮説の検証

仮説1の検証．．．図1-1に全産業および、大分類製造業、中分類機械製造業について、昭和39年～昭和56年間の売上高利益率と経営資本回転率の経年変化を示したが、大・中・小各分類とも、この間一定の傾向として、売上高利益率が減少しているものの、経営資本回転率を向上させることによって、ほぼ一定の経営資本利益率を維持していることがわかる。表1-2の第1欄に示されるごとく、昭和45年～昭和56年において、多くの業種において経営資本回転率は向上し、売上高利益率は低下あるいは、横ばい現象をみせている。逆に、皮革製品製造業を除いては売上高利益率の低下している業種で、経営資本回転率の向上をみせない業種は存在していない。その関係の見られる業種では、ほとんどに相関関係が有意と認められる。この傾向の見られない業種は、石油危機等の経済変動の影響を大きく受けた業種、あるいは業種の規模拡大が全産業の平均よりも、大きな差のある業種であると考えられる。

仮説2の検証．．．表1-2の第2欄に相関分析の結果を、機械製造業について図1-2に示す。我が国における主要産業である、機械製造業、電気機械機器製造業、輸送機械器具、精密機械器具製造業の各産業においては、生産期間と経営

表1-2 経営資本回転率の経時変化、要因との相関分析、分散分析による寄与率

	経年変化	経営資本回転率との相関分析					経営資本回転率に与える各要因の寄与率 (%)															3
		経営資本回転率	売上高利益率	売上高利益率	生産期間	原材料費比率	売上原価比率	A	B	C	D	E	F	G	I	J	K	L	M	I+J+K	I+J+K+F	
全産業	↖	↗	--	-	-	-	2.5	28.4	0.0	3.0	35.9	0.3	7.7	2.2	9.1	1.8	9.1	19.0	54.9			
製造業	↖	↗	-	-	-	-	8.2	9.9	0.1	8.7	41.1	0.4	11.1	6.7	12.0	0.3	1.4	29.9	71.0			
食品製造業	↖	↗	-	-	-	-	3.4	6.3	0.1	18.3	28.6	0.1	10.7	27.0	4.1	0.3	1.2	41.8	70.4			
繊維工業	↖	↗	-	-	-	-	7.5	9.6	0.0	13.7	54.5	0.4	2.7	5.7	5.7	0.1	0.1	14.1	68.6			
木材・木製品製造業	↖	↗	-	-	++	-	4.8	7.3	0.1	2.1	12.9	0.1	1.3	1.0	69.3	0.2	0.9	71.6	84.5			
パルプ・紙製造業	↖	↗	-	-	++	-	4.1	0.9	0.1	16.0	21.1	0.4	20.7	2.5	34.1	0.1	0.2	57.3	78.4			
印刷業	↖	↗	-	-	--	-	0.1	0.7	0.9	3.6	59.0	0.5	0.6	32.6	1.6	0.0	0.3	34.8	93.9			
化学工業	↖	↗	--	-	++	--	7.2	1.4	0.0	25.1	42.7	0.7	6.0	0.3	14.4	1.6	0.8	20.6	63.4			
石油精製業	↖	↗	-	-	++	--	0.2	1.6	0.0	25.3	45.2	1.1	25.2	0.1	0.3	0.7	0.2	25.6	70.8			
ゴム製品製造業	↖	↗	--	-	-	--	1.1	2.0	0.0	6.8	21.0	0.6	10.5	1.4	56.3	0.3	0.0	68.1	89.1			
皮革製品製造業	↖	↗	-	-	-	-	2.0	1.4	0.2	9.2	26.6	0.0	0.5	10.8	45.9	0.3	3.1	57.2	83.7			
ガラス・土石製品製造業	↖	↗	-	-	++	--	18.9	13.9	0.1	12.3	19.3	1.1	1.1	9.5	19.3	3.1	1.3	30.0	49.2			
鉄鋼業	↖	↗	-	-	-	-	3.8	31.4	0.3	5.9	6.4	0.0	28.5	9.1	7.1	7.5	0.0	44.7	51.1			
高炉鉄鋼業	↖	↗	-	-	+	-	3.1	33.6	0.3	5.6	3.9	0.0	29.6	9.9	5.8	8.2	0.0	45.3	49.2			
その他鉄鋼業	↖	↗	-	-	-	--	7.2	11.6	0.0	11.3	36.9	0.1	10.5	0.7	20.0	1.5	0.4	31.1	68.0			
非鉄金属	↖	↗	-	-	++	-	2.7	0.4	0.0	10.3	18.5	0.5	16.8	3.1	41.8	0.3	5.7	61.7	80.1			
金属製品製造業	↖	↗	--	-	-	-	1.7	2.5	0.8	3.9	12.5	0.2	42.3	19.8	12.7	1.8	1.9	74.8	87.3			
機械製造業	↖	↗	-	-	-	--	2.2	3.6	0.1	0.4	33.7	0.0	4.5	27.7	27.2	0.1	0.4	59.4	93.1			
ボイラー・原動機	↖	↗	--	-	--	--	0.4	2.4	0.1	1.2	7.2	0.0	2.9	6.6	77.3	1.9	0.0	86.8	93.9			
工作機械	↖	↗	-	-	++	--	17.0	4.9	0.7	0.8	17.2	0.1	4.9	29.1	23.3	1.7	0.3	57.3	74.5			
その他産業機械	↖	↗	--	-	++	--	0.6	1.9	0.1	1.2	46.1	0.0	2.9	33.5	12.4	0.0	1.4	48.8	94.9			
事務用・家庭用機器	↖	↗	-	-	-	-	8.2	1.5	0.0	1.5	59.0	0.1	5.8	7.9	14.9	0.3	0.9	28.6	87.6			
その他機械部品	↖	↗	-	-	-	-	5.5	7.9	0.3	1.5	39.7	0.0	4.9	14.1	25.2	0.7	0.2	44.2	83.9			
電気機械器具製造業	↖	↗	-	-	-	--	8.8	6.6	0.2	0.6	6.7	0.0	2.0	3.9	66.8	1.1	3.2	72.8	79.4			
産業用電気機器	↖	↗	-	-	-	--	17.3	3.9	0.2	0.6	13.0	0.1	0.2	11.7	52.2	0.8	0.1	64.1	77.1			
通信用・家庭用電気機器	↖	↗	-	-	-	-	6.6	3.9	0.3	26.3	15.8	0.3	2.3	12.1	29.4	0.2	2.9	43.8	59.5			
その他電気機器	↖	↗	-	-	+	-	2.6	7.7	0.1	0.3	59.6	0.1	8.5	4.8	13.1	1.5	1.8	26.4	85.9			
輸送用機械器具	↖	↗	-	-	++	--	2.3	2.2	0.5	0.3	48.7	0.5	0.7	43.8	1.0	0.0	0.0	45.5	94.2			
自動車	↖	↗	-	-	--	--	3.1	1.2	0.2	3.0	51.8	0.4	0.8	30.0	9.5	0.0	0.1	40.4	92.1			
自動車車体・部品	↖	↗	-	-	--	--	1.7	0.8	0.3	1.2	53.5	0.4	11.6	21.9	8.5	0.0	0.0	42.1	95.6			
船舶製造・修理	↖	↗	-	-	-	-	1.5	37.1	0.3	0.4	12.7	18.3	9.3	18.6	1.3	0.0	0.6	29.1	41.8			
鉄道車両	↖	↗	-	-	-	--	7.6	3.3	0.1	1.9	58.6	0.3	8.3	16.3	2.0	1.7	0.0	26.5	85.1			
その他車両	↖	↗	-	-	+	--	5.1	4.6	0.0	15.7	5.9	0.1	56.1	3.9	5.6	1.5	1.4	65.6	71.5			
精密機械器具製造業	↖	↗	-	-	+	-	0.4	2.8	0.1	4.3	7.7	0.0	3.4	17.1	62.1	0.1	1.9	82.6	90.3			
時計	↖	↗	-	-	-	-	0.6	1.7	0.1	0.6	17.3	0.0	1.4	6.5	70.6	0.2	1.0	78.5	95.7			
カメラ	↖	↗	-	-	-	--	2.9	16.5	0.0	6.9	4.2	0.4	1.5	45.8	21.5	0.2	0.1	68.8	72.9			
その他精密機械	↖	↗	-	-	-	--	22.5	17.6	0.0	0.9	3.8	0.0	0.1	38.8	14.2	1.5	0.7	53.1	56.8			
楽器製造	↖	↗	-	-	-	--	16.7	12.2	0.1	6.1	40.0	0.2	1.1	14.2	8.2	0.4	0.6	23.5	63.5			

++：1%水準正の相関 +：5%水準正 -：5%水準負 --：1%水準負

資本回転率の間に強い負の相関が存在している。図1-4に鉄鋼業、自動車を示す。鉄鋼業などは逆の傾向をみせるが、これは、近年における鉄鋼業の製造総費用に対する原材料費の比率の低下という、特殊な生産構造の変化によってもたらされたものと考えられる。特に高炉鉄工業においてはこの関係が強くと見られ、売上利益率と経営資本回転率の間には正の相関が見られる。

仮説3および4の検討。．．経営資本回転率が、原材料費比率あるいは減価償却売上原価比率のいずれかと関連をみせる業種の多いことが、表1-2第2欄に、機械製造業について、図1-3に示される。

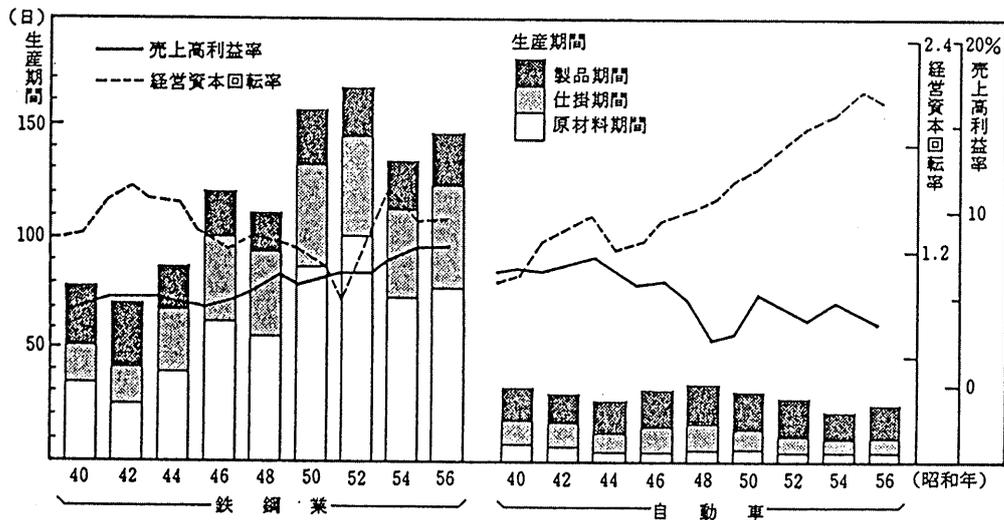


図1-4 生産期間と経営資本回転率、売上高利益率の推移

1.3.4. 経営資本回転率への影響要因の定量的解析

1) 分析方法

各仮説の検討の結果、経営資本回転率の変化に対しては、生産期間のみでなく原材料費比率、あるいは減価償却費率等多様な要因の介在が考えられた。そこで、本節においては以下の方法によって経営資本回転率に影響を与える要因の定量的解析を行なった。まず、経営資本回転率をできる限り意味付け可能で、かつ物価変動等の影響を受けない要因の構造体としてとらえる。次に、各業種、各企業ごとに水準を設定する。これによって、経営資本回転率を観測値とする分散分析を実施し、各要因の観測値の変動に対する寄与率によって、経営資本回転率に与える影響の大きさを考えるものとする。

2) 経営資本回転率の構造設定

本論分では、経営資本回転率を、次式に示す11要因によって表現する。

$$\text{経営資本回転率} = A + B + C \times D$$

$$+ \frac{\text{年間日数} \times (1 + L) \times (1 + M)}{I + (1 + \text{進捗率}) \times J + (1 + L) \times (1 + M) \times K} \times F \times E \times G$$

A: 売上経営資本利益率 = 売上総利益 / 経営資本

B: 残差 (注1) = 残差 / 経営資本

C: 減価償却経営資本率 = 減価償却費 / 経営資本

D: 固定資産比率 = 固定資産 / 経営資本

E: 流動資産比率 = 流動資産 / 経営資本 = 1 - D

F: 棚卸資産構成比率 = (商品又は製品 + 仕掛品 + 原材料) / 流動資産

G: 製造変動費比率 = (原材料費 + 労務費 + (経費 - 減価償却費) + 商品仕入原価) / (原材料費 + 労務費 + 経費 + 商品仕入原価)

L: 労務経費対原材料比 = (労務費 + 経費) / 原材料費

M: 商品対製造総費用比 = 商品仕入原価 / (原材料 + 労務費 + 経費)

すべての式において左辺の記号に付した呼称は、本論分で便宜的に用いたものである。また右辺の名称はすべて三菱総合研究所発行の「企業の経営分析」に依っている。流動資産比率は、固定資産比率から計算可能なため、以下の分析からは要因として除く。この中で年間日数は暦日を用い、進捗率は業種、企業により調査期間中に変動があると推定されるが、資料として統一的に取り扱うために50%とする。

3) 経営資本回転率の構造式による業種・企業のパターン分析

経営資本回転率を説明する各要因の値によって、各業種、企業がどう分類されるかについて主成分分析を用いた。対象としたのは、調査期間中データに欠損値のない37業種60企業である。主成分分析の結果について表X-Xに示す。

業種別分析…各主成分に対する要因の因子負荷量によって、各主成分は以下のように考えられる。売上高変動費率、製品期間在庫費率、商品対製造総費用比、と正の相関が高く、固定資産比率と負の相関が高い。そこで、この軸を低加工・他企業依存型と自社内製造・設備型と名づける。第2主成分は、原料期間と棚卸資産構成比と正の相関が高く、減価償却経営資本率と負の相関が高い。素材加工・備蓄型と、低設備高流動型とする。この結果、各業種は5パターン程度に分類される(図1-5)。

企業別分析…第1主成分は、生産期間に関係する原材料期間、仕掛期間、製品期間と同様に流動に関係する棚卸資産構成比、労務経費対原材料比とそれぞれ正の相関が高い。そこで、これを低流動・高付加価値型と高流動・低付加価値型の軸と名付ける。第2主成分は売上経営資本利益率、商品対製造総費用比、減価償却経営資本率、経営資本回転率と正の相関が高く、減価償却経営資本率、固定資産比率と負の相関が高い。この軸を売上高利益率、製品準備型と低売上高利益率、流動型とする。図1-6中において、各業種ごとに各企業をまとめるとほぼ同一業種に属する企業は近い位置にプロットされる。しかし、同一業種であっても、かなり異なった所へ位置する企業もみられる。

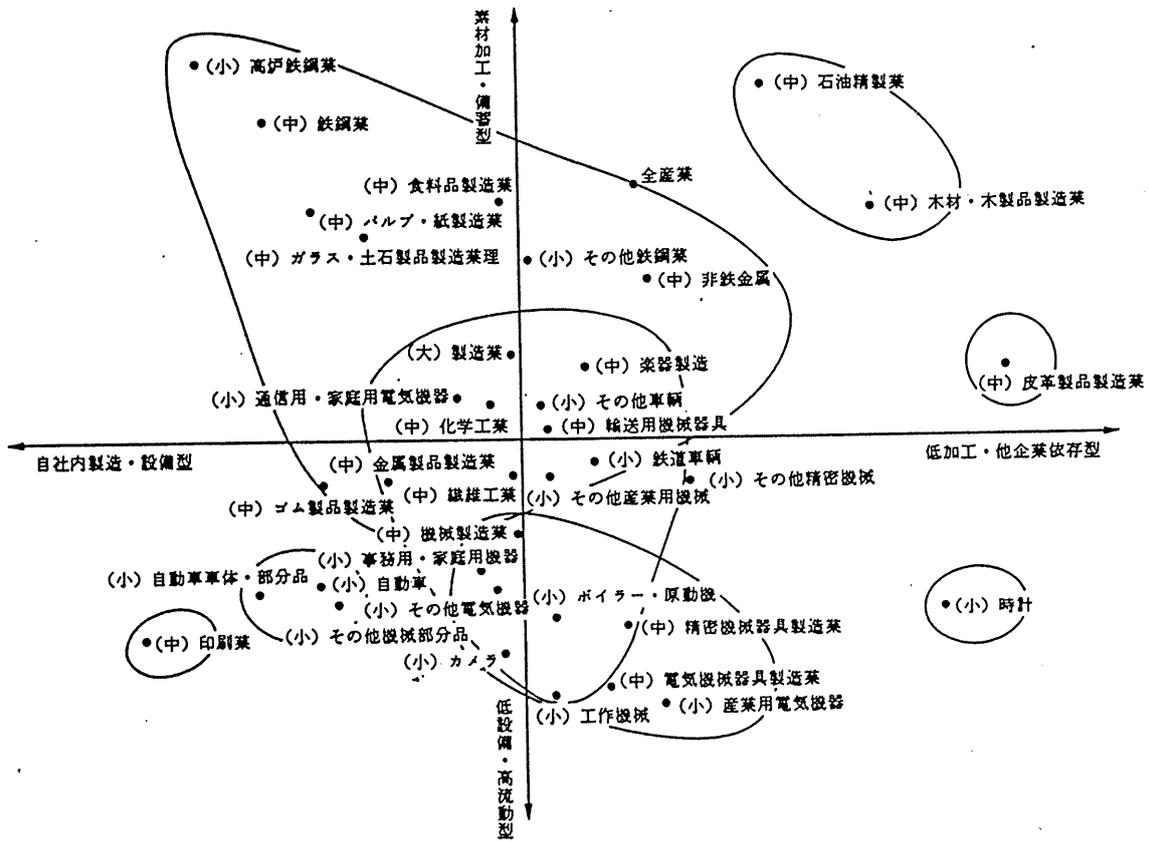


図1-5 経営資本回転率の構造からみた業種の主成分分析によるパターン分析

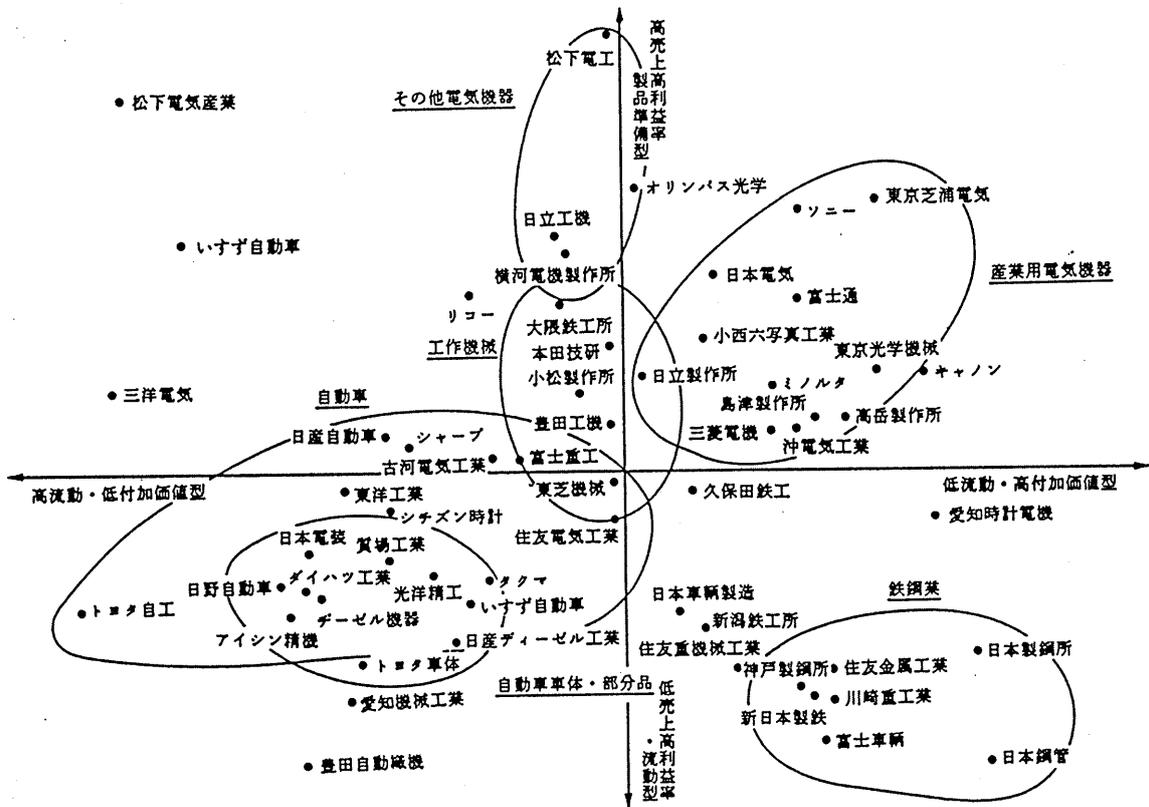


図1-6 経営資本回転率の構造からみた企業の主成分分析によるパターン分析

4) 経営資本回転率に与える各要因効果の分散分析による定量的把握

前節における仮説の検討の結果、経営資本回転率の変化に対しては、生産期間のみでなく、原材料費比率、あるいは減価償却費率等多様な要因の介在が考えられる。本節では、実験計画による分散分析を行ない、各要因経営資本回転率に対する寄与率を業種別・企業別に求める。分析には各要因ごとに3水準を設定し、 $L_{27}(3^{13})$ 型直交配列表を用いる。分散分析の結果により、分散比から寄与率(注2)を計算した。

業種別分析。。。業種別の分析には、昭和46~56年の経年変化の中で各要因の影響を調査するために要因ごとに以下の3水準を与えて分散分析を行なう。

第1水準…昭和45年の各要因の値 第2水準…昭和50年 第3水準…昭和56年

この結果(表1-2第3欄)によって、経営資本回転率に影響を与えた要因の中で、生産期間がほとんどの業種において30%以上の寄与を示しており、棚卸資産構成比率(注3)を加えた場合、70%以上の寄与を示す。生産期間の短縮は、在庫の低減による流動資産の減少そのものを意味しており、棚卸資産構成比率の寄与は在庫投資が、物品から資金へと変化したものと考えられる。固定資産比率の影響も寄与率は小であるが、多くの業種においてみることができる。これは、固定資産の経営資本に占める比率の減少が、経営資本回転率の向上に対してある役割を果していることを示唆している。また前節と同様、鉄鋼業、高炉鉄鋼業における労務経費対原材料比の増加が経営資本回転率に影響を与えている。売上経営資本利益率の影響をうける業種も見られるが、全体的に生産期間が大きな寄与を示す。さらに、各要因の影響の度合によって、各業種をいくつかの群に分けて、それぞれの特色を考えることも可能である。

I) 生産期間の中では、仕掛期間の寄与の割合が大きく、同時に棚卸資産構成比率の50%程度以上の寄与が見られる。これは原則的に企業内において、工程の連結化[7]が進み、JIT化が進められていることを示している。また、これから生み出された余剰資金が他の流動資産へ移行していることを示唆する。…印刷業、その他産業用機械、自動車を始めとする輸送用機械器具の各業種

II) 製品期間の寄与が最大であって、仮説1を満足しない。製品がロットで生産されるか、見込みで生産され、製品の形で在庫を持つものであると考えられる。…木材・木製品製造業、皮革製品製造業、産業用電気機器、精密機械器具

製造業、時計

Ⅲ) 固定資産比率の変化の影響を強く受け、生産期間の影響のあまり見ることのできない業種。装置型の業種で設備投資によって経営資本回転率が決定される。…食料品製造業、繊維工業、化学工業、石油精製業

Ⅳ) 残差の影響の大きな値を示すもの、これはこの間の在庫量の年度間でのバラツキ、つまり在庫水準の変動の大きさを示していると考えられる。受注の変動が大きく相対的に短期的在庫量の変動を示す。…高炉鉄鋼業、船舶製造・修理

Ⅴ) 生産期間の中の原材料期間の占める割合の高いものである。原材料の備蓄があり、これが大量であったり、ある程度長期的な見込みによって変化すると考えられる。パルプ・紙製造業、金属製品製造業、その他車両

企業別分析。…主成分分析による各企業の経営資本回転率に与える各要因のパターン分析では、同一業種内、各企業ごとにかなり異なった位置を示していた。また、業種というマクロではなく各企業というミクロでみた場合は、各要因とも每期ごとにかんりの変動をみせる場合が多い。そこで企業別分析では、実験計画による分散分析の水準として、昭和45年～56年間の各要因の平均値 (μ) と分散 (σ) を求め、以下の3水準を設定して分析を行なう。

第1水準… $\mu - 1.5\sigma$ 第2水準… μ 第3水準… $\mu + 1.5\sigma$

分散分析の結果、業種ごとによる分析と同様に原材料期間、仕掛期間、製品期間の寄与率が高いことが示される。

1.3.5. 経営資本回転率に与える要因影響度の推定式

1) 回帰式の設定法

経営資本回転率に与える影響について分散分析の結果、有意とされた要因については直交多項式(注4)により、経営資本回転率に対する回帰式を求める。これによって、各要因が変化した時、経営資本回転率がいかに影響するかが予測できる。

2) 業種毎による推定式の設定

回帰分析の結果(注5)、全産業において経営資本回転率は

$$\begin{aligned}
 \text{経営資本回転率} &= 2.103 + 0.529 \times (A - 0.186) + 1.069 \times (B - 0.121) \\
 &- 1.255 \times (D - 0.317) - 0.005 \times (I - 43.448) - 0.006 \times (J - 61.516) \\
 &- 0.019 \times (K - 24.808) + 0.263 \times (L - 0.453) + 0.237 \times (M - 1.581) \\
 &+ 4.269 \times (F - 0.257)
 \end{aligned}$$

となる。この結果は、例えば製品期間が調査期間中の平均値24.808日から10日短縮されれば、経営資本回転率が0.19だけ増加することを示している。全産業および製造業とその中に含まれるいくつかの業種について、生産期間に関連する仕掛期間を図1-7に、製品期間を図1-8に示す。矢印間は調査期間中の $\mu \pm 1.5\sigma$ の要因の存在範囲を示している。調査期間中、一般的に各業種とも仕掛期間、製品期間等は短縮されており、この結果経営資本回転率は向上されている。仕掛期間、製品期間、あるいは原材料期間とも調査期間中大きな変化を見せることが理解される。また、この回帰式から、今後の各要因の変化によって経営資本回転率がどの程度影響を受けるかについて、定量的にシミュレーションが可能となる。

3) 自動車産業における企業別の推定式の設定

企業別の回帰分析の結果について、ここでは、この間生産における高流動化、(JIT化)が進められたと考えられる自動車に属する企業を3社取りあげる。

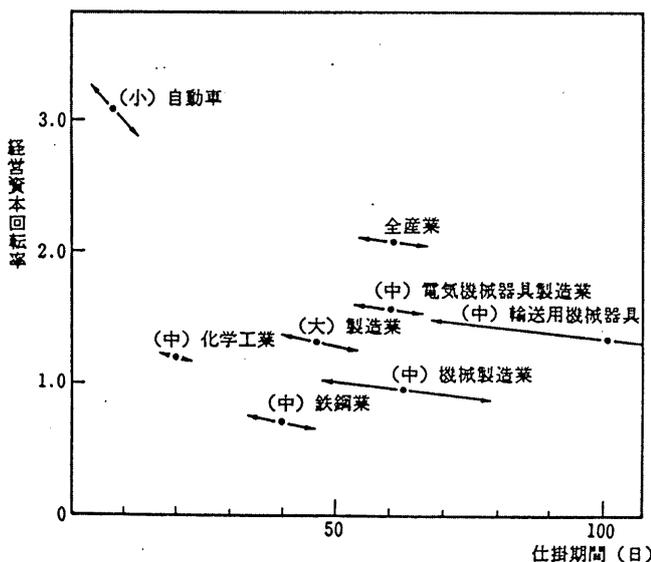


図1-7 直交多項式による仕掛期間からの経営資本回転率の推定(業種)

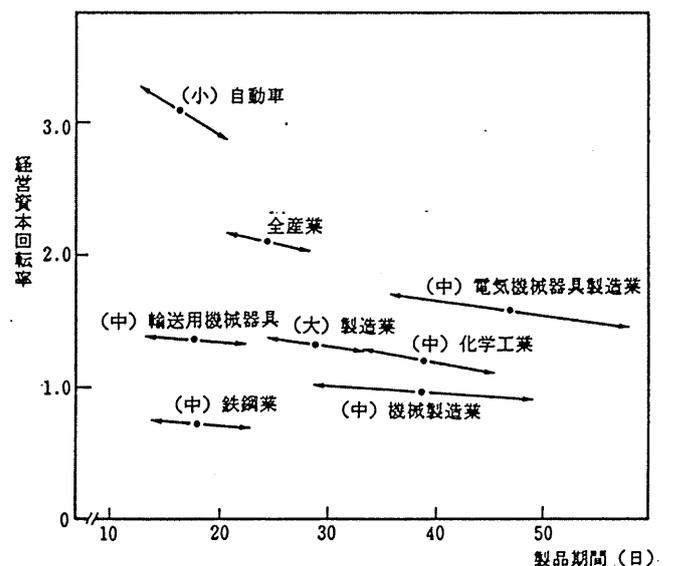


図1-8 直交多項式による製品期間からの経営資本回転率の推定(業種)

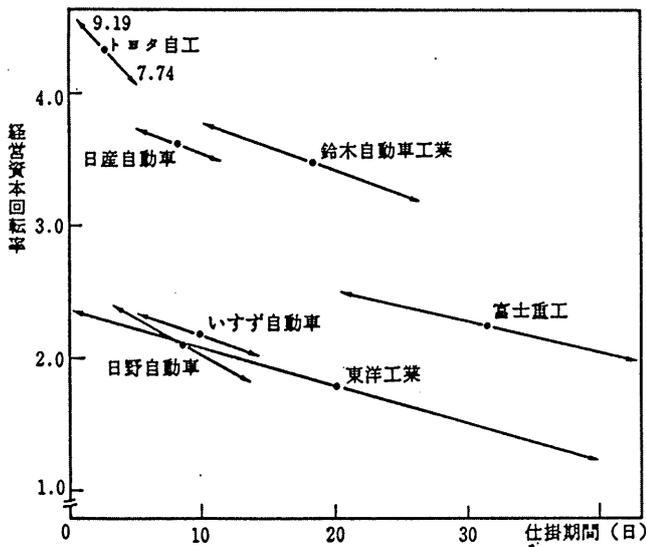


図1-9 直交多項式による仕掛期間からの
経営資本回転率の推定（自動車）

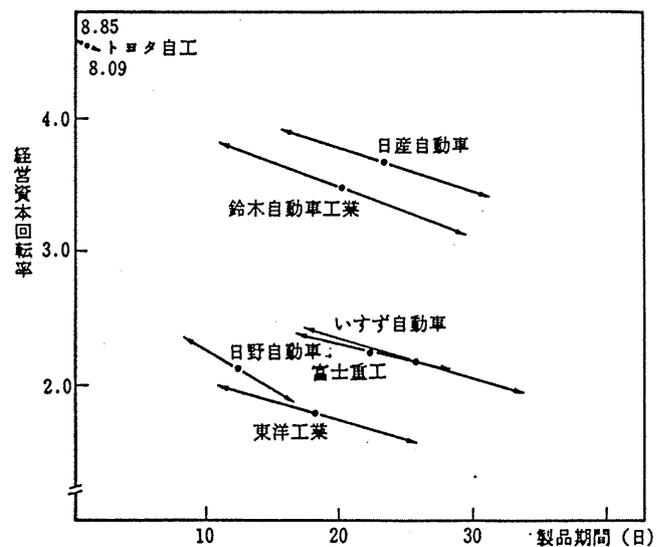


図1-10 直交多項式による製品期間からの
経営資本回転率の推定（自動車）

各社は

トヨタ自工

$$\begin{aligned} \text{経営資本回転率} = & 8.469 - 2.385 \times (A - 0.288) - 2.096 \times (D - 0.378) \\ & - 0.343 \times (I - 2.841) - 0.391 \times (J - 2.831) - 0.565 \times (K - 1.066) \\ & + 37.557 \times (F - 0.055) \end{aligned}$$

日産自動車

$$\begin{aligned} \text{経営資本回転率} = & 3.662 + 1.833 \times (B - 0.086) - 0.036 \times (J - 8.482) \\ & - 0.037 \times (K - 23.653) + 6.868 \times (F - 0.196) \end{aligned}$$

いすゞ自動車

$$\begin{aligned} \text{経営資本回転率} = & 2.18 + 2.047 \times (B + 0.023) + 0.377 \times (C - 0.217) \\ & - 0.027 \times (I - 8.263) - 0.031 \times (J - 9.812) - 0.031 \times (K - 25.553) \\ & + 6.246 \times (F - 0.197) \end{aligned}$$

例として、トヨタ自工を取りあげるならば、調査期間中の経営資本回転率の平均は8.467であり、式中に示す各要因が、回帰分析の結果、有意であったことを示している。仕掛期間は期間中平均2.831日で、これが1日短縮されると、経営資本回転率が3.91向上することがわかる。自動車で調査対象とした各社について、仕掛期間について図1-9、製品期間について図1-10に示す。各図中において、ほとんどの企業は調査期間中、生産期間に関する要因である、原材料期間、

仕掛期間、製品期間は短縮される傾向がみられ、経営資本回転率に対していかなる寄与がなされたかが回帰式から推定できる。また、同様の分析結果は、同業他社、あるいは他業種においても見られる。

1.3.6. 経営資本回転率と生産期間

分析の結果、以下の点が明らかとなった。

- 1) 分析対象期間中、大部分の業種、企業において、経営資本回転率は向上し、売上高利益率は低下している。
- 2) 経営資本回転率の変化が、生産期間、売上高利益率、原材料費比率、減価償却売上原価比率と相関関係を示す業種が多い。
- 3) 経営資本回転率を構成する要因について構造式を設定した。この要因により、業種、企業を主成分分析によりパターン化を行なった。この結果、業種、企業は経営資本回転率に与える各要因の組合せにより、いくつかのグループに分離された。
- 4) 経営資本回転率に影響を与える要因の結果、いずれの業種においても、生産期間、棚卸資産構成比率の寄与が大きく、この寄与のあり方によって、業種はいくつかの類似した集団に分類される。
- 5) 応答解析、直交多項式による推定の結果、各業種、各企業において、生産期間および他の要因がいかに経営資本回転率に影響を与えるかについての関連が明確となった。

以上により、従来、経営資本回転率に与える影響について、定性的に述べられた生産期間および他の要因変化が、定量的に把握可能となった。この結果、社会的、経済的変動による要因変動、経営政策、生産管理システム方策によってもたらされる生産期間短縮等の効果が、経営資本回転率にいかなる定量的影響をもたらすか予測、シミュレーション可能となった。

注1 調査対象企業数の変動や、決算期のずれにより、金銭的過不足を補正する。

注2 次式によって、経営資本回転率への各要因の寄与率(ρ)を計算する。

$$\rho_i = \frac{S_k - \phi_i \times V_e}{S_T} \quad \rho_k: \text{第 } i \text{ 要因の寄与率} \quad \phi_k: \text{自由度} \quad S_k: \text{平方和} \\ S_T: \text{全変動} \quad V_e: \text{誤差分散}$$

注3 棚卸資産構成比率の各水準の設定では、他の要因との交互作用を避けるために、棚卸資産の増減ではなく、他の流動資産の変化により、構成比が変動するものとする。

注4 直交多項式については、田口[32]pp.48-50 およびp.498、草場「統計的方法演習」、日科技連、(1974)、pp.64-65を参考とした。

注5 業種ごとの直交多項式による回帰式の設定では、得られる情報量を無駄にしないため、分散分析とは別途、企業別の分析と同様に、昭和45年～56年間の各要因の平均値(μ)と分散(σ)を求め、第1水準… $\mu - 1.5\sigma$ 第2水準… μ 第3水準… $\mu + 1.5\sigma$ として分析した。

1.4. 生産期間増大の理由

1.4.1 製品の多様化とライフサイクルの短命化

一般的に、製品はライフサイクルがあり、成長期、成熟期、衰退期[56]を持つとされる。

ここでは、いくつかの製品の実際の生産量と品種数および1品種当りの生産量(平均生産ロットサイズ)と、製品の多品種、小ロット化の現状を検討する。

図1-11カラーテレビ、図1-12に

冷蔵庫[226][284][285]、図1-13に乗用車[271][281]の普及率と1品種当りの生産量の平均を示す[52]。この結果、全て生産平均ロットサイズが、ある時点を頂点とし安定化、あるいは減少に転ずることがわかる。製品は、一般に市場での成熟期を迎えると、量的成長の鈍化に対処するため品種の急増がおり、その結果、1品種当りの生産量は減少し多品種少量化へ進むという性質を持つことを示す。カラーテレビと冷蔵庫においては、普及率が90%を越えほぼ横ばいになり始めた頃(カラーテレビ; 50年頃、冷蔵庫; 45年頃)を境に、平均生

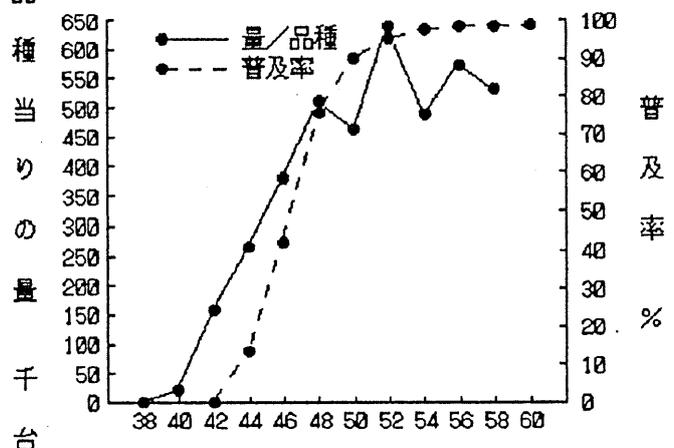


図 1-11 カラーテレビの量/品種と普及率

産ロットサイズが頭うち、あるいは減少に転じている。

乗用車は、これは耐久消費財の中でも上に述べた家電製品とは異なる性質がうかがえる。乗用車は、家電製品と異なりすべての世帯で必要な製品ではない。よって乗用車がそれを必要とする世帯全てに行き渡ったとしても、その普及率はカラーテレビや冷蔵庫のような高いものにはならないと考えられる。図1-13をみると、普及率は、年々増加する傾向にあるが、これは、一定の母集団が徐々に飽和状態に近づいていくというのではなくて、むしろその時点における母集団は常に飽和状態にあり、その母集団自体が徐々に大きくなっていると考えられ乗用車もやはり成熟期にあると考えられる。

また、平均生産ロットサイズは50年を境に減少してきているが、これは、供給側が年々増加する若者や女性ドライバーを新たな主要ターゲットとして選ぶうちたてた戦略の結果

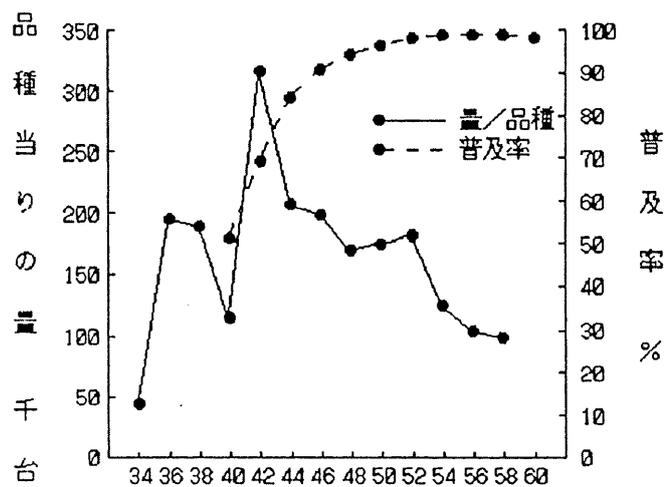


図 1-12 冷蔵庫の量/品種と普及率

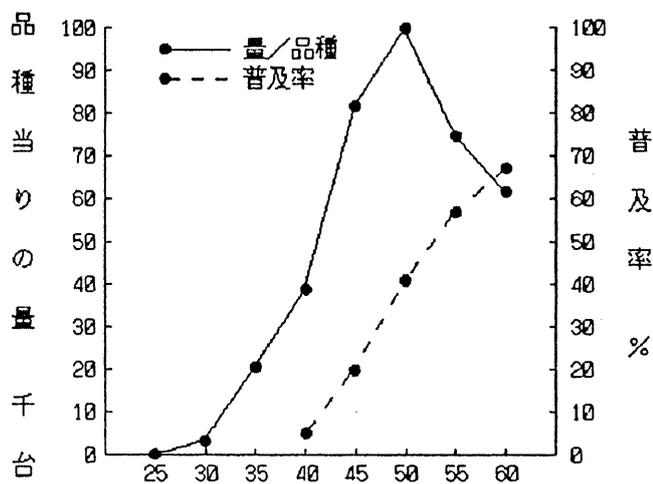


図 1-13 乗用車の量/品種と普及率

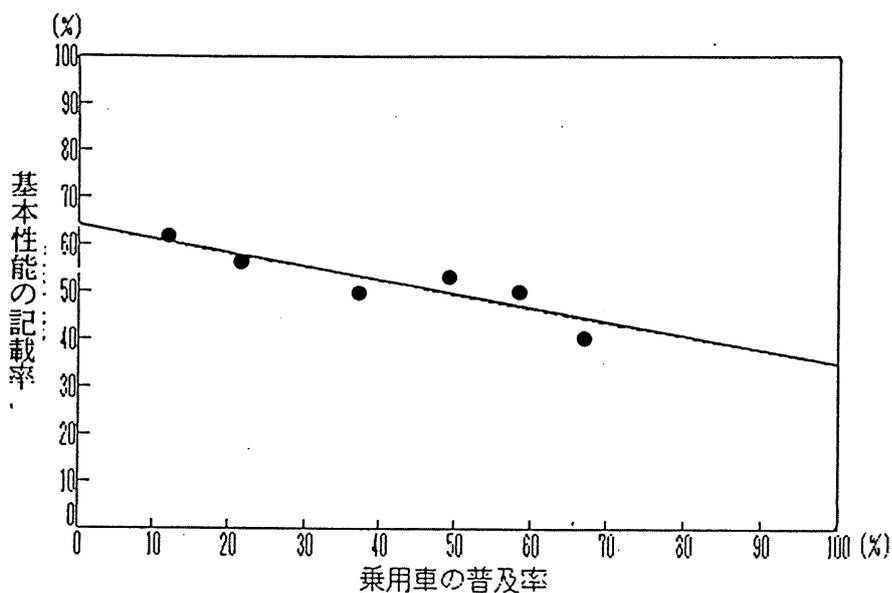


図1-14 自動車の普及率と基本性能の記載率

であると考えられる。レーザーディスク、パソコン等一部の製品を除いて現在は、多くの製品が成熟期を迎えていると考えられる。同様に、各製品が消費者に対して何をもちてセールスポイントとしているか、逆に、消費者は何を選択基準としているかについて調査を行った[271]。乗用車およびいくつかの製品のカタログを収集し、その中で用いられているキーワードを集め、基本性能、経済性、デザイン等10カテゴリーに分類する。図1-14に、

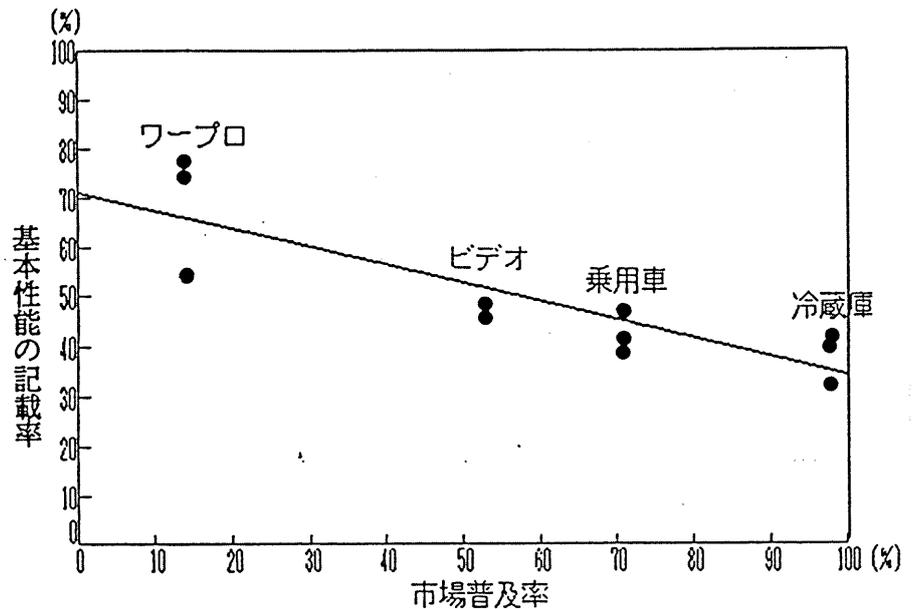


図1-15 普及率カタログに記載される基本性能

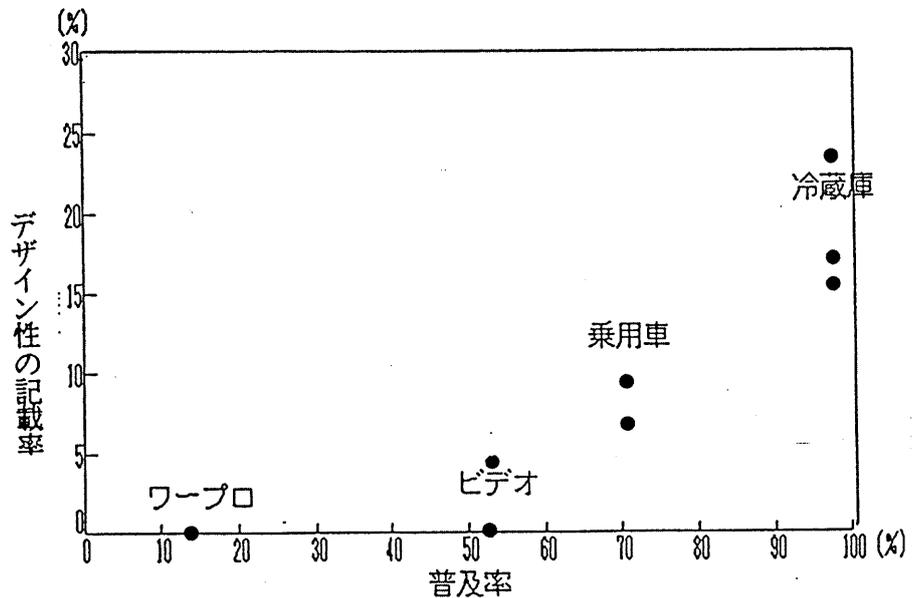


図1-16 普及率とカタログに記載されるデザイン性

ある車種の乗用車のカタログにおける基本性能を示すキーワードの出現率、その時点での全乗用車の普及率の関係について示す。普及率の進展に伴い、製品のアピール点が基本性能から他へ移行していること示している。同様に昭和63年において、ワープロ、ビデオ、乗用車、冷蔵庫について、市場普及率と、カタログに示されるキーワードのうち、基本性能を表わすキーワードの出現率を図1-15に、デザインの要素を表わすキーワードの出現率を図1-16に示す。この結果からも、市場の飽和に伴いセールスポイントが基本性能からは付随的性能へ移り、製品の多様化をもたらしていることが理解される。

1.4.2 生産の少ロット化・設備能力の高性能化

製品の多品種・少量化に伴い生産においても、少ロット化および部品ライフサイクルの短命化が進んでいる。図1-17は、自動車部品（スイッチ類）についてあるラインの号口品（品番登録され新車につけられる部品）の品番ごとの生産量を示したものである[100]。一般に自動車部品は量産品の代表的なものの一つと考えられる。しかし、この結果によれば数個単位の月産量のものも多く、月産5000個以上のものを累計しても50%に達しない。同様に製品ライフサイクルについて、図1-18に示す。製品ライフサイクルは、わずか1年未満のものが30%近くを示しており、極めて短い。しかも、これは量産指定を受けている期間であって、実際の量産期間はさらに短いものと推定される。

反面、年々設備は高額化、高性能化が進んでいる。図1-19は、ダンボール製作機の実績について近年の傾向を示したものである[95]。他製品と同様に、近年は一品種当りのロットサイズの低下と品種の増大をおこしていることを見せている。これに対して、設備は年々高性能化・高額化している。切替時間は、急激に低下しているものの、全体としての加工費低減はみられない。

熊谷[95]によれば、生産速度が高いにもかかわらず、生産能力が低く、加工費も割り高となるのは、市場需要ロットの少量化の実態に対して、不釣り合いな生産速度対切替時間比の設備が用いられているとしている。さらに、設備能力は高性能化しており、切替時間の低下は計られているものの、この傾向は拡大し、生産期間拡大の一因となっている。

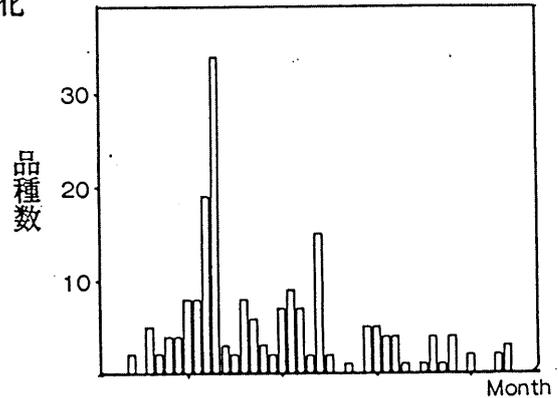


図1-17 自動車部品のライフサイクル

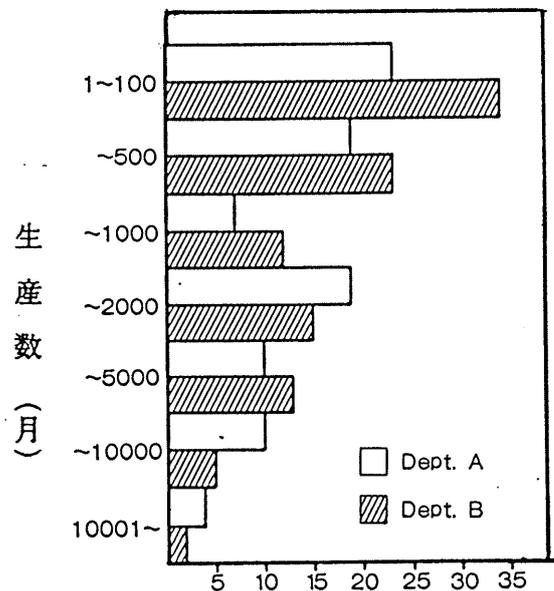


図1-18 自動車部品の月間生産量

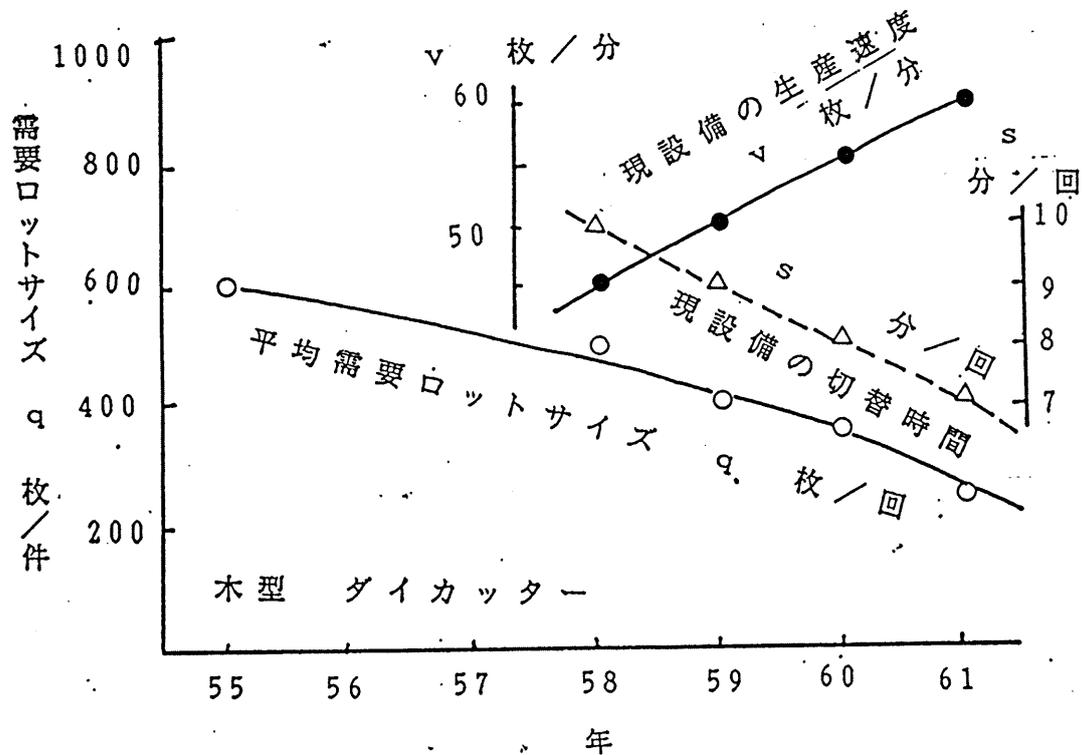


図1-19 段ボール換作機にみる需要ロット・生産速度
切替時間の切製相当生産量の推移
熊谷 [96] による

製品部品の少ロット化と設備の高性能・高額化に対して、設備の多回切替生産が十分でないため、生産においては、製造原価低減を目標として、需要ロット（バッチ）より多い生産ロットによりまとめ生産と、在庫による対応が行われ易く、この結果生産期間は増大する。まとめ生産および在庫による対応の発生理由は、

- 1) 先行手配…ユーダの短納期化要求および即納化のための製品在庫。あるいは、資材手配に時間がかかるため、生産量の予測を上まわる安全のための部材・資材を用意する。
- 2) 変化の吸収…需要変動、設備・労働・品質等のトラブル、品切れ等を防止するための安全在庫の存在
- 3) 作業効率の向上…需要に対して相対的に高性能・高額な設備の利用により、複数製品が同一システムにより生産される。この中で、段取負担分を減少する

表1-3 在庫の発生と対策および、その問題点

機能	説明	対象	方法	問題点	
先行配	客先に対する即納化のための各在庫	資材在庫滞留時間	多数回少量納品	外注・受注先における対応がなければ、在庫を置換させるだけである	
		製品在庫滞留時間	部品資材の標準化	多種少量生産下では限界がある	
			生産期間短縮		
変化吸収	客先受注の変化設備トラブルへの対応	ロット待時間 中間品在庫滞留時間	小ロット化 1個流方式 流れ作業化	段取時間ハンドリング回数の増加、ラインバランス・工程間バランスの低下、作業効率の悪化	
	労働品質納期トラブル反応	工程間仕掛時間 故障時間	M R P ・同期化	管理費の増加	
作業効率向上	同一製品のまとめ生産による段取負担減繰り返し作業による作業習熟工数減	作業時間短縮	段取準備作業短縮	段取換えのワンタッチ化	作業者の習熟協力が必要
			段取専任者の雇用	コストアップにつながる	
			作業者の高技能化多能工化	作業者の協力、短期達成は無理	
			高性能多機能機械の導入	コストアップ、段取時間増	
		検査時間短縮	自動停止機械の導入 ポカヨの導入	技術上の困難性コストアップ	

ために大口ロット生産が行われる。従業員の高賃金圧力、習熟、ラインバランス向上をねらったまとめ生産の実施がなされる。この中で、稼働率が目標とされる。

4) 間接費の低減…大量の資材・部品の同時購入による値引き効果、購買・生産指示事務費低減のためのまとめ調達・生産指示

5) 評価尺度の不明確さ…生産システムの評価が製造原価でなされている。生産管理上、短縮効果を費用的に表現する方法論が確立されていない。基準日程という管理基準は存在するものの、生産期間を積極的に改善しようとするインパクトを与える管理項目、測定方法がみられない。

6) 制度的問題…手形支払制度あるいは、企業内に納入業者の資材在庫をもうけさせる

など、時間に対するコスト観念を低下させる制度の存在の6点にまとめられる。

一般的に、生産においてとられる対応と、現状におけるその問題について表1-3にまとめる。

1.5. 生産期間の短縮方策

熊谷[151]は、生産システムは、工程系（資材から製品へと加工を受ける物）、作業系（加工を行う人・機械・設備）、管理系（計画を立て実施を監視する）の三者から成り、今日の多品種・少量生産の条件のもとで、相互の効率化が相反する立場にあるとしている。ここでは、工程系をさらに、工程連絡（ある企業内、あるいは工場内等の生産単位内）と、生産システム間にわけてそれぞれ、生産期間短縮のために行わなければならない課題と、おのおのでとり得る政策について、まとめて表1-4に示す。

さらに、個々の課題解決方策のみでなく、全体的解決を計る方策が考えられる。その第1は、多工程持ちシステムである。このシステムは、工程の一貫化、作業効率の向上、管理の容易化を同時に図るものである。この詳細については、第3章以後で検討する。さらに、段取替時間の短縮も、生産設備能力の現状においては、有力な生産期間短縮の方策であり、第4章において検討する。また、階層構造を持つ工場間連結、あるいは企業間連絡のために、トヨタ生産方式に

において提唱された、JIT（ジャスト・イン・タイム）は重要な概念であるので、第2章において、さらに考察する。

表1-4 生産システムの生産期間短縮に必要な課題と方策

		課 題	方 策
工 程 系	工程 連結	市場要求の変動に対応し、かつ最小生産期間を最小コストで実現し得る工程系列の設計異種工程間の同期化小ロット化。	工程連結度の向上。多工程持ち作業システム。
	生産 システム 連結	製造期間の短縮を前提とした、生産システム相互の連結度の向上。一貫生産化。	かんばん方式。客先工程直納化。多回納入・巡回納入。
作 業 系		与件工程を満足し作業効率の向上を最小コストで実現し得る作業システムの設計	段取時間短縮。標準作業の採用。自動化。
管 理 系		工程課題、作業課題を高度に達成し、管理コスト、管理の応答性に優れた管理システムの体系化	トヨタ生産方式。NPS。

第2章 生産管理システムの設計方策と生産期間

2.1. 生産管理システムの史的展開

現代の生産管理システムを大きく類別するならば、自動車産業に代表される、多くの組み合わせを持った商品を、顧客の要求に合わせて、ある程度の期間継続的に生産するタイプと、家庭用家電製品に代表される、常に最新の規格の商品をマーケティング戦略に基づいて、大ロットで生産し、原則的には短期間でそのロットの販売終了とともに、次の製品の生産に移行するタイプに類別される。しかし、いずれにしても、第1章において考察したように、近年顧客の要求は、極めて多様化・高度化しており、生産システムはその対応を迫られている。本節においては、多くの階層的企業構造を保ち、高度な工業技術的構造を持つため、現代の生産システムを代表すると考えられる[3][63]、自動車産業を中心として、生産管理システムの変遷と生産期間の関連を考察する。

生産管理において、時間課題が取り上げられたのは、テーラーによる課業管理がその初めであると考えられている。従来は、テーラーは作業研究によって、従来、作業者に時間当たりの生産量の管理がまかされていた物を、はじめて管理の対象とし、出来高給制度を確立した。また同時に職能別職長制度を、提案し管理の科学化を図った。ここではじめて、時間要素として、作業者の一日の作業量 (a fair day's work) が科学として取り上げられた[153]。

これは、自動車産業の上からは、生産管理システムとしては、いわゆるプリミティブな多品種少量体制のもとで、有用な道具として用いられたが、有産階級に、高額で高度な商品としての自動車を供給するのみであった。

自動車産業が、近代的産業としての確立は、ヘンリー・フォードをもってであると考えられる。フォード・システムは、95%の消費者は、安価で、頑丈な自動車の機能を求めているとの信念のもとに、奉仕主義を標榜し、数々の技術的開発[24][254]を行い、T型フォードの単品種大量生産に極めて成功を納めた。生産活動の総合的同時化を本質とするフォードシステムは、生産期間においても、極めて成功し、鉱山より原料を運び出して、自動車を製品として貨車に積み込むまでの時間が、わずか81時間余りと驚異的記録を示している[153]。しかし、消費者の多様でかつ高性能な自動車への要求は、アルフレッド・スロー

ンによる、多品種大量生産の出現へと至った[134]。このシステムは、外観上の多品種化を目的として、スタイリングの多様性を目標としたが、反面、T型フォード等の量産車への対抗上、原価の低減を目指した。このため取られた政策が、徹底した部品の共用化であり、各部品の生産原価の低減であった。部品の共用化は、製品のモデルチェンジと関係なく、部品が設計され、生産が継続することを前提としている。このためには、トランスファーマシン等の専用の工作機械を用い、部分部分の連続的同期化の徹底と、作業の細分化が図られた[134]。しかし、このため設備は全体への整合性と関連なく、見かけの部品単価を低減するために、高額化・高性能化が図られたが、品種切り替え時間は、極めて長い物となった。このような条件の中で考えられたのが、EOQ（経済的ロットサイズ）の考えであり、原価からの視点のみで計算された、生産期間を無視したまとめ生産である。また、G・マクシー、A・シルバーストーンによる最適生産規模研究にもその現れが見られる[127]。同時に、高性能化された設備は、故障の場合多くの損失をもたらすため緩衝在庫が必要とされた。

この考え方は、現在ではMRP（Materials requirement planning）に受け継がれている。

現在、合衆国において、新たに志向されている自動車産業のシステムは、基本的には、高次の多品種少量生産（カスタメーション）である。このシステムは、高度のエレクトロニクス技術を基とする、プログラム制御型オートメーションであり、マシニングセンターを代表としている。従来、「1ダースなら安くなる」から、「1個でも高くない、1個でも安い」生産の仕組みとして、今日の問題解決の道であると考えられている[134]。

しかし、この思想においても、目的とされるのは原価低減であり、生産期間短縮と、第1章で考察し経営資本回転率の向上を目指した思想はない。基本的に、合衆国においては、自動車は店頭で顧客がいくつか用意された車型の中から選択し、その場でキーを受け取り、その日から利用するといえる構造に根ざす物であろう。

合衆国においては、フォードシステムにおいて高度に実現された高度な同期化・生産期間短縮は、これ以降、生産管理システムの課題として重点がおかれなかったと結論づけられる。

また、欧州においては、いまなお乗用車はステータスシンボルを構成する要素であり、一方においては、高価で顧客の要求により、かなりの生産期間をかける高級車と、シンプルな量販車に区分されている。

これに対して、戦後のわが国の自動車産業の場合はかなり異なった進展を見せる。一方においては、欧米各社のノックダウンにより自動車を生産する企業が出現したが、他方ではあくまで自社による生産販売を試みた企業があった[3]。トヨタ自動車においては、大野[198]によれば、第2次世界大戦後の疲弊した設備によりながらも、800-1000台の自動車生産を実現したが、それらが市場に受け入れられないという問題である。このため、2の問題を同時に解決する必要に迫られた。その第1点は、小型トラック、ワゴン、乗用車を組み合わせた多品種生産の必要性であり、第2点は少量生産のもとでの欧米に劣らない生産性の実現であった。この条件は、スローンの開発した徹底した部品の標準化による多品種大量生産とは異なった多品種少量生産体制を必要とした。この設備の条件および生産車種の条件が、その後トヨタ生産方式と呼ばれる生産管理システムの創生の前提であったと考えられる。その後、自動化の開発、かんばんシステムに代表される、ジャスト・イン・タイム化による短生産期間の実現へと向かい、高度な流動化生産を実現した。

トヨタ自動車においては、現在顧客要求の確定以来、最短で4日間程度での生産を実現しており、極めて短い生産期間である。この特色は、総合的同期化を目指しながら、単に自社工場のみでなく、多段階の階層を持つ、協力企業、納入業者をもシステムの構成員として持つ点で、フォードシステムが自社内での一貫化を目指した点と異なると考えられる。

また、多品種生産のもとでも、部品の標準化は、スローンによる標準部品の大量生産に比べて、一般的には同一カテゴリーに属する車種群のモデルチェンジにより、部品は再設計される傾向が強く、その標準化の度合いは低いと考えられる。

2.2. トヨタ生産方式とMRPの基本構造の対比

トヨタ生産方式は、多品種少量生産の条件のもとで、原価低減とともに短生

産期間を実現したわが国を代表する生産管理システムである。これに対応して、合衆国において開発され[295]、現在極めて盛んに用いられているのがMRPである。MRPは、わが国においても盛んに導入が図られている。さらに、現在ではMRP II [30][296]、あるいはMRP IIIと全社的管理システムへと進展しつつある。MRPとトヨタ生産方式は、現代を代表する生産管理システムであり、比較研究も多い[28][29][305]。

MRPの基本構造は、徹底した部品の標準化を前提として、連続同期化生産を目指すシステムである。この基本構造は、図2-1に示される。

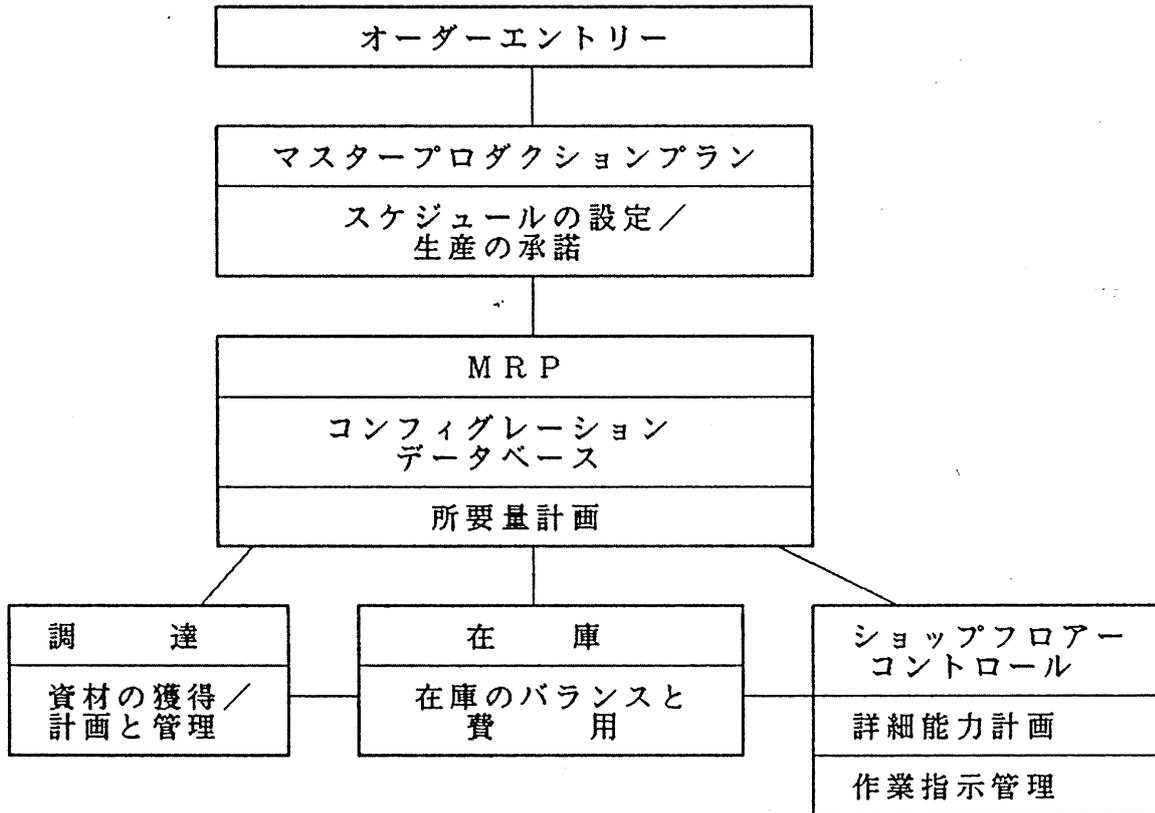
エデルブラス[4]によれば、MRPは、中規模や大規模経営で、一般的にEDP装置によって実行される。このシステムにおいては、資材の発注は、生産計画に基づいて行なわれ、量および納期は、安全在庫、生産必要物、経済的発注量の分析と調達リードタイムに基づいて、あらかじめ決められる。異なった最終製品に共通の資材が、特定の期間中、統合されまとめられる点に特色がある。MRPは、最終製品を通じて、需要から全体への、効果的な統合された計画作成への、中核システムとなる。最終製品へのマスタースケジュールが、すべての中心と考えられ、これにより、製造が何を策定するべきか、いつそれが完了されるべきかが決定される。資材とコンフィグレーションコントロールによって、製造要求表は資材の技術的な要求表から、「作られる」べき部品・部材の製造一覧表が作成される。また、同時に、各部品・部材の状態が、手持ちであるか、発注済みであるかが調査される。

マスタープランの開始に従って、MRPは、資材の製造一覧表／部品構成に従って、レベルごとに最大量の資材必要量をローディングし、全く同じコンポーネント所要量を結合し、現在の状態と、総所要量を比較し、実際所要量を計算する。正しく実行されれば、製造において統合され作られた計画と、製造とその他の部門間の重要なインターフェイスの効率的な伝達手段となる。現在、資材の獲得、部品製作と、バッチフローによる組立てに関して最も効果的であるが、連続流れ組立てラインに関して限界があり、補充供給システムは連続した流れを援助するために別に必要とされる。

MRPは、所定の生産期間の維持と、実行に対して効率的なシステムではあるが、生産期間短縮のためのプログラムを組み込んでいない。

図2-1 MRP (資材所要量計画:materials requirement planning)

(Management Handbook:AMA,4-92 より作成した)



これに対して、大野耐一氏によって開発されたトヨタ生産方式は、部品・資材をも含んだ、多品種少量生産を追求したシステムであり、MRPが、部品段階では継続的大量生産を志向するのと好対照をなす。大野氏は、コスト低減の追求の過程で、多くの自動化を考案実現したが、これらが生産期間の増大と拮抗関係にあることを考え、同時にジャスト・イン・タイムを志向した。

熊谷[92]によれば、多品種少量生産のもとでは、製品系、作業系、管理系の間には、図2-2に示す相反関係が存在するとされる。製品の流れ化の程度を増加すれば、切り替え時間が増大し稼働率が低下し、同時に管理内容が増え、管理の困難化と費用の増加を招く。市場対応を重視し、生産システム全体での調和的効率化を図ったのが、トヨタ生産方式であると考えられる。この中心をなす考え方が、工程の一貫化、すなわち多工程持ちシステムを代表とする生産シス

テムの実現であり、さらに作業の能率化と、流れ化を調和的に向上させるのが、段取替時間短縮であると考えられる。この両者については、本論文の後半での研究の中心的課題である。また、同時に、後工程引き取り法として著名な、かんばん方式に代表される管理方式は、極めて低費用で自律的な管理手段を用意した。

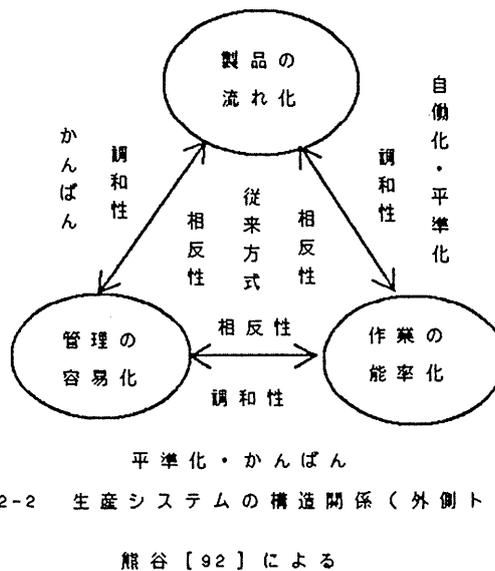


図 2-2 生産システムの構造関係(外側トヨタ生産方式)
熊谷 [92] による

トヨタ生産方式では、さらに、これらの目的を達成するために、自動化を始めとする多くの周辺技術を開発した。

トヨタ生産方式は、現在では、自動車産業のみならず、異業種へも盛んに展開が行なわれ [72][108][231][260][270][282]、大野氏の後継者は、新たに N P S (New Production System) 独自の開発を行っている。また、近年、海外への普及活動も活発であり [119][141][143][184][215][274]、かつ学術雑誌等でも、盛んに研究がなされている。トヨタ生産方式は、それ自身に、生産期間短縮を初めとする、生産システム改善の手段を含む点が、MRPとのもう一つの差異点である。

2.3. トヨタ生産方式

2.3.1. トヨタ生産方式の全体構造

すでに、トヨタ生産方式の構造については、多くの研究が発表されている。(例えば、全体について取り扱った研究には、[53][88][94][122][157][197][199][221][233][256]、個々の応用例については、「工場管理」各号、特別号に多くみられる)

本研究においては、トヨタ生産方式全体そのものについて、構造的に明か

する事を目的とはしていないが、その成り立ちは、生産期間短縮と極めて密接に関連しているので、ここでは、一般的に考えられている、トヨタ生産方式の構造と、必要とされるキーワードを、簡単にまとめる。

1) トヨタ生産方式の考え方

ジャスト・イン・タイム...タクトタイムでものを作る

自動化

ムダの排除

生産改善から設備改善へ

評価の尺度 稼働率と可動率、少人化・省人化・省力化

品質の向上 QC工程表

2) ジャスト・イン・タイム

トヨタ式情報システム

かんばん.... かんばん枚数の決定・かんばんサイクル

ビデオカメラ等他の方法による指示

生産の流れを作る.....工程の一貫化

職場のレイアウト、離れ小島を作らない、U字型ライン

設備の小型化、年功設備の活用、セット出庫・セット生産

標準作業.... 多能工化教育

段取り替え時間短縮....外段取り化、取付具の標準化

3) 自動化

自動化

目でみる管理.....あんどん、定置停止方式、生産管理板

フルワークシステム

4) ムダの排除

作りすぎのムダ

手待ちのムダ

運搬のムダ... 運搬方式、混載、水スマシ、循環引き取り、乗り継ぎ

加工そのもののムダ

在庫のムダ

動作のムダ

不良を作るムダ

5) 生産計画と平準化

生産計画の立て方.....内示情報、月間生産計画、旬間生産計画

日々の生産計画

生産指示.....生産順序表、順序引き取り、連番、つるべ方式

平準化

に、一般化されるが、前節において考察したように、生産システムの一貫化とそれによる、生産システムの調和的改善が最重要である。

2.3.2. トヨタ生産方式の特徴

トヨタ生産方式における管理システムは、一般的に図2-3に示す手順に従って生産計画が示される[197]。

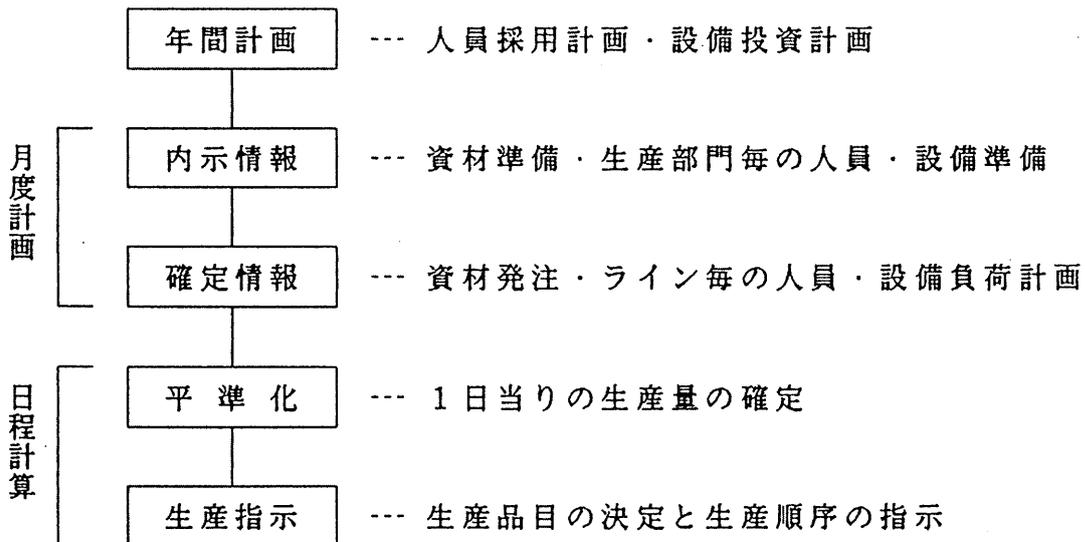


図2-3 トヨタ生産方式における生産計画の流れ

この内、ジャストインタイム および生産期間短縮方式としてのトヨタ生産方式を最も特色づける部分は、日程の計画の策定方式である。平準化については、後述するが、ここではトヨタ生産方式の中核をなす生産指示システム、すなわち生産管理システムについて考察する。

一般に、現代の工業生産は、多段階でかつ多岐にわたる下部構造を持つ。

トヨタ生産方式の生産管理システムの最も重要な特色は、生産指示が最終組立ラインの先頭部分の一ヶ所のみを与えられ、他の部門に対しては、最終ライ

ン上を移動する仕掛品によって自律的に与えられて行くことである。このため、他の工程は情報の先取りによって過剰の仕掛品を生産したり、最終ラインの生産順序変化による影響を受けないことがない。

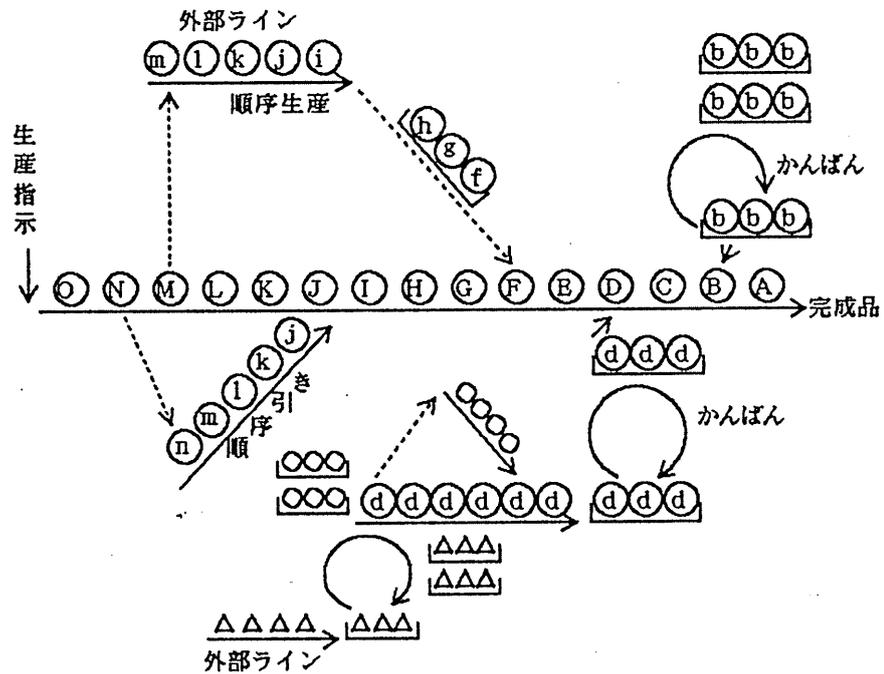


図 2-4 トヨタ式情報システム

トヨタ生産方式の生産指示情報は、必要な構成部品のタイプによって四タイプに分けて行われ、すべての下部の生産工程に情報が送られる。

第1のタイプは、トヨタ生産方式の中で最も有名であり、一部ではトヨタ生産方式そのものと考えられたこともある「かんばん」による生産指示である。かんばん方式のしくみの詳細については、2.3.5.で考察する。かんばん方式は、ある部分が1運搬時間間隔内に0単位以上、かなりの量が消費される場合に利用される。かんばん方式は、組立ラインにおいて、ある割合で生産対象品に必要とされる部品がライン側に配置されている状態で利用される。一定量の部品が消費された時に、その部品につけられたかんばんがはずれ、つぎの引き取りが発生する。この引き取りによって前工程は、引き取られた分のみを生産することになり、前工程には事前の生産指示が不用となる。この流れは、次々と前工程へ逆のぼり生産システム全体へ行き渡る。これが、後工程引き取りと呼ばれ、生産システム全体の自律的管理を可能とする。

第2の方式は、各サブラインへのタイミング合わせを行った最終ラインの必要工程からの直接指示による方式であり、順序引き取りと呼ばれる。図2-4に例について示す。最終ラインの第X工程で必要とされるサブアッセンブリー品があり、その組立のために3工程必要であったとする。その場合、X-3工程

目で、サブ組立ラインの先頭に品種が指示され、生産が開始される。従ってメインラインが何らかの理由で停止した場合も、サブ組立ラインは同時に停止する。

一般的には、ある程度高価であって、しかも品種類があまり多くない場合に用いられる。例として、車を見るならば、エンジン、コンソールボックス等が相当する。

第3の方式は、第2の方式が社外あるいは、社内であっても外部門にあり、ある程度の生産期間が必要であって、しかも、品種、オーダーの性格づけに決定的に重要な部品に対して適応される。この方式の場合は、あらかじめ生産順序のみが与えられ、引き取り量は何らかの型で制限される。この方法は、次節で考察するようNPSによって多品種少量生産に適用され発展した。

第4はロット生産品および補助部材に対する管理であって、信号カンバンによる。

いずれの場合においても、対象となる製品の性質によって管理方式は異なるものの共通の概念によって作られたと考えることができる。

第1の考え方は、工程間物流量の制限的規制である。工程間の全物流量を一定に保つことによって、後工程の引き取りレートが一定であるならば、工程間の必要時間が一定値になることを保障している。また、後工程が何らかの理由によって停止した場合には、その情報が物流の停止といった状態によって自動的に伝えられることにより、工程間停留の増大を防止する。

第2は、生産順序の整流化である。生産順序（差立）は生産システムの一ヶ所のみで与えられ、その情報は必要なタイミングで、他工程へ自律的に与えられる。生産システム内で、生産順序の変更は原則として認められない。従って、生産順序が決められ、生産システムのキーポイントに情報が与えられたあとは、生産システムからの離脱においても、その順序が保持される。

第3は、各部品、仕掛品が平準化を前提としてタクトタイムによって生産されることである。タクトタイムとは、稼動時間を必要生産量で除した値によって定義される。タクトタイムは、生産指示された量が、確実に管理サイクル内で生産されることを裏づけている。また、生産システム側では、必要とされる生産レートと経済的な生産規模とのかねあいの中から生産設備設計が可能とな

る。

第4は、部品とその組付対象品との可能な限りの関連化である。部品はタクトタイムごとに生産されるが、その部品がどの組付対象と組み合わせられるべきかは、可能な限り早く決定される。この方式は、一般的に受注生産品、少量生産品で採用される追番方式と同様であるが、その精度ははるかに高度であって、一旦決定されたあとは、組付対象と同時的（Synchronization）に管理される。これによって、最終生産順序とは可能な限り関連して、部品生産が可能となり、一定時間後に、現在は未確定であっても、必ずある組付対象と出会うことを保障する。

第1、第2の点によって、生産順序決定後、一定期間後に必ずラインオフされることが保障されるのと同時に、何らかの最終ラインでの変動によって生産計画が変更されても、それが微調整の（管理サイクル内で吸収される変動）の範囲内であるならば、生産期間の変動は最小におさえられる。第3、第4の点によって、最終ラインでの生産期間よりも長いリードタイムが必要とされる部品構成部品に対しても、生産期間の安定化と生産変動の最小化を保障する。

表 2-1 生産のタイプによる生産順序と物流制限手法

名称	説明	部品生産期間<工程内リードタイム		部品生産期間>工程内リードタイム	
		生産順序指示	物流制限	生産順序指示	物流制限
多種少量生産	一管理サイクル内での消費量が0の品種があるか、少ないものが多い	順序引き取り割り付セット供給	コンベア台車 ワッペン・タブレット セット供給	連番 カンバン	つるべ 方式 カンバン
中種中量生産	一管理サイクル内での消費量が一定量以上ある	↑ カンバン	↑ カンバン	←	←
少種大量生産	一管理サイクルでの消費量がかなり大きい	↑ 信号 カンバン	↑ ストアー 台車	←	←

注：工程内リードタイム：最終ラインに生産指示が出されてから実際にその部品が必要とされるまでの時間

トヨタ生産方式およびNPSにおいては、上記の四つの基本的な考え方のもとに、生産管理サイクルの大きさと、その中で生産が必要とされる生産品種数によって、表2-1に示す各種の生産管理システムを考案してきたと考えることができる。これによって生産期間の安定化を計り、同時に管理サイクルを最小化することによって、生産期間短縮を指向し、顧客リードタイムと生産システム内で許される生産期間関連からその先端に生産指示を与えられることによって全体の滞留の減少を計ったととらえられる。

しかし、このためには生産量の安定化（平準化）、生産システムの信頼性向上（自動化、目で見える管理）が必要であり、管理サイクル短縮方策（多工程持ちシステム、段取替時間短縮）が不可欠となる。また、同時に、製品ライフサイクルの開始時、終末時等の生産量変動時には別な管理方策が必要とされる。

2.3.3. かんばん方式の目的

一般に、自動車産業を代表とする現代企業では、組立ラインを最終工程とし、社内、協企業、協力企業、外注、購入品ときわめて多様な構成品、資材の供給を受けている。これらの部材は、それぞれの性質によって、組立、機械加工、各種の装置・設備から生産されたり、あるいは、自然から得られる。必要な生産管理精度も、個別、ロット、バッチ等きわめて多彩であって、形を変えながら、多段階の階層を通過して最終製品へと向かう。従って、これらの動きのすべてを管理することは、極めて困難で、現在の大型コンピュータ等を利用するMRPにおいても、管理精度は1週間程度にならざるを得ない。また、生産量変動等が発生した場合には、再計算のために膨大な時間と費用が再び発生することになる。多段階で、多くの設備を用い、多くの部品を生産する生産システム全体が、何のトラブルもなく稼働を続けることは考えられない。そこで、全体のシステムを自律的に統制し、短生産期間で、よりわずかな費用で管理するために考えられたシステムが、「かんばん方式」である。

大野[197]によれば、ジャストインタイム実現の方法として、スーパーマーケットからヒントを得て、後工程引き取り方式の着想を得て、「かんばん方式」を創案し、1953年よりトヨタ自工の本社、機械工場で実地への応用が始まったとされている。顧客である前工程は、必要な商品（部品）を、必要な時、必要

な量だけ、スーパーマーケットに当たる前工程へ買いに行く。前工程では引き取られた量だけ補充することにより、全体としてのジャストインタイム化、短生産期間が実現されることになる。従って、前工程は、現在どの部品が後工程で必要とされるかが、最も早くわかり、生産管理部門を中枢機能とした場合の、末梢神経的役割をなすことが可能となる[198]。

また同時に、毎回の納入に対して発生する受入帳票、あるいは生産指示運搬のための帳票類にかわり、一度作成すれば何度でも循環的に利用可能なかんばんを利用することによる間接経費や、生産の微調整を全工程へ伝達するための費用（生産指示・運搬指示）、すべての物品に現品費（現品管理）としてのかんばんが取り付くことによる現品管理費等の管理的諸費用も大巾に減少することが可能となる。

かんばんは、生産システム改善の道具の役割も担っている。かんばんの枚数をしだいに減少させることによって、生産システムの中で不安定な部分を顕在化させ、改善方針策定のための指針を与える。

2.3.4. かんばん方式利用の検討項目および前提条件

かんばん方式は、あくまでも生産計画の先取り、工程能力に対する不安等により作りすぎを防止しながら、同時にジャストインタイム化を実現する道具である。

かんばん方式を導入するに当たって、第一に考えられるべき点は、工程間の連化によって、工程間の分断をなくし、かんばん方式の工程間情報および運搬これによって生ずる必要停滞量を不用とする努力である。すなわち、かんばん方式導入そのものを不用とする生産システムが目指されるべきである。

かんばん方式の不用化には後章において詳述する多工程持ち生産システムがきわめて有力である。工程間を連結し、全体を一ライン化することにより、全工程間の同時管理を実現すべき方策がとられる必要がある。

同様に、生産ラインを分断する要因である段取の発生する工程での段取替時間短縮、小型化・専用化による生産ラインへ前後工程の組み込み、外注品の内製化が検討されなくてはならない。

従って、カンバン方式が利用されるのは当該品の生産量そのものがある程度

の量、長期的に保障され、かつ以下の条件がある場合に限られるべきである。

- 1) 工程間能力にアンバランスがある場合
 - ① 勤務体制（シフト）に差がある場合
 - ② 前後工程間の能力に大きな差があり、前工程が複数であったり、後工程が複数である場合
- 2) 前工程のリードタイムが長い場合
 - ① 工程間、工場間の運搬のために時間が必要である場合
 - ② 前工程の生産期間が長く先行手配が必要である場合
- 3) タクトタイムを均一に保つことが困難な場合
 - ① 後工程の需要量変動が未確定で平準化が困難な場合
 - ② 切替時間が長く、タクトタイムを同一に保つことが困難な場合
 - ③ 機械故障や不良の発生が平均タクトタイムに吸収できないほど大きく無視できない場合

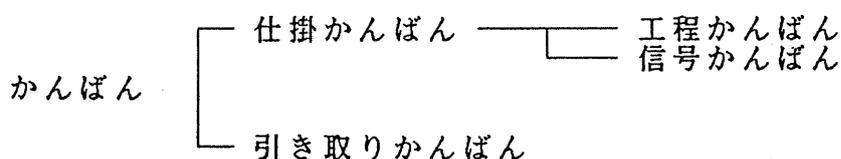
かんばん方式は、後工程が消費した量を、必要が生じた時に前工程へ引き取りに行くため、後工程が前工程へ引き取りに行った時点で、当該品が用意されていなくてはならない。しかも、同時に工程間停滞を、運搬およびカンバンサイクルのリードタイム必要量以上にならないよう制限されなくてはならない。

このためには、前工程が後工程へ当初予定された生産必要量に比較して不必要な引き取りを行わないようしくみ「平準化」と、後工程引き取った製品が、全品良品であるという保証を与えるしくみ「自動化」が必要となる。

2.3.5. かんばん方式の構造

1) かんばんの種類

かんばんは、その役割から、生産指示を行うための「仕掛かんばん」および、工程間、企業間の運搬時に利用される「引き取りかんばん」に類別される。さらに仕掛かんばんは、前工程がラインで生産される場合、「工程かんばん」、前工程がロットで生産され、段取替時間が無視できないほど大きい場合、「信



号かんばん」が用いられる。

さらに、これらの応用として、

臨時かんばん：生産の開始時、終末時あるいは、特急品等のため使われ、一度限りで廃棄される。

親子かんばん：子部品、部材の発注も同時に行う。

限定かんばん：試作品、特注品のために用いられる。

順序かんばん：ある一連工程間をその工程が対象となる製品のほとんどが一貫して通過する場合に用いる。一般には工程間ごとに別個のかんばんが用いられるが、この場合は、一板のかんばんで代用して行う。この場合工程間仕掛量を制限する場合にはストア面積や、台車類等で行う。

2) かんばんの運営法

原則的に、ある工程は、その前工程および後工程を持った多段階生産システムをなしている。

ここでは、3つの工程を持つ生産システムを考え、工程1、2、3を例として、かんばんの動きを考える。

①工程2では、
工程3で引き取られて、仕掛かんばんがかけられた部品Aの加工を始める。

②このために必要な部品aをパレットから取り組立あるいは加工を始める。

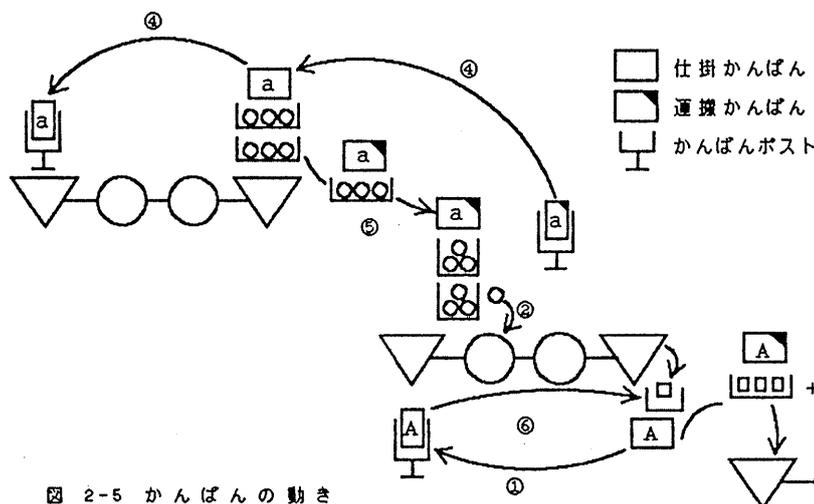


図 2-5 かんばんの動き

③パレットから加工に必要な部品aを順次取り出して、パレットがからになったら、パレット内の運搬かんばんを取り出し、かんばんポストへ入れる。

④かんばんポスト内のかんばんが規定枚数に達したら、運搬かんばんを持っ

て、工程へ行き、部品 a の入っているパレットから仕掛かんばん a を取り出し、かんばん受けポストへ入れる。

⑤ 運搬かんばん a を部品の入ったパレットへ入れ、工程 2 へ戻って、所定のストアへ置く。

⑥ 工程 2 で部品 A の加工が 1 パレット分終了したら、部品 A のパレットに仕掛かんばん A を入れる。

⑦ 工程 2 でかんばん受けポストから次加工品のかんばんを取り出して加工をめる。この時、かんばん受けポストに仕掛かんばんがない時は、工程 2 は休む。

2.3.6. かんばん枚数の設定

かんばん枚数は、工程間の停滞量を制限し、生産期間を決定する重要な要因である。

しかしながら、かんばん枚数の決定について、トヨタ自動車から公表されたのは I C P R でわずか 2 件が見られるのみである。

わが国では、トヨタ生産方式を採用している企業に於いては、かんばん枚数は、工程能力（不良率、段取替時間等）により経験的に決定されるのが一般的である。代表的には、トヨタ自動車の楠ら [256]、木村ら [70] の公式、また、納入間隔を中心にかんばん枚数を決定しようとする関根 [232] の紹介した決定方式があげられる。この場合は、適当なかんばん枚数を設定し、工程改善の進展にともない順次減少させ、品切れ、納入遅れの発生との関連で、工程の第一線監督者が管理する場合が多い。

このためわが国ではかんばん枚数の決定について、数理解析的アプローチが用いられた例は極めてすくない。代表的には、静的状態を仮定し、O R で用いられる在庫管理的手法から、最適枚数を求めようとする宮崎ら [138] [138] の研究があげられる。

これに対して、欧米では、在庫管理における O R 的アプローチを用いてかんばん枚数を決定しようとする報告と、シミュレーションを用い工程の性質からダイナミックに決定しようとする立場の 2 者が存在する。

かんばん枚数の決定に対しては、O R の在庫管理手法を利用し、決定論的立場からのアプローチは、BITRAN [9]、PHILPOOM [211]、REE [212] の報告が代表的

なものである。これに対して、シミュレーションを用いたかんばん方式の評価は、かんばん枚数の決定と、かんばん方式とMRPあるいは従来の生産管理方式の比較の2点よりなされている。前者の代表的報告は、DAVID[16]、システムダイナミックモデルを用いたGUPTA[33]であり、後者の代表的報告はMRPとの比較を行ったKRAJEWSKI[81]、従来の生産管理方式との比較を行った、VILLEDA[288]があげられる。

この中で、トヨタ自動車が、自らのかんばん方式利用におけるかんばん枚数の決定方式として公表した方式は[70][256]、

$$Y = \frac{D (T_p + T_w) \times (1 + \alpha)}{a}$$

Y : かんばん枚数

D : 単位時間あたりの必要量

a : 容器あたりの収容量

T_p: 生産または運搬時間

T_w: かんばん待ち時間

α : 政策変数

によって示される。

この中で、特に注記されるのが政策変数αの決定方策である。トヨタ自動車自身では、かんばんを単に物流指示の手段ではなく、工程改善の道具としてとらえている。このため、かんばん数は、加工時間、停滞時間、運搬時間などの総合によるものによるのではなく、工程の異常の発生状態、平準化の程度等、当該工程の能力そのものを示すものであって、適切なかんばん枚数の設定を指向するのではなく、常に工程の改善によって減少すべきものであるとしている。このため安全係数αに対するガイドラインは示していない。

同様に、関根[277]は実際の応用方式として

$$Y = \frac{D \times (L_t + S_t)}{a}$$

L_t : リードタイム

S_t : 安全期間

によって決定するとしている。

また、他の応用例として

$$Y = \frac{D}{a} \times (N_c + \alpha)$$

N_c : 納入サイクル

$$\text{但し } N_c = \text{運搬日数} \times \frac{1 + \text{運搬間隔}}{\text{運搬回数}}$$

で決定できるとしている。

この場合、安全係数 α は、納入サイクル N_c が1以内であれば0.3、1~2であれば0.5、2~3であれば0.7、3以上ならば1.0程度を経験値として与えている。

門田[142]は、さらにかんばんの性質によって、ORの基本方式である経済的ロットサイズ(EOQ)を基にして各種のかんばん枚数決定式を与えている。

一般に経済的ロットサイズ(EOQ)は

$$EOQ = \sqrt{\frac{2AR}{ic}}$$

で決定される。これを用いることによって以下の場合に分けてかんばん枚数式を決める。

1) ロットサイズがかなり大きい場合；段取替改善が不十分である場合、

$$Y = \frac{EOQ + (D \times \alpha)}{a}$$

または、

$$Y = \frac{\frac{D}{S_N} + (D \times \alpha)}{a}$$

S_N : 段取替回数

で決定される。

2) 信号かんばん、あるいは三角かんばんによって、前工程にロットで生産指示がされる場合

$$Z = \frac{D \times L_t \times (1 \times \alpha)}{a}$$

Z : 信号かんばん位置

- 3) 工程内、あるいは目視内で一般に後工程引き取りで用いられる場合には、前述のトヨタ自動車の方式と同じ方式で決定する。
- 4) 外注・協力企業に対するかんばん枚数については、外注企業の納入サイクル（1日に何回納入が行われるかによって決定される。

$$Y = \frac{D \times (N_c + L_{ct} + \alpha)}{a}$$

N_c : 外注企業への発注サイクル

L_{ct} : 外注企業のリードタイム

宮崎[138]は、さらにこの考え方を進め、単位時間当りのかんばん方式の運用費用Cを目的関数としてCを最小化する引き取り周期(R^*)を求め、かんばんの最適枚数の決定を試みている。

$$C = C \bar{I}_s + C_o \frac{1}{R}$$

C_s : 単位時間当り発生する在庫費用

C_o : 1回当りの引き取り費用

I : 平均在庫量

R : 引き取り周期

かんばん方式の運用費用について、社内かんばん、社外かんばんに分けて定式化を試みている。この差は、社内かんばんでは、第k期中に発注された資材が、第k期末、すなわち第k+1期の期首に納入されるが、これに対して外注かんばんにおいては、納入サイクルの問題から、発注は第k期末にまとめて行われ、納入リードタイム： L ；引き取り周期 R とした時、第($k + \lceil L/R \rceil$)期末に納入される点にある（ $\lceil X \rceil$ ： X 以上の最大の整数）。

これに従えば、社内かんばんでは、第k期の期首在庫量 I_k は

$$I_k = I_{k-1} - R d + Q_{k-1}, K \geq 2$$

d : 資料の単位時間当りの使用量

で示される。 Q_{k-1} は第($k-1$)期に発注され、第k期首に納入される使用

量で

$$Q_k = \left[\frac{R d + M_{k-1}}{u} \right] u, \quad k \geq 2$$

$$M_{k-1} = m \circ d \left\{ \frac{R d + M_{k-2}}{u} \right\}, \quad k \geq 3$$

[] : ガウス記号

で表わされる。

以上の関係は、再帰関係式によって示されることから、全期間中の平均在庫量は

$$\bar{I} = N u - L d + u - \frac{1}{2} R d - \frac{g}{u} \sum_{k=2}^{u/g+1} m \circ d \left\{ \frac{(k-1) R d - L d}{u} \right\}$$

u : コンテナ容量

g : u と R d の最大公約数

によって示される。

従ってかんばん枚数は制約条件は定常状態においては、最低在庫量が安定在庫量を下回らないかつ、これを満足する最少の枚数であることから

$$N = \left[\left\{ I_0 + (R + L) d - u + \max_{2 \leq k \leq u/g+1} \left\{ m \circ d \left\{ \frac{(k-1) R d - L d}{u} \right\} \right\} \right\} / u \right]$$

で決定される。

また外注かんばんについては、漸化関係式は、

$$I_k = I_{k-1} - R d + Q_{k - \lceil L/R \rceil - 1}, \quad k \geq \lceil L/R \rceil + 1$$

$$Q_k = \left[\frac{R d + M_k}{u} \right] u, \quad k \geq 2$$

$$M_k = m \circ d \left\{ \frac{R d + M_{k-1}}{u} \right\}, \quad k \geq 2$$

で与えられる。

従って、外注かんぼんの平均在庫量は、

$$\bar{I} = N u - \lceil L/R \rceil R d + u - \frac{1}{2} R d + \frac{g}{u} \sum_{k=\lceil L/R \rceil + 2}^{u/g + \lceil L/R \rceil + 1} m \circ d \left\{ \frac{(k-1) R d - L d}{u} \right\}$$

で与えられる。

従って、外注かんぼん枚数は、

$$N = \left\lceil \left\{ I_0 + (\lceil L/R \rceil + 1) R d - u + \max_{a \leq k \leq b} \left\{ m \circ d \left\{ \frac{(k-1) R d}{u} \right\} \right\} \right\} / u \right\rceil$$

但し $a = \lceil L/R \rceil + 2$
 $b = u/g + \lceil L/R \rceil + 2$

によって与えられることが解る。

しかしながら、シミュレーションの結果では、最適値周辺は目標関数の変化は極めて緩やかであって、最適値よりは、その近傍で実際の運営上取扱いが容易な値で実用上は充分であると考えられる。

また、かんばん方式は工程間在庫量を決定するのみならず、工程の改善努力の手段として利用されるべきであり、経験豊かな第1線監督者の運用に任せるのが実際的である。

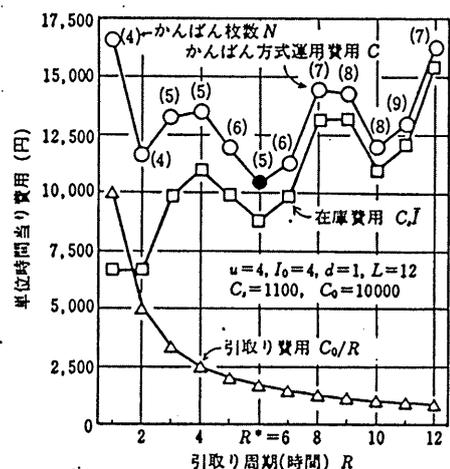


図2-6 かんばん枚数のシミュレーション結果 宮崎[138]による

2.3.7. 平準化

生産システムの運用において、最も効率的であるのは、ある生産目標量に対して、最適に設計された設備を用いて連続的に同じペースで運用されることである。

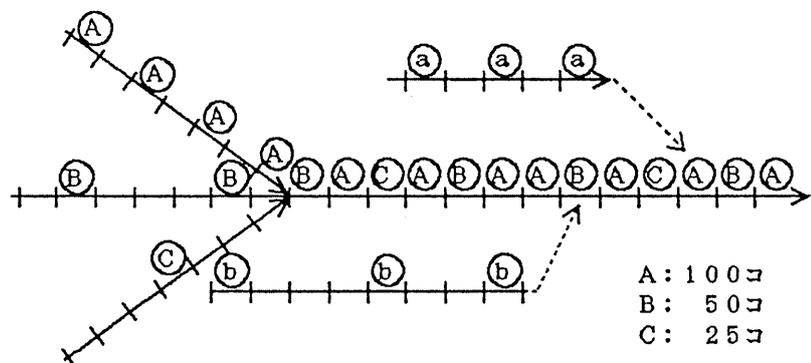


図 2-7 平準化の考え方

かんばん方式において前工程が、後工程をこのような状態で保つには引き取りがコンスタントに行われることが必要である。

各生産工程は、月次計画で与えられた生産内示量によって生産する部品、部材のタクトタイム（稼動時間／生産必要量）に従って、専用ライン、あるいは複数の部品、部材の切り替え生産を行う混流生産ラインを用意する。

もし、後工程が設定されたタクトタイムを下回る間隔で部品、部材を要求するならば、当該工程は超過勤務、稼動によって対応することになるが、これ以上の要求がされる場合には、さらに多くの人員、設備をあらかじめ用意しなくてはならず、この傾向は、工程を最終工程から、逆のぼるにつれて増大する。従って、このような変動要因を最小化するためには、最終工程を最重要として可能な限り、生産量およびその構成品種比率を安定化させる必要がある。この行為全体を、トヨタ生産方式においては平準化[197]と呼んでいる。

平準化は、あくまでも前工程の安定化を目標とする行為であるから、平準化される部品、部材の優先順位は、生産ペースの乱によって生ずる損害の大きさによって決定される。一般的には、高額で専用の設備によって生産される部品、部材の優先順位が最も高く、切り換え生産が行われる高額設備、より安価な設備で生産される部品、部材と続き、購入品の組立のみで完了する部品、部材の組立品、購入品が最も低い。

最終ラインは、生産される製品に用いられる部品、部材の優先順位に従って、可能な限り、その部品、部材の引き取り間隔がタクトタイムに対して変動が少

なくなるように、最終製品の投入順位を決定することになる。

1 ライン当たりの基本品種少なく、オプション品が多岐にわたり、多くの部品、部材から構成されるため、全体の優先順位決定が困難である場合には、基本品種ごとの必要生産量比によって、最終ラインへの投入順位を決定する方式（生産量逆数法）が経験的とられている。

1) 生産量逆数法

この方法は、最終組立製品の品種の数を順次自然数で割って行き、その値の大きいものからラインへ投入することにする。例に従って、この手順について説明する。生産順序を決定すべし期間中の、生産必要量を、A：100コ、B：50コ、C：25コとする。

ライン投入順序の連鎖を形成する最少の循環のユニットを作成する。このユニットをくり返しラインに投入することによって生産順序を決定する。

手順1：循環ユニット個数の決定

一般には、各生産必要品の最大公約数によって生産比を求める、循環ユニットを成す個数を決定する。この場合、A、B、Cの最大公約数は25となる。従って、各生産必要品の生産比は

$$A = \frac{100}{25} = 4 \quad B = \frac{50}{25} = 2 \quad C = \frac{25}{25} = 1$$

で求まる。この生産比の和を循環ユニット内の個数とする。この場合は、 $4 + 2 + 1 = 7$ となる。従って、この7コのユニットを $(100 + 50 + 25) / 7 = 25$ 回繰り返すことによって、生産順序が決定できる。

一般に、生産比は簡明な整数比になる場合は少ないが生産システム自身が、ラインのアンバランス、作業時間変動により確定的な動きをすることは希であり、これを精微化することは意味がない場合が多い。生産順序決定期間中にいくつかチェックポイントを作るのが現実的である。従って、最大でも、繰り返し用いられる循環ユニット量は、生産順序計画期間の数分の一以下であり、かなり小さい値で決定し、それ以下の数量の品種は循環ユニットとは別に順序計画するべきである。

表2-2 逆数法による生産順序決定

計算手順	品 種			生産順序
	A ₁	B ₁	C ₁	
1	1/4*	1/2	1	A
2	1/2	1/2*	1	A B
3	1/2*	1	1	A B A
4	3/4*	1	1	A B A A
5	1	1	1*	A B A A C
6	1	1*	-	A B A A C B
7	1*	-	-	A B A A C B A

手順2：投入サイクルの決定

投入循環ユニット数7が決定した次は、それぞれの品種ごとの投入間隔を決定する。この例の場合は、

$$A = \frac{1}{4} \quad , \quad B = \frac{1}{2} \quad , \quad C = \frac{1}{1}$$

と、一循環サイクル内で生産されるべき数量の逆数が循環ユニット内での投入間隔となる。

手順3：投入順序の決定

表2-2に示すごとく、計算手順1に各品種の投入間隔を記入する。各品種の投入間隔の値の中で、値の小さい品種が生産の優先順位が高いことを示している。同じ値の品種がある場合には以下の3ルールの内どれか1つにより決定する。

ルール1；循環ユニット個数の中で最少の品種を選ぶ

ルール2；品種並びの中で最も右にある品種を選ぶ

ルール3；品種が連続するものを除いてから、ルール1かルール2を選ぶ

表2-2では、ルール1に従うことにする。

従って、計算手順1では、生産順序の1位としてAが選ばれることになり、Aの投入間隔1/4に*を付す。

手順4：手順1によって、投入が決定された品種について次の投入間隔を決定する。

計算手順1では品種Aが選ばれたので、計算手順2におけるAの次期投入間隔A₁は、1/4+1/4=1/2に決定できる。

手順5：手順3、手順4を繰り返す、次期投入間隔が1を越えた品種は-によ

って、表中から除く。表2-2では、計算手順5でC₅が1で選択されたので、計算手順6からは、C₆の欄以後は-で除く。

手順6：循環ユニット内のすべての品種が選ばれたら終了する。

2) 使用部品平準化法

トヨタ生産方式では、最終製品の平準化は、部品利用量の平準を目的としていると考えられる。特に前述のごとく、専用設備によって生産される部品の場合は、設備能力によって生産量の上限が規制されるため、必要需要量の上限により生産能力が決定され、投資が行われる。従って、必要最大生産能力が小さくなる必要とされる。最大生産能力の最小化には需要、つまり後工程からの引き取りレートが安定化することが必要である。このため、期間中の部品使用の期待レートと、実際使用量の最小化を目標とした手順が必要となる。

代表的手法は、目標追跡法[152][156]である。

Q：単位期間中に生産されるべき製品の総量

a_j：製品を作るために必要な部品（j = 1, 2, ……、β）

n_j：a_jの必要量

y_{kj}：1番目からk番目までに必要とされたa_jの量

とすると、製品1単位当りに必要とされるa_jの平均レートはn_j/Qとなる。

従って、目標は

$$\left| \frac{n_j}{Q} \cdot k - y_{kj} \right| \rightarrow \min$$

となる。この評価尺度として、距離(D_k)を定義し

$$D_k = \sqrt{\sum_{j=1}^{\beta} \left(\frac{n_j}{Q} \cdot k - y_{kj} \right)^2} \rightarrow \min$$

を満足する手順を考えている。

しかし、一般には製品を構成する部品は数多く、部品1単位の生産に必要なとされる投資金額によってウェイトが必要となる。従って、

δ_j：a_j1単位を生産する設備投資に必要な金額のウェイトを定義し、平準化指標(S_k)

$$S_k = \sqrt{\sum_{j=1}^{\beta} \delta_j \left(\frac{n_j}{Q} \cdot k - y_{kj} \right)^2} \rightarrow \min$$

による必要がある。

手順1：各部品について δ を評価する。部品生産1単位の増強に最も費用のかかる部品の δ を1として、市販購入品を0として、計算の簡単化を計る。 δ が一定値以下の部品を除いて、計算対称部品数 β を決定する。

手順2：以下の記号を定義する。

A_i ; 作られる製品種類 ($i = 1, 2, \dots, \alpha$)

N_i ; 各製品の必要量 ($i = 1, 2, \dots, \alpha$)

b_{ij} ; 製品 A_i で必要な部品 a_j の量

S_{k-1} ; k 番目以後に生産必要な品種

$k = 1$ の時は $S_{k-1} = \{1, 2, \dots, \alpha\}$

$y_{k-1,j}$; $k-1$ 番目までに使用された a_j の総量

手順3： $k = 1$ 、 $y_{k-1,j} = 0$ とする。

手順4： k 番目に生産される製品 Z_k を決める。

$Z_i = \min \{D_i\} \quad i \in S_{k-1}$

$$D_i = \sqrt{\sum_{j=1}^{\beta} \delta_j \left(\frac{n_j}{Q} \cdot k - y_{k-1,j} - b_{ij} \right)^2}$$

手順5： Z_i を与える製品 A_i が、 k 番目の生産品目となる。

$N_i = N_i - 1$

とし、 $N_i = 0$ となった場合は

$S_k = S_{k-1} - \{i\}$

それ以外は

$S_k = S_{k-1}$

とする。

手順6： $S_k = \phi$ ならば終了する。

$S_k = \phi$ ならば

$y_{k,j} = y_{k-1,j} + b_{ij} \quad (j = 1, 2, \dots, \beta)$

を計算して

$k = k + 1$

として、手順4へもどる。

以上によって、生産順序が決定される。

しかしながら、生産システムではラインの不調、欠勤等による生産量変動が大きいことと、順序引き生産のみでなく、カンバンによって引き取られる場合もある。カンバンの場合は引き取り間隔内で平準化されればよく、詳細な部品単位での平準化は実際的ではない。

従って、平準化される部品は、きわめて設備投資額が大きいか、設備能力の上限まで利用される部品、例えば自動車部品では夏期におけるカークーラー等に限られる必要がある。

2.3.8 自動化

かんばん方式においては、後工程は、必要な品物を必要な量だけ必要な時に、前工程に引き取りに行くことを原則としている。一般に不良品等が混入する可能性がある場合には、必要量以上の品物を引き取るか、あるいは全品を完成検査することが通例であるが、これは工程内で不用品や、死蔵品を発生させる原因となり、小量生産品の場合には、生産期間増大の最大要因の一つとなる。

トヨタ生産方式では、工程内でハードウェア的に、不良の発生を防止したり、工程内での作りすぎを防止するしくみ全体を「自動化」[197]と呼んでいる。最も原理的なしくみは、不良品が発生した場合に設備を自動停止させ、同時に異常情報をランプ、ブザー等により作業員に知らせるものである。

2.4. トヨタ生産方式の展開と効果

2.4.1. 質問紙調査によるトヨタ生産方式の利用状況と効果

熊澤ら[105]は、生産管理技法の利用状況と、その利用の成果を明かすために、質問紙による調査を行った。生産管理技法は、一般的に、生産管理活動全般を対象とし、いくつかの下部構造を持つ、トヨタ生産方式、MRP等の総合的管理技法と、特定の分野での測定、改善に利用される個別管理技法に分かれる。ここでは、生産管理技法の体系を考察し、76技法を選択した。調査項目は、1) 業種、規模、管理スタッフ数、2) 各管理技法の導入時期、活用の程度、成果、3) 導入の動機、4) 導入の際の問題点、5) 生産期間、在庫水準、納期遅

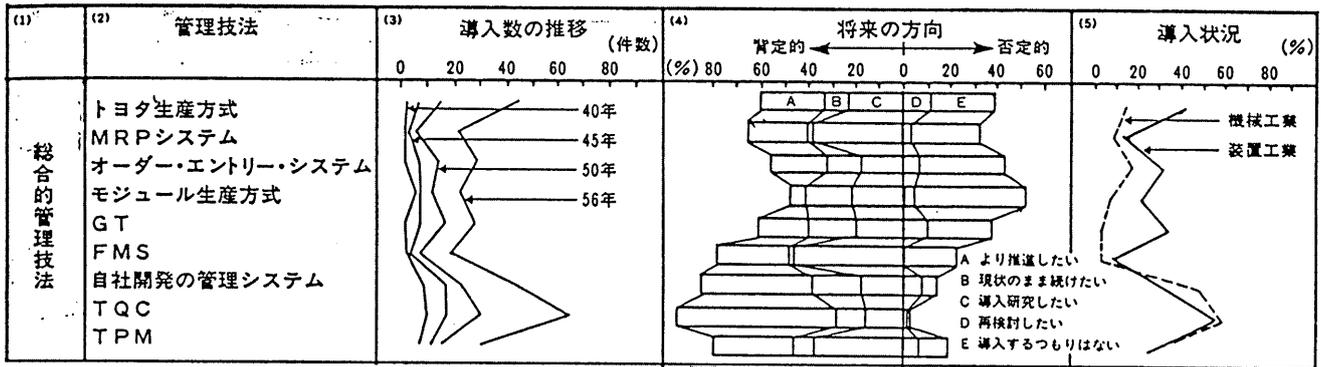


図2-8 総合的管理技法の導入状況・将来の導入希望

れ率、不良率、提案件数等である。調査対象は、15業種、926事業所で、有効な回答は158事業所（回収率17.1%）であった。

生産管理技法の利用の経時的傾向について、図2-8に示す。トヨタ生産方式、MPR等の総合的な管理技法は、オイルショック以降、急速に導入が進みつつある。しかし、現時では利用の範囲が限定されるため、今後の利用に関して、肯定的、否定的な回答に分かれる傾向があった。

生産管理技法が、管理水準に与える影響を調査するために、以下の2分析を行った。

1) 技法導入の有無により、生産期間等の管理水準値に差があるか否かを、分散分析により検定を行った。この場合は、業種により偏りが生ずるのを防ぐために、事業所ごとの管理水準値を業種平均で除した値を指標として用いた。

2) 同様に、管理水準を目的変数として、各管理技法の利用を説明変数とする重回帰分析を行なった。

この結果、有意な差があったとしても、直接的な因果関係そのものを立証することは出来ないが、一つの指標であると考えられる。図2-9にその結果を示すが、トヨタ生産方式の導入によって、仕掛り在庫、資材在庫、製造期間等、生

図2-9 生産管理技法の利用と管理指標

(有意水準 ◎1% ○5% △10%)

管理項目	資材在庫	仕掛り在庫	完成品在庫	製品設計期間	資材調達期間	製造期間	納期遅れ率	平均不良率	提案件数
トヨタ生産方式	△	○				△	△		
MRPシステム								△	
オーダーエントリーシステム				○					
モジュール生産方式	△								
GT							○		
FMS									
自社開発システム					△	○			
TQC						△			◎
TPM			△						◎

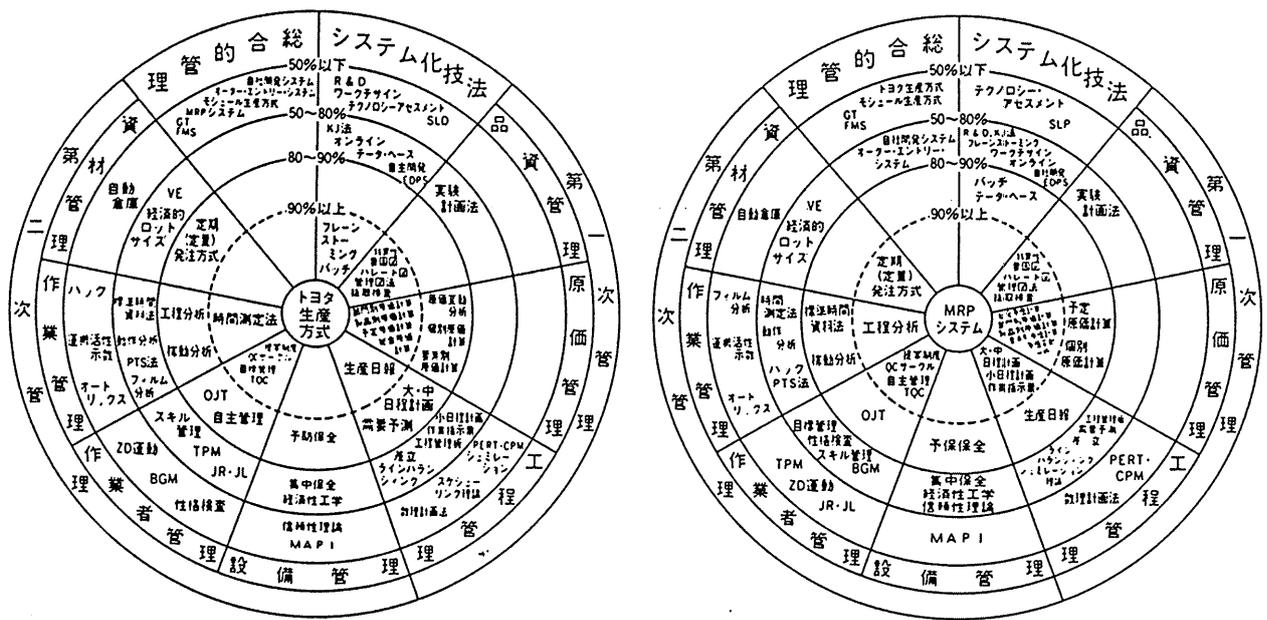


図2-10 トヨタ生産方式, MRPと周辺技法の利用の関連

産期間に関連する諸指標が向上していることが理解できる。また、分析2においても、ほぼ同様の結果が得られた。

前節において、トヨタ生産方式の構造についてふれたが、トヨタ生産方式、および、MRPについて、周辺管理技法との関連を見たのが図2-10である。この結果、トヨタ生産方式の導入企業は、品質管理、作業管理、標準時間設定関連の技法の利用度が高い。これに対して、MRPの導入企業においては、オーダーエントリーシステム、EDPS関連技法、シミュレーション等の技法利用が多いことがわかった。

2.4.2. トヨタ生産方式による進捗管理効果

トヨタ生産方式を完全に適用している企業、不完全な適用および従来の生産管理手法を利用している企業について、進捗管理の状況について調査比較したのが表2-3である[97]。この結果によれば、完全に適用している企業では最も効果が高く、生産期間は約5-10分の1程度で、在庫量も同程度少なくすんである。また、段取替時間も約5分の1程度に減少し、減少分を段取替回数の増加へ使い、小ロット化を進めていることがうかがえる。また、管理人員も約半分に減少しているが、反面、納期遅れとなる割合は著しく減少していることがわかる。

トヨタ生産方式を不完全に実施している企業では、従来の生産管理技法を利用している企業に対して、生産期間はわずかに減少しているものの、管理人員は増大している。これは、トヨタ生産方式を進める上で、導入期の基盤整備のために多くの人員を必要とするためであると考えられる。

表2-3 トヨタ生産方式利用状況と効果

		完全実施 (8社)	不完全実施 (18社)	従来方式 (37社)
生産期間	工程期間	3.8日	12.0日	17.6日
	生産期間	7.8	41.7	44.0
在庫量	資材在庫	4.2日分	11.2日分	17.0日分
	仕掛在庫	3.2	11.2	16.3
	製品在庫	2.1	8.9	14.6
段取替	一回平均	15.4分	52.5分	93.0分
	週回数	14.3回	7.5回	6.6回
	週平均時間	87.0分	425.0分	404.0分
納期遅れ率		2.0%	6.6%	7.0%
管理人員/工場従業員		2.6%	5.5%	4.7%

2.4.3. トヨタ生産方式導入後の生産期間の推移

トヨタ生産方式導入後の生産期間の推移について、経時的に調査を行った結果を、図2-11に示す。対象としたT社は、自動車部品の小物部品を生産している企業である。従来は、生産対象が小型部品であることもあって、大口ロット生産を行っていたが、オイルショックによって生産の量的増大が止まった時期に、大量の不良滞貨をかかえ、経営が圧迫されることになった。

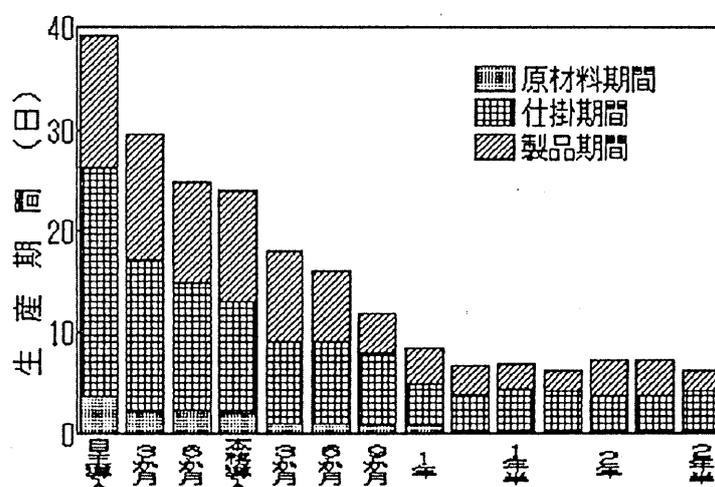


図2-11 トヨタ生産方式導入後の生産期間の推移

そこで、工程内でかんば

んを利用を始め、順次トヨタ生産方式を導入した。

この結果、当初40日程度であった生産期間は、約1年で1/2へ減少し、1.5年後には1/4へ減少した。トヨタ生産方式の導入によって、約2年目以降は生産期間は安定し、従来の6-7分の1で生産が可能となった。

2.5. N P S 方式

2.5.1. N P S 方式開発の経緯

N P S (New Production System)方式は、昭和56年に発足した株式会社M I P のN P S 研究会が普及を計っている生産方式である。N P S は1業種1社からなり、公表された現会員数は37社[248]であるが、退会した会社もある。

N P S は、トヨタ生産方式の創始者である大野耐一氏を最高顧問とし、トヨタ自工におけるトヨタ生産方式推進者の第一人者であった鈴木氏を始めとする、トヨタ関連企業出進者十数名が、実践研究員として活動を続けている。長らく、その活動は公表されなかったがW I L L [265]で昭和60年9月に一部が紹介され、その後、「週間東洋経済」[246][247][251]およびその発行物[244][248]、あるいは「工場管理」[121]で紹介が行われているが、N P S における生産システム設計法そのものについて考察されたものは現在ない。本節では、熊澤らが実際にN P S の各種研究会において、調査、分析を行った結果について考察を行う。

2.5.2. N P S 研究会の生産環境認識

N P S においては、生産環境をAパターン、Bパターンの時代として分けて評価する。Aパターンとは、需要が供給を上回っている生産環境を示し、この間は大量生産が有力であって、 $\text{売値} = \text{原価} + \text{利益}$ によって決定される時代であると規定する。Bパターンとは、供給が需要を上回り、 $\text{利益} = \text{売値} - \text{原価}$ の構造が成り立つ。すでに、米は昭和32年ごろ、繊維

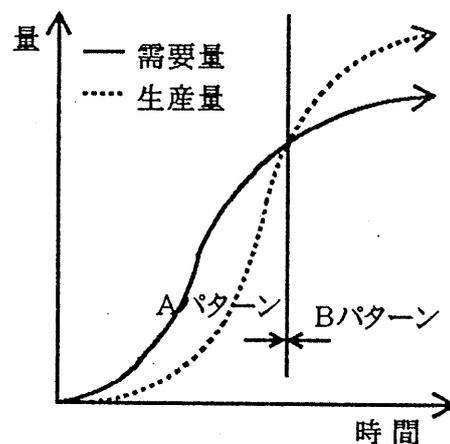


図 2-12 N P S のパターン分け

は40年ごろ、ベアリングは50年ごろ、現在は消費が好調であるが、すでに一部家電等はこの状況にある。この状況の中で企業が利益を上げて行くためには、量産品においては不良在庫を持たないこと、非量産品にあつては短納期化によって製品付加価値を増大することが最大の目標であるとしている[130]。この状況認識は、本論文第1章において考察した内容と一致するものであると考えられる。

NPSは、この多品種少量化における生産期間短縮方策として次の3ステップを想定している。

NPSでは生産システムを多段階工程システムとしてとらえ、最終工程と、それに付随する前工程を考えてモデル化している。その場合、かぎとなるのは発注のリードタイムと生産システムとの生産期間の関連である。この三者によって、どの部分にストア（一時保管場所）を設定するか、またどの工程に生産順序指示（差立）を行うかが決定される。次に、工程間の生産指示および運搬、物量制限の方法である。NPSにおいては、かんばん方式で想定されるすべての品種が管理サイクル内にすくなくとも0以上、通常はかなりの量が生産されるという立場から踏み出し、一個生産（生産管理単位が1個であり、1個でも生産指示がなされる）を前提として生産システム設計を目標とし、種々の管理システムを考察し、実践を行っている。

第Ⅲ類は、最終工程生産期間(FPP)が、需要者リードタイム(DLT)よりもかなり大きい場合である。この場合、受注品は完成ストアより順次引き取られる。最終組立ラインは、完成品ストアよりのかんばんあるいは順序指示によって、必要な部品を、部品ストアより引き取り、補充生産を行う。同様に、部品工程は、部品ストアよりのかんばんあるいは順序指示によって部品生産を行う。第Ⅲ類でも通常の実産方式と異なるのは、完成品、部品とも倉庫（製品・部品に保管のための処理が施され恒久的な保管のための設備に入れられる状態）で保管されるのではなく、ストア（部品、製品が工程内で用いられる荷姿で、工程内に一時的におかれる場所）におかれ、滞留量の減少および生産期間の短縮が計られることである。

第Ⅱ類は、需要者リードタイム(DLP)より最終組立工程の生産期間(FPP)が小さい場合用いられる。 $FPP < DLP \times \alpha$ ($0 < \alpha \leq 1$) の場合であつて、通常 α

<0.5 以上で用いられる。受注は、差立係によって最終工程の工程負荷と考えて生産順序を決定し、最終ラインの先頭へ生産順序指示を行う。これに従って、最終工程は部品ストアより必要な部品を取り出し生産を行う。FP P より以前の段階であれば生産順序の変更が可能となる。最終製品ストアは廃止され、膨大で、しかも、廃棄される確率の高い製品在庫は解消される。差立は通常1日以下の単位で行われる。

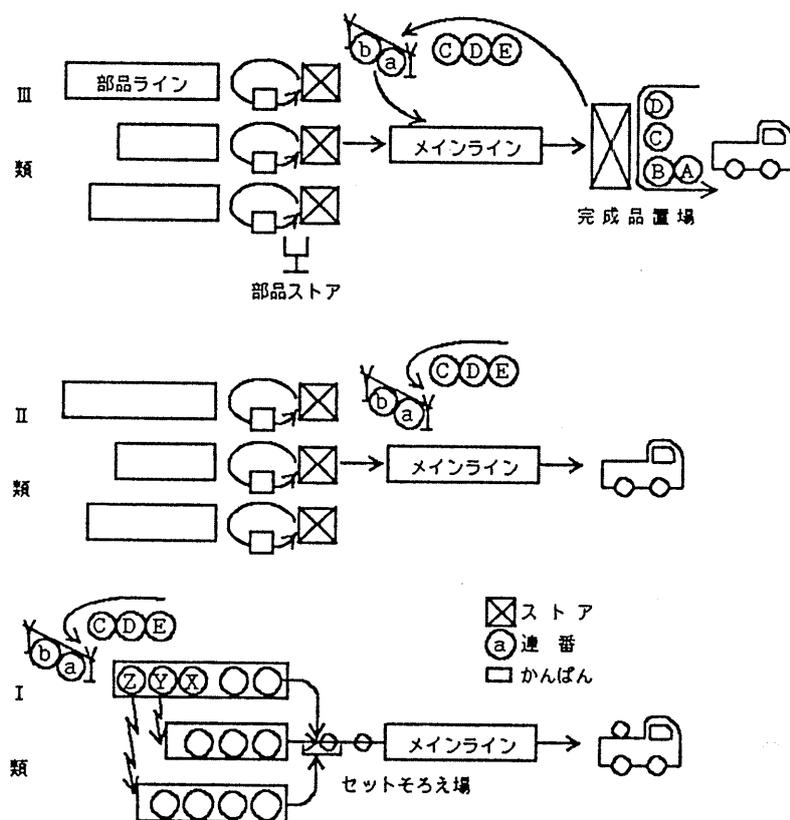


図2-13 NPSによる生産の類型化

第Ⅲ類は、需要者リードタイム(DLP)より、最終組立ライン生産期間(FPP)生産期間の最も長い部品組立ラインの生産期間の和以下である場合に用いられる。受注は、差立係によって、それぞれの部品生産ライン、最終組立ラインの負荷状態から、生産順序を決め、最も生産期間の長い部品生産ラインに対して生産指示をあたえる。各サブラインへは、当該ラインでの必要な生産期間時点で始めに生産指示が与えられたラインから、生産指示が割り付等によって与えられる。各工程間の同期性はタブレット等によって物流量を制限することによって保たれる。従って、最終工程で、生産順序に従って生産を行う時すべての部品がそろえることが保障される。部品ラインで予想されるトラブル(最大でもタクトタイムの数倍程度で回復するもののみを指す)は、最終工程前のセット置き場数によって解消される。第Ⅲ類では、差立係による生産順序決定が極めて重要であって、生産システム全体を熟知した管理者によってなされるべきである。第Ⅲ類の場合は原則的に、部品工程で必要とされる部品、部材以外の滞

留は廃止され、全体としての短生産期間が可能となる。

NPS方式の前提は、トヨタ生産方式と同一であり、その条件をさらに厳しくした場合であると考えられる。すなわち、工程負荷が各工程毎にきわめて狭い時間スベックであっても均一化されること（平準化）、生産部品、製品が行き先（納入先、後工程）が決定されているので、すべて良品である保障（自動化）であることの2点である。

全体としては、トヨタ生産方式における順序引き取り生産を拡大、精密化したとして取られることが可能である。このため、かんばん方式より以上に、生産順序および工程内停滞量の減少、安定化を計る技法を開発するが必要であり、きわめて短生産期間を実現することに寄与している。

2.5.3. NPSにおける生産管理手法

NPSでは、①一般にコンベア生産で用いられるタクトタイムによる生産を非コンベア生産システムにも適用する、②メインラインでは、徹底した個別生産を目ざす、③トヨタ生産方式で用いられる順序引きを全工程へ拡張することによって、フォードシステムの同一品種大量生産体制で実現した同期生産を、多品種少量生産においても実現する事を図っている。

NPSでは、生産指示および進捗統制に重点を置くことを特色としている。NPSにおける生産計画および管理システムは、月間および旬管レベルの平準化までは、トヨタ生産方式とほぼ同じ手順によってなされる。しかし、生産指示（差立）および進捗統制はより個別生産を前提としたシステムが用意されている。このシステムは、トヨタ生産方式における順序生産を起源としているが、コンベアシステムによる工程内移動の同期化を前提とせず、工程がそれぞれ多工程持ちシステム化されることによる工程連結度の向上と同時に、工程間にある程度の距離がありジョブショップとして独立している場合であっても、あたかも同一ライン上を生産対象体が移動するごとく、生産の同期化を可能とするしくみを用意している。この時、生産指示をメイン（源流）となるラインに指示する方策が連番であり、サブ（支流）であるラインへの情報伝達手伝が割り付と呼ばれるシステムであって、工程全体の物流量の制限および、同期化を計る手段が、タブレット、あるいはワッペンと呼ばれるしくみである。

1) 連番による生産指示

製品に日程計画レベルでの受注の繰り返し性が期待できず、かつ工数がある程度大きく、オプション、部品が多い時に用いる。

連番とは、トヨタ生産方式のメインラインで用いる「ふんどし」に近いものであって、生産対象となる製品の型式、用いる部品、オプション類が記載された用紙と、生産順序を示したプレートから成っている。まず、納期から逆算して、ラインアウト順を予備的に決定する。次に、このままでは、用いられる加工方法、部品、必要な部品によって、各工程ごとの負荷に一時的な過不足が生ずる場合があるので、各工程負荷を勘案して、差立順序を決定し、工程の先頭に生産指示を行う。連番とは着工順位を示すと同時に、製品のラインオフの順序であって、工程内での飛び越し、入れ替りは許されない。連番の付与と、生産指示は、工程投入直前まで変更の可能であって、受注の変更等は積極的に受けるべきである。しかし、一度工程投入がなされたら、仕様変更等いくつか設けられたポイント以外ではなされてはならず、ラインアウトは許されない。

連番指示のなされる工程は、需要者リードタイムDLTと工程期間(PP)の関連で決定され、 $DLT > PP$ となる最遅工程になされる。

連番の目的は、生産順序を明確にすることによって、工程内の仕掛品移動の整流化を計り、生産期間の総体的短縮化と安定化を指向するのと同時に、進捗管理の容易化を推進するものである。

従って、生産対象によっては、ある工程通過を必要としない場合や、通常よりかなり大きい加工時間が必要となる場合がある。しかし、総体的な(平均的)生産期間の短縮を目標とする以上、前者の場合では、あたかもその工程での加工が必要であるかのごとく通過(空加工)させ、後者の場合においては、人員設備の一時的応援によってなされるべきである。もし、これによってライン全体の効率の低下、生産期間の増加が予想されるならば、ラインを分割することによって対処される。

連番とは、鉄道の複々線化に見られるごとく、普通と快速等の速度による区分、あるいは行き先による区分を行い、同じ目的地、速度を持つ列車のみを同一線上を走られることによって全体の効率化を旨とするものであると言える。

また、工程が一貫していれば良いが、設備能力の不整合、あるいは特殊な設

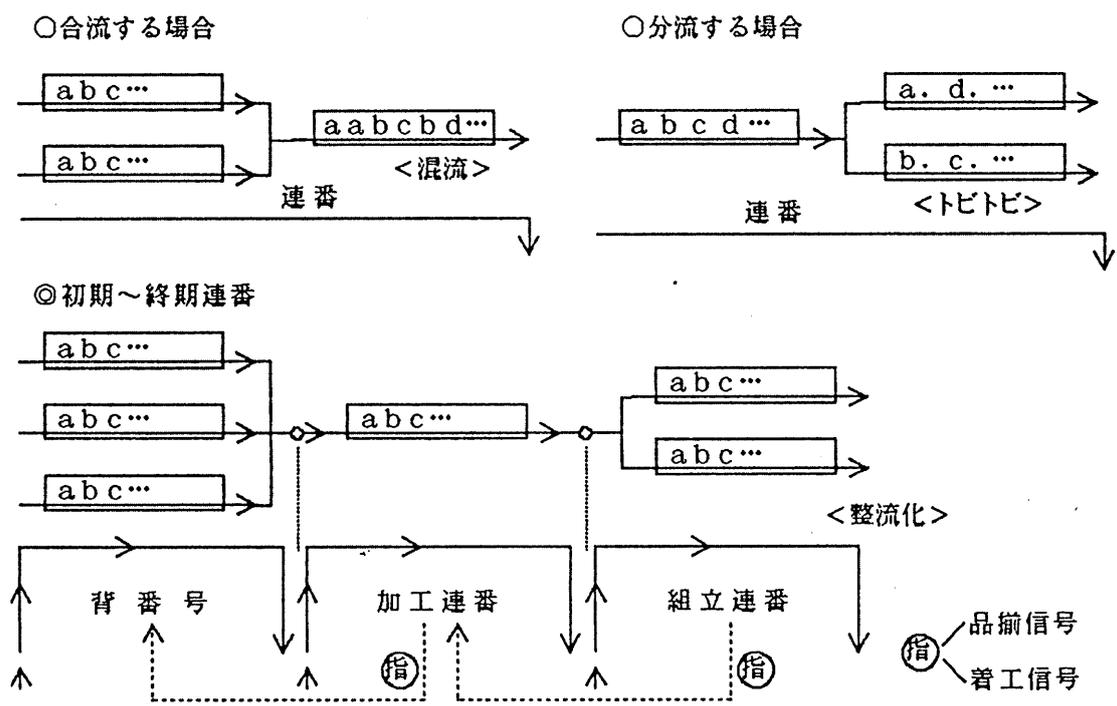


図2-14 連番による順序管理

備が必要な場合に、工程の合併あるいは、分岐が必要となる場合がある。この場合は、合併点、あるいは分岐点で別々の連番が用いられる場合がある。背番号、加工連番、組立連番等の呼称が用いられる。これによって、生産効率、変化に対する速応性は増大するが、全体として管理の複雑化を招き連番本来の意味を失う危険性を有している。

しかし、前述のごとくNPSにおいてはコンペアによる強制進行性を持たない柔構造であるため、工程内、あるいは工程間の仕掛量を一定とするための方策が必要である。これが、ワッペン、あるいはタブレットと呼ばれるしくみである。

2) タブレットによる量の規制

生産順序は、連番によって指示されるが、タクトタイムのみを基準として生産指示を工程に対して行うことは、何らかのトラブルによってライン停止が発生した場合、工程内停滞量の増大を引き起こす。従って、連番による生産を行う場合、工程が長く管理者あるいは作業者が全体を見渡せない場合においては、何らかのしくみで生産指示のタイミングを示す必要がある。これによって生産

期間の安定化が計られるのである。

タブレットは、このために用いられる代表的な手法である。タブレットは、まさに単線の区間に逆方向の列車の同時に進入すること

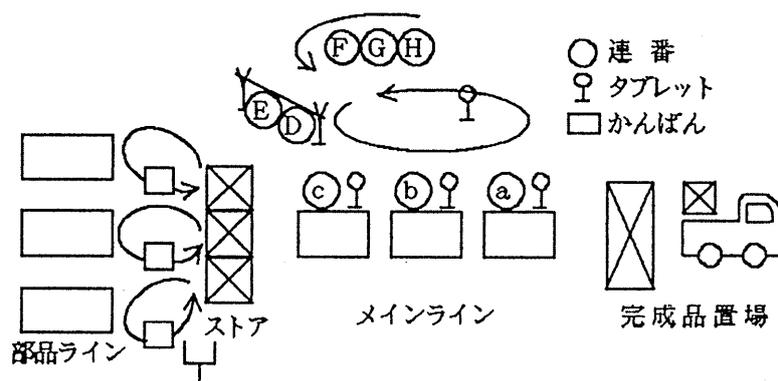


図 2-15 連番・タブレットの動き

を防ぐ通行票であって、これを生産管理に応用したものである。

工程の総工数をタクトタイムで割って、ステーション数 (N) を決定する。 $N \times (1 + \alpha)$: α 余裕率、の数だけタブレットを用意する。仕掛品は連番およびタブレットの両方が付けられ工程内を移動する。最終工程で加工が終了し、製品がラインオフした時点でタブレットは製品からはずされ、連番の投入工程へ送られる。連番の投入工程では、タブレットの到着によって、始めて連番による生産指示が行われるのである。

この方法によって、工程内の仕掛量は制限され、一定に保たれることにより、工程内の生産期間の安定化が計られる。

3) 割り符によるサブラインへの生産指示

一時的に、生産ラインは、メインラインのみでなく、そのために用いられる重要な部品、ユニット、あるいはある製品のためにのみ用いられるオプション品生産のためのサブラインを必要とする。

サブラインへの生産指示には、トヨタ生産方式ではカンバンが一般的に用いられるが、繰り返し性の少ない製品の場合順序引きが行われている。このサブラインでの順序生産をより精微にしたのが割り符によるサブラインへの生産指示である。

割り符利用の対象となるのは、NPSにおける第I類を満足する生産ラインであって、繰り返し性の少ない部品あるいはユニット生産である。割り符は連番とともに先頭工程へ投入される。サブラインでの必要生産期間分だけ先行するメインラインのステーションから、割り符がサブラインの先頭工程へ送られる。サブラインでは割り符の到着によって、これに記載された部品あるいはユ

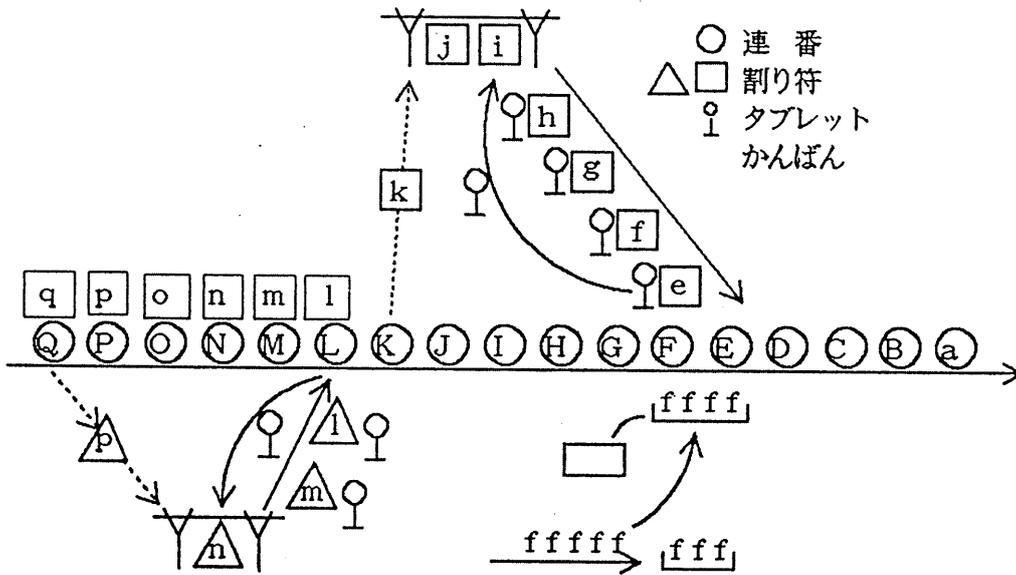


図 2-16 割り符の利用

ニットの生産が行われる。サブライン、メインライン間には、同様にタブレット等によって量の規制を行う。

サブラインは、あらかじめメインラインで生産が予定される仕掛品について人員、設備の準備がなされており、割り付によって始めて何を生産するかが明らかとなることによって、不用の仕掛品の発生あるいは先行した生産が行われることはない。これによって、サブライン内の停滞量は最少化され、サブライン内における最短生産期間が実現される。

4) セット供給

NPSでは、個別生産への対応が最大の目標の一つである。このための生産指示の方法として、連番あるいは割り符がきわめて有力な手段である。しかし、各ライン側あるいは作業ステーション上に配置できる部品ユニット産には限りがあり、すべての製品へ対応することは困難である。このため、ある製品のために必要な個有性の強い部品については、あらかじめ1組用意して、連番と同時にラインへの投入が行われる。これが、セット供給である。セット供給によって、ライン側の停滞量の減少による生産期間短縮と同時に、組立等における欠品、誤品の防止が容易となる。

2.5.4. N P S の効果

昭和58年 1月にN P S 研究会に入会したK社について、生産期間を中心として生産システム改善効果について調査した。K社は、分電盤・配電盤生産を中心に昭和56年度まで順調な成長を果して来た。しかし、昭和50年代後半の新設住宅着工戸数の急減に伴って急速に経営が悪化した。これに対して、安値受注大量生産政策を取ったため、経営利益の巨額の赤字を発生させた。

N P S 研究会への参加は、極めて激しい経営環境の中で行われている。当初行われたのは、工場内の仕掛品の整理であって不用であるか、納期未定の物品の処分であった。昭和59年度中期までは、各生産ラインの4 S（整理、整頓、清潔、清掃）が中心であって、具体的

生産システム改善以前の準備段階である。昭和59年中期以降は、段取替改善を中心として、自動化を進め生産ライン一貫化の前提条件の整備を進め、一個流れ生産、順序生産の基礎教育がなされた。昭和60年度前半からは、信号かんばんレベルでの一貫化が始まった。しかしながら、工程間の連絡化には進まず、段取替時間短縮、標準作業の徹底化が中心であったにもかかわらず、図2-18に示すように各製品の生産期間は、改善前の数分の1のレベルまで低下した。

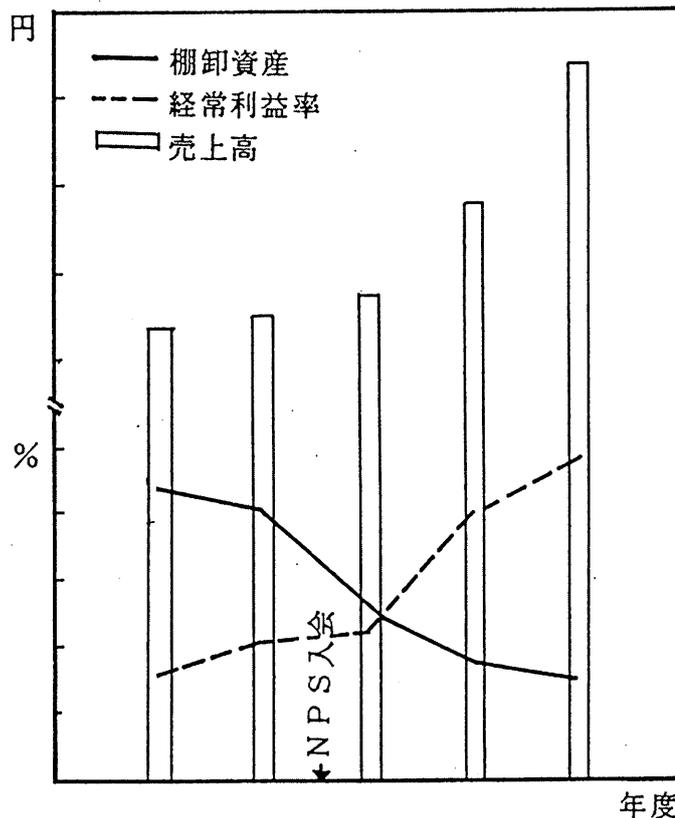


図2-17 N P S 入会後の経営指標の推移

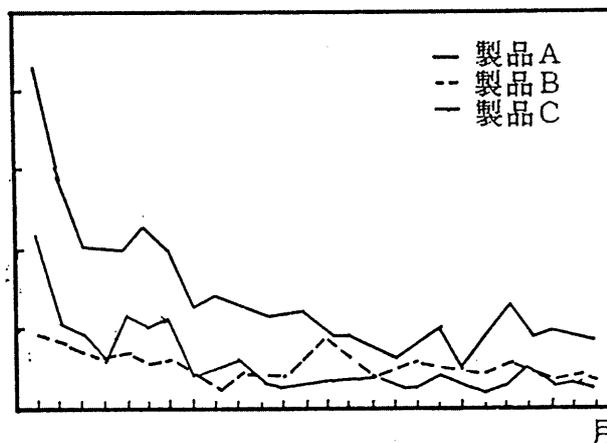


図2-18 N P S 入会後の生産期間の推移

さらに昭和60年度の後半から、工場内全体の一貫化が進められ、昭和61年度当初から全社的一貫化計画が始まった。全社的一貫化とは、受注情報による生産開始、工類の採用からⅢ類への順次移行であって、この結果、図2-19に示すように一日の最高、

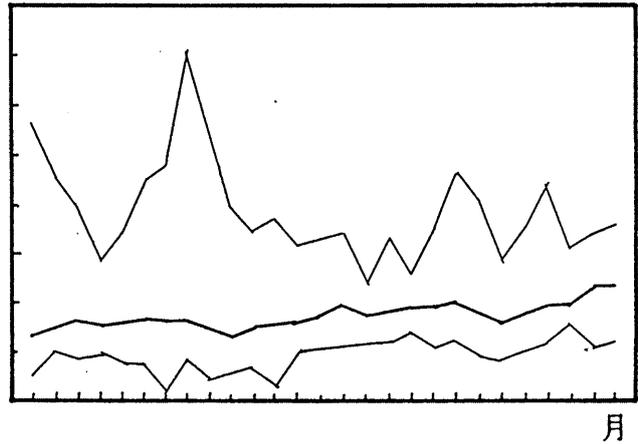
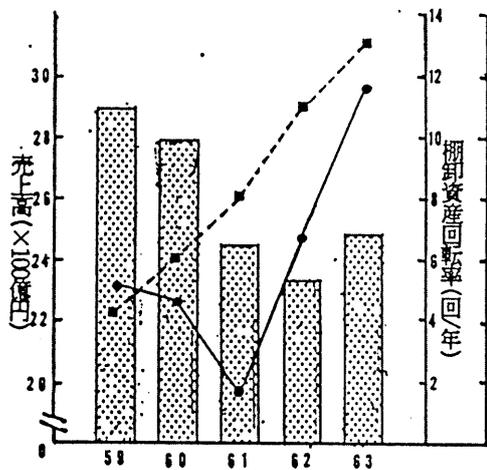
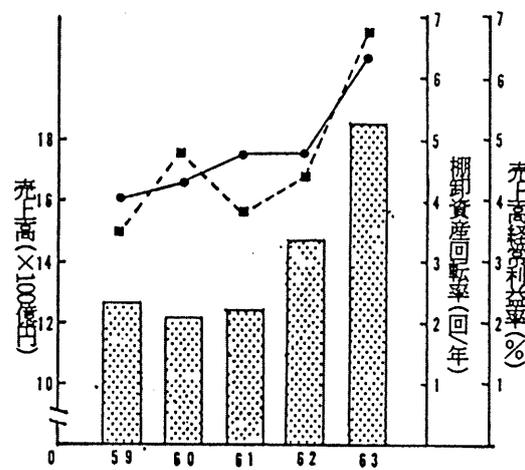


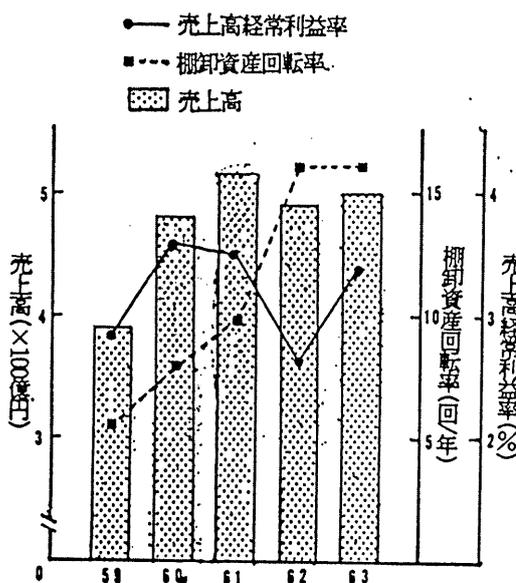
図2-19 製品Bの1日の最高最低売上高の推移



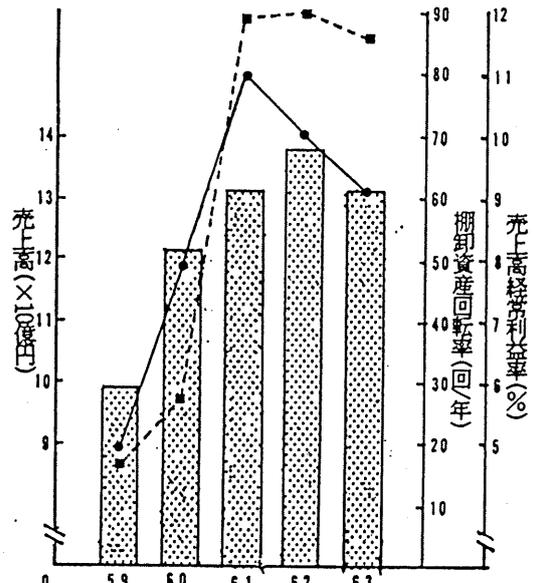
日本軽金属 (昭和59年1月)



ミサワホーム (昭和59年9月)



バンドー化学 (昭和59年10月)



指月電機製作所 (昭和60年2月)

図2-20 NPS入会が経営指標に与えた影響

注 昭和59-60年入会の上場企業について各社の有価証券報告書より作成した

()内はNPS研究会入会年月

最低売上高の接近化が結果として得られた。経営指標の面から、N P S 導入前後について検討したのが図2-17である。N P S の導入によって棚卸資産は急減している。また同時に生産期間の短縮は受注競争力の向上して売上高増加と経常利益率の同時向上をもたらしている。

図2-20に、昭和59年から60年にN P S に入会した上場企業5社について、有価証券報告書に基づいて、昭和59年度から昭和63年度について、棚卸資産、売上高、経常利益について示した。いずれも棚卸資産は急減するがこの傾向は、不振である企業ほど大きく、数年後には、売上高の推移にかかわらず利益構造が改善されていることが理解される。

2.6. J I T の海外での展開

1) 海外でのJ I T の利用の進展

近年、欧米の企業において、従来から利用されてきた方式につけ加え、あるいは従来の方式を捨て、日本的生産方式がさまざまな形ですでに取り入れられたり、または取り入れられようとしている。それに比例して、欧米での適用例の紹介が増加している[11][15][22][23][119][214][230][289][298]。そのとらえ方は欧米の従来の慣習や行動の影響を受けることも多い[14][297]。また、逆に、欧米での利用状況がわが国に紹介され、さらにわが国での利用が推進される面も考えられる[53][141][258][259]。本節では、海外におけるJ I T（一般的に、欧米ではトヨタ生産方式

表2-4 J I T の合衆国での企業規模別の利用状況[11]

企業規模 (従業員数)	全回答数 会社数 %	利用中 会社数 %	考慮中 会社数 %	興味無し 会社数 %
100人未満	15 11.5	8 53.5	4 26.7	3 20.0
250人未満	15 11.5	11 73.3	2 13.3	2 13.3
500人未満	31 23.7	26 83.9	4 12.9	1 3.2
1000人未満	10 7.6	9 90.0	1 10.0	0 0.0
1000人以上	60 45.8	54 90.0	6 10.0	0 0.0
合計	131 100.0	108	17	6

表2-5 J I Tの合衆国での生産のタイプ別の利用状態[11]

企業規模 (従業員数)	J I T 採用企業	連続生産	組立	バッチ	ジョブ ショップ
100人未満	8 7.4	3 6.4	2 2.5	2 4.3	2 4.9
250人未満	11 10.2	1 2.1	4 5.1	3 6.5	5 12.2
500人未満	26 24.1	14 29.8	19 24.0	11 23.9	11 26.8
1000人未満	9 8.3	2 4.3	6 7.6	2 4.3	3 7.3
1000人以上	54 50.0	27 57.4	48 60.8	28 61.0	20 48.8
合計	108	47	79	46	41

注 2以上の生産のタイプを持つ企業が多い

をJ I Tを呼称することが多い)の利用の展開と、効果、およびその評価について検討する。

2.6.1. M P RとJ I T

アメリカにおける初期の研究では一般に在庫削減システムとしてのJ I Tが論じられた[22][36][210]。最近の研究では、現在まで企業で多数使われてきた典型的なシステム(おもに資材所要量計画(M R P))との対照やM R P II (Manufactureing Resource Planning・製造資源計画)としての比較において、J I Tの方法や効果を論じることが多い[12][28][29][30][82]。

M R P (Material Requirements Planning[4][296]・資材所要量計画)は、所定期間の資材の所要量を計算する狭義の意味だけではなく、すべての流れを統合的に管理する生産情報管理システムとして広義に解釈されている。

製造業では完成品を市場に送り出すまでに部品の加工や組立の多段階工程よりなる。その複雑にからみあった製造工程組織に対し、いつ、どのような行動をとるべきかを正確に指示することにより、原材料から完成品までの資材の流れを管理する仕組みが広義のM R Pである。

広義のM R Pは、製造すべきものの時期と量の計算のみでなく、実施可能な計画をたてるという観点から、生産資源要素(人、設備、金)の所要量をも計算するという意味で、Manufactureing Resource Planningの略であり、M R P

IIは、広義のMRPととらえることができる。

MRP IIの利用方法[12]は、ある現場のあるときの材料の必要量を決定し、適切なときにその現場に材料を「押し出す」。その量は、安全在庫（量、品質、オプション、時間問題の不確定に対しての緩衝として保っておくもの）、予期できるスクラップを加え、必要な量が余りに小さすぎて不経済ならば、それ以上の経済的な量として注文される。適切な材料、量、タイミングが決定されると、材料が工場内の処理フロアへ現場注文として投入される。また、受け入れられる現実量を測ったり、生産需要によって在庫レベルを減らしたりすることを試みる。言い換えると、MRP IIは、材料の需要における不定を認め、その不定に対する緩衝在庫をつくる傾向にある。

それに対してJITは、一般に「引っぱり」システム（予想できる需要に対しては、ある出庫はMRP IIの拡張によって行われる）と考えられる。最終組立計画の意味づけは、何を作るかを決定することにおいて最も重要な要素である。

製品が作られるとき、組立ラインである部品の需要があり、上流のワークセンターからそれらを「引っぱり」。これらの部品が使われたとき、使い方が置き換え部品の生産のきっかけになる。しかし下流工程作業において使われるのはたかだかそれくらいになる。このシステムは、工場内のすべての生産作業だけでなく供給者を含んでさかのぼって働く。在庫はすべて「悪」であるという観点から、固定の在庫や適度の在庫はないと仮定し、緩衝在庫の確立を促進する傾向にある製造環境において不定の削減に焦点をあてている。

2.6.2. JIT達成のために行われるTQC、TPM

欧米では一般的にJITの目的は在庫低減とされているが、それは大きなコスト低減の目標である[215]。

品質改善は供給者を含むすべての製造業にとって必要である。品質の概念はJITにも存在し、JITは継続的な品質改善なしには存続し得ない。JITの実行は、品質改善プログラムを背景にしている。JITでは現在必要なもの以外のものであるムダを許さないが、これは根元で評価されなければならない。在庫の理由の問題（設計、保全の問題、スクラップ、内部の製造訓練や製品の

乏しさの問題)のおおのは品質に関係しており、JITを達成するために考えられなければならない。

JITの中での組織全体を含む効果的で重要な品質システムとしてTQCを位置づけている。

また、あるJIT適用の調査の結果として、TQCとTPMをJIT適用のために会社がその適用過程で焦点をあてる必要があるものとして紹介している。

このように、欧米ではTQCやTPMはJITを達成するために行われたり[258]、JIT/TQC[184]のようにそれぞれを結び付けた形で扱われたりしており、相互補完的な役割をしている。

表2-6 JIT導入の理由、効果

	導入理由 %	効果 [14]		効果 [214] %
		平均%	レンジ	
在庫削減	92.3	41	10- 90	
資材在庫				35- 75
仕掛在庫				30- 90
製品在庫				50- 90
製造コスト削減	82.1	17	5- 33	
リードタイム短縮	75.9	40	10- 90	80- 90
品質向上	76.9	26	1- 50	50- 55
生産スペース削減	69.2	30	9- 50	40- 80
競争力回復	64.1	15	3- 30	
利益率向上	64.1	54	5-400	
労働効率向上	60.0	25	5-100	5- 50
少人化	48.7	12	5- 25	
事務量削減	46.2	30	10- 50	
設備効率向上	41.0	16	5- 30	
労働意欲向上	38.7	33	3-100	
その他	7.7			
間接部門効率				20- 60
購入費用削減				5- 10
段取り短縮				75- 95
死在庫削減				50- 95
スクラップ減				20- 30
回答数	39			

2.6.3. J I T導入の効果

J I T導入の効果については、合衆国においていくつか報告がなされている。一般的に、J I Tが導入される大部分の理由は、競争力の回復、利益の増大、品質向上、コスト削減、リードタイム短縮である。表2-6は、クラフォード[14]によるJ I T導入の理由と効果、リミット[214]のJ I Tおよび自動化の効果の報告をまとめたものである。それぞれの効果は、J I T適用から実際にえられた利益を示したものである。各企業は、利益があがった範囲をチェックし、改善のおおよその範囲を示した。

2.6.4. J I Tの評価

J I Tの潜在的利益については、コンピュータシミュレーションによって、多様なモデルが作成されている。この結果、リー[119]は、

A) スケジューリングルールの選択は、システムの実行に対して大きな効果がある。H P F（多回引き取り）の仕事に優先権を与えることは、S P T（最短処理時間優先）と比較して、劣った結果が得られる。

B) 引き重要をもたらすこと（要因を与えること）は、多回処理の有用性を確実にしない。これはなぜ労働流動性と多能工化が、J I Tの本質であるかを示している。

C) かんばんサイズの生産の増加と、最少のかんばんレベルのアウトプットにおいて、わずかな有用性が見られる。職務の遅れからシステムに由来する職務の増加は、かんばんの在庫レベルのアウトプットの増大に加えられる。

D) プロダクションミックスの範囲は、システムの有効性に関して大きな効果はない。普通、多様性は再作法減のプロセスの有用性の原因となり、仕事の遅れを減少させる。

と、結論づけている。

2.6.5. J I T適用の問題点

個々の従業員に関して考えると、欧米では仕事の専門化が進んでおり、仕事内容の変化に対して拒否反応を示すことが多いことが一般に言われている[258

]. 会社全体に関しては、以下にあげる適用の問題と実行上の問題についてのクラフォード[14]が、JIT適用過程にある会社に対する合衆国で調査を行っている。

MRP適用に関する文献によると、適用問題は大きく人の問題と技術の問題の2つに分けられることがわかった。人の問題のほうがより大きく取り扱われるが、これには変化に対する文化的抵抗、トップマネジメントの支援の欠如と組織コミュニケーションの欠如が含まれる。技術の問題には、資源の欠如、効果測定などがある。これに基づいてJIT適用問題を検討している。

回答した会社の半数以上が変化への文化的抵抗あげている。これには、組合の同意の欠如、中間管理者、製造、技術の同意の欠如、変化への一般的な抵抗とプロジェクト成功への疑いが含まれている。ある会社では、変化への抵抗は克服すべき大きなハードルだといい、大きな問題は失敗を受け入れるための学習であるともいっている。資源（特に、訓練と教育）の欠如をあげている会社が3割ある。

トップマネジメントの理解と関与の欠如をあげている会社が約1割あり、マネジメントのJITの必要性への無理解を問題にしている会社もある。

JIT適用中の効果測定をあげている会社も1割ある。古い効果測定方法の再考が一番大きな問題としている会社や、工場のある範囲でJITの適用を個人的な動機の抵抗が妨げたといった会社もある。また、これは実行上の問題にもあがっている。

その他、工場現場でのコミュニケーションの欠如、購買の受け入れ、日常データの訂正、会計データベースの変更、セルのレイアウトの変更、現存するMRPシステムとのインターフェイス、適用中の品質保全、ラインバランスをそれぞれ1社ずつあげている。

レイアウトを変えたり、ラインバランスを達成するというような技術的な問題や会計の問題があまりいわれないことは興味深い。以前の報告では、JIT適用に関する会計の協力の欠如が一般的問題とされていたが、この調査はそうではなかった。

実行上の問題は次にあげる通りである。

約4割の会社がスケジュールと合わせるができないといっている。スケ

ジュールが合わない理由には、欠勤の作業者の補充のための多能工の欠如、関係する工程間の生産の割合が合わないこと、品質問題のための作業停止と生産に対する不安定な需要があげられている。

品質の低さと、供給者の支援の欠如をあげている会社が2割ある。ここであげられた特徴的な問題は、仕入れ材料の低品質、早い材料の受け入れ、遅い材料の受け入れがあげられる。仕入れ材料の低品質と遅い材料の受け入れは作業停止の原因となっている。予測のまずさを2割弱の会社があげている。約1割の会社がそれぞれデータの正確さ、機械の故障をあげている。データの問題では、ストック現状データ、標準時間データ、工場現場の在庫などさまざまな視点で問題を捉えている。

その他、段取り時間削減、会計の問題（コストと報告書）、継続的教育の欠如、中間管理者の援助の欠如、MRPシステムとのインターフェイスがあげられている。

JITへの移行には、段取り時間削減の必要性がとて大きいのに、これを1社しか問題としてあげなかったのは興味深い。おそらく、伝統的に段取りが改善分析の問題として捉えられなかったためであると考えられる。中間管理者の支援の欠如は、生産部門に責任がない職員が、生産部門の繁忙期に臨時の作業員となることを喜ばないことに焦点があるように思われる。この問題は労働強化の中で柔軟性の欠如の問題（例えば、作業員の横断的訓練がないこと）であるかもしれない。

この調査からわかったJIT適用の成功の鍵は、変化に対する文化的抵抗を克服する教育や訓練に対するたいへん大きな資源の関与である。半数以上が問題として変化に対する文化的抵抗と訓練の欠如をあげている。

また、JIT適用に関するコミュニケーションにできる限り多くの職能を巻き込むことが必要である。最もたくさん出た内部相互依存問題は生産計画、製造、会計、マーケティング、購買を巻き込んでいるように見える。このようにJIT適用は、MRP適用に対する場合と同じように全職能の適用チームが必要であることがわかる。

さらに技術の問題の多くがプロセスレイアウトから生産レイアウト、ラインバランスと会計データベースまでの変化の動きを含んでいることが注目される。

もし変化に対する文化的抵抗が克服されれば、JIT適用がスムーズに進行するだろう。

この調査結果は、合衆国のJIT原理の初期の適用者に対して行われたものである。調査の会社のうち約25%が、「問題なし」または、「適用段階に達していない」と答えている。その理由には、適用前の訓練や啓蒙の期間中であったり、適用開始からの時間経過が少なすぎることをあげている。

日本的生産方式の適用には、下請け問題など長期的継続性を必要とするので、日本的生産方式の適用そのものの効果や問題点に関して明確にするにはもう少し時間をかけることも必要であると思われる。

第3章 工程構造からの生産期間短縮

3.1. 工程の構造と分析

工程とは熊谷[98]によれば、資材が製品へ至る過程であって、加工される物の視点から生産システムをみるものである。しかも、生産システムが設計され工程が決定されることは、当刻工程での生産への課題を決める、すなわちそこで達成すべきQCDを決定することになる。しかし、工程は作業のための制約を与え、作業設計の基礎を与えるものである。一般に工程は、単にジョブショップの囲みの中でのみではなく、多段階の階層を形づくっており、一企業の範囲のみでなく、天然材から消費材へ、さらには廃棄に至るまで連続性を持ってとらえられるべきものである。工程においては、ある資材が当該工程に与えられた主題(QCD)を完了することなく、後工程へ送られた場合、後工程でこれを回復しようとすることは困難、不可能である場合が多く損失も大きいものとなるとされる。しかも、すべてに第1章において考察したように、生産期間とは、物を移動速度の視点より生産システムを評価したものであって、これは工程の調査によって測定、評価される。

3.2. 工程構造からの生産期間調査法

生産管理における生産期間は、工程内を移動する加工対象体の移動速度によって規定される。従って、生産期間の調査は、工程構造の分析、すなわち工程分析が基本であると考えられる。しかし、実際の企業において、すべてのアイテムについて、追跡、調査することは、事実上不可能であるため、効率的に測定する技法が提案されている。ここでは、代表的な調査方法および、筆者らが行った調査例の代表的なものを紹介する。

3.2.1. 工程分析・在庫調査による方法

対象とした工程は、自動車の軸受部品を主として加工するラインである。このラインは、大部分の補給部品の生産を受け持っているため、生産品数が多く、受注量の変動も多く、かつ予測困難であって生産計画の作成の困難な生産ライ

ンであると言うことができる。

このラインは、11の工程より成っており約150種の製品を約11000個／日生産している。このため、工程の始めにある300プレスにおいては、約200回／月の段取替を行っており、切削加工ラインにおいても、100回／月の段取替を行っている。

工程分析および、在庫量の調査より、以下のステージに分けて測定した。

I) 納入期間

資材を発注してから納入されるまでの期間で、以下の式で求める。

$$(\text{納入期間}) = (\text{納入日}) - (\text{発注日})$$

II) 資材在庫期間

資材が納入されてから、使用されはじめ、さらに使用を終了するまでの平均期間で、次式により近似する。

$$(\text{在庫期間}) = (\text{使用開始日}) - (\text{納入日}) + 1/2 [(\text{使用終了日}) - (\text{使用開始日})]$$

III) 加工時間

実際に加工されている主加工時間の合計である。ストップウォッチで実測

IV) 段取時間

関連のある工程の段取に費される時間の合計。各回の時間に、かなりのバラツキが見られるため、実測・過去のデータ・インタビュー等により、総合的に算出した。

V) ロット待ち時間

同一ロット内の一部品が加工されるまで、あるいは加工後、他の部品が加工されるのを待つ時間である。この時間の全工程の合計である。

$$(\text{ロット待ち時間}) = 1/n \times (\text{総生産量}) \times (\text{総加工時間})$$

但 n : ロット／日

VI) 検査時間

検査のために費される実際時間の合計である。ストップウォッチにより実測

VII) 工程間仕掛時間

仕掛品の停滞時間の合計である。次式により求める。

$$(\text{工程間仕掛時間}) = (\text{仕掛量の総和}) \times (\text{サイクルタイム})$$

表3-1 生産期間の調査例 (単位：分)

	171-1-1	171-1-3	171-1-4	171-1-5	171-1-6
資材納入期間	29160	40320	46627	45216	29808
資材在庫期間	44568	58536	41299	99158	68400
段取時間	188	188	188	188	188
加工時間	80	80	80	80	80
ロット待時間	435	435	435	435	435
検査時間	0	0	0	0	0
工程間仕掛時間	6336	6336	6336	6336	6336
故障時間	616	616	616	616	616
製品在庫期間	38750	42034	43416	34776	43459
平均需給量	733	513	526	240	159

VII) 製品在庫期間

製品となってストックされ、倉庫に停滞している時間であり、次式により求める。

$$(\text{製品在庫期間}) = (\text{梱包量}) / (\text{受注量})$$

この測定により、以下の結果を得た。

この方法は、単に機械加工型のみでなく、組立生産型、装置生産型にも適用可能である。その場合の、測定方法を表3-2 に示す。

3.2.2. 流動数分析による調査

流動数分析[43][166][286]は、生産システム内への投入量と、産出量および初期在庫量によって、以後の一時的な在庫量の推移を示すものである。流動数分析を用いることにより、生産期間を推定することも可能である。図3-1に、事務用品組立企業におけるモデルを示す。単に生産期間のみでなく、発注方式、生産システム改善時の効果についても推定可能である。しかし、流動数分析においては、簡便でいわゆる基準日程と呼ばれる生産期間の平均と、その変動は測定可能であるが、個々のアイテムについての変動については測定できない。

表3-2 生産のタイプと生産期間の測定法

各生産型 生産区分		組立生産型	機械加工型	装置生産型
資材調達期間	資材発注時間	(納入日 - 発注日)		
	資材在庫時間	(使用開始日 - 納入日) + 1/2 (使用終了日 - 使用開始日)		
製造期間	加工時間	Σ (各工程時間)		$\frac{\text{加工ライン長}}{\text{加工ライン速度}}$
	検査時間	Σ (検査時間)		
	移動時間	運搬時間 + 2 (総運搬量 / 日 × 1 / ロット × つみおろし時間)		
期間	段取時間	製造期間 工数 × ロット - 投入人員	Σ (段取時間)	
	ロット待時間		$\frac{\text{総生産量} \times \text{加工時間}}{\text{ロット数}}$	$\frac{\text{完成品量}}{\text{加工ライン速度}}$
	工程間仕掛		Σ (工程間仕掛量 × サイクルタイム)	
	保管時間		資材在庫期間と同じ	
製品納入期間	製品在庫時間	1. (出庫開始日 - 入庫日) + 1/2 (出庫完3日 - 出庫開始日) 2. ある月の出荷量 × ある月までの経過期間の和 $\frac{\text{ある月までの経過期間の計}}{\text{ある月までの経過期間の計}}$		
	輸送時間	(納入日 - 出庫日)		

3.2.3 物品の追跡調査

実際の物品に、生産期間調査表をつけて流し、各工程において順次記録して行く方式[272]である。この方法は精度は十分であるが、きわめて多くの労力が必要で長期に渡る。また、途中紛失等が起こりやすい。しかし、個々の部品の生産期間のバラツキを調査するには、他に効率的な方法がない。

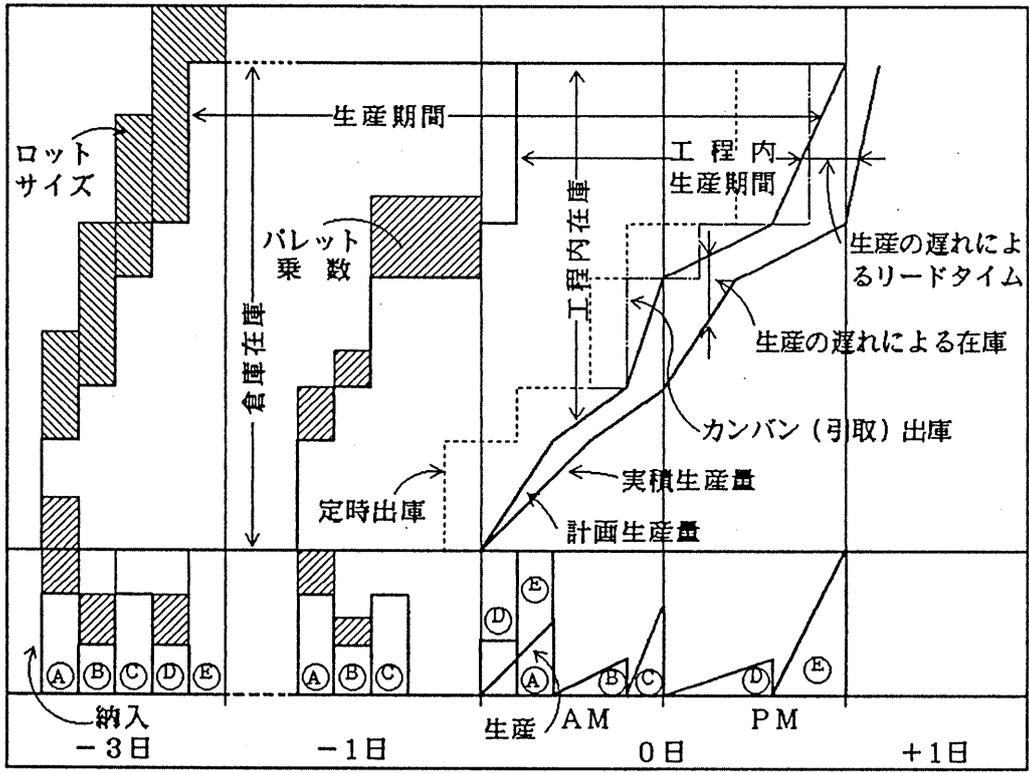


図 3-1 流動数分析による生産期間の推定

3.2.4. 事務帳票による調査

納入伝票、入庫表、出庫表、作業日報等により調査を行い推定する。いくつかの実際の調査の結果、実際の生産現場では、部品の対象製品外への流用や、復帰、不良品の返品、廃棄等により製品段階まで追跡可能であったのは50~60%程度であった。個々の物品についての平均およびバラツキが測定できる。

3.2.5. 散布図法

一つの設備、あるいはラインに着して、実際の指示から出荷まで

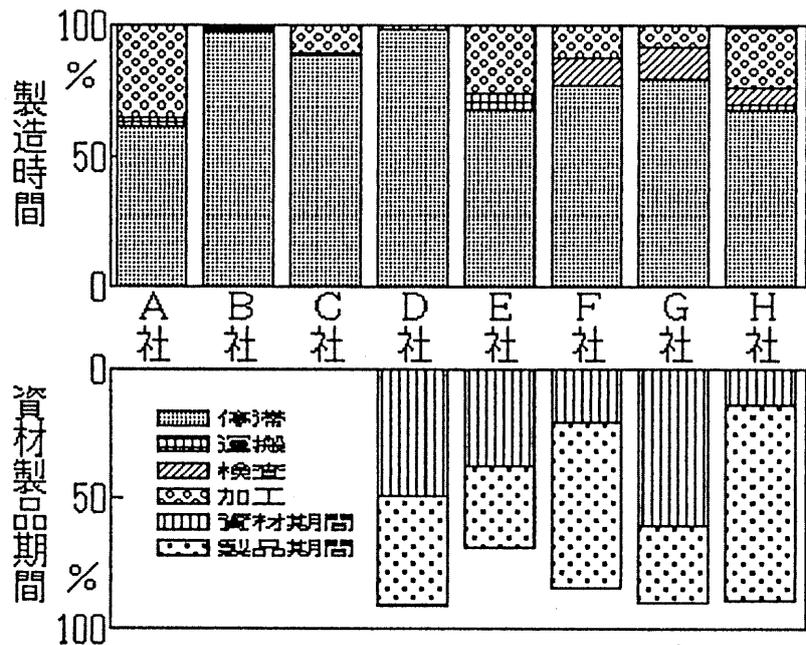


図 3-2 生産期間の測定例

の時間を得、回帰分析によって基準日程を推定する[286]。容易ではあるが生産期間の構成内容までは調査できない。

以上の5方法が、代表的測定法である。

その他に、経営財務資料を用いて、長期的かつマクロ的に推定する方法が考えられる。これについては、第1章において、詳細に考察した。

3.3. 生産期間の調査例

生産期間の実際状態について調査報告された例は、過去に数例が見られるのみである。すでに考察した様に、生産管理における第一義的目標として原価低減がおかれ、生産期間課題が第二義的に取り扱われた結果であると考えられる。ここでは、新郷[242]、田杉[272]、U.ロース[238]、および名古屋工業大学熊谷研究室および、熊澤が関係したいくつかの研究グループによって調査された例について図3-2に示す。渡辺[293]は一般的に停滞は、60~80%でいるとしている。同様に、熊澤らの調査によるある製品生産期間の分布状態について、図3-3に示す。

この結果、

(1) 生産期間の80~90%が、資材および製品在庫期間となっている。これは、需要変動に対する生産システムの硬直性(製品在庫)および生産システム間の連結度の低さ(資材在庫)を示している。特に製品在庫期間の長さは、大ロットによって工程内の進行は早いものの、需要と対応していないことを示している。

(2) 製造期間に占める加工時間の比率は圧倒的に小さく、この傾向は年代を問わない。

(3) 停滞時間の内容は多種多様であり、生産システム固有の条件に影響されている。

しかも、製造期間の約8割以

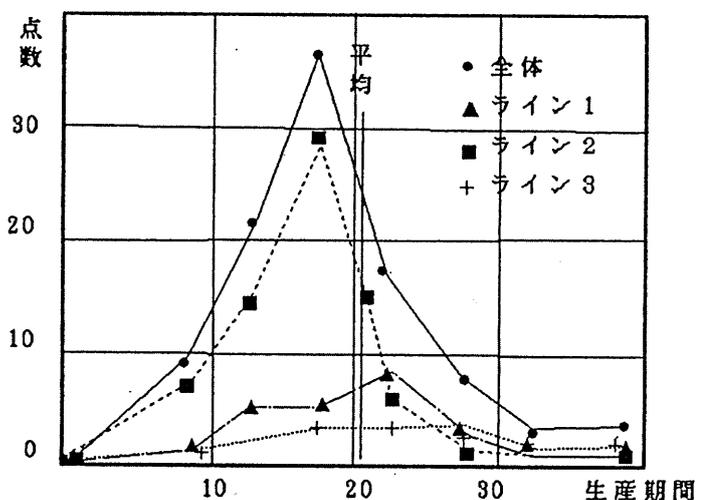


図 3-3 生産期間の平均と分布

上を占めている。

の各3点が指摘される。

3.4. 生産期間の評価方法

生産期間が工程構造を持っており、かつ現状では停滞が大部分を占めていることを前節までにおいて考察した。生産システムに改善において必要であるのは重要点の抽出にある。この場合、指標とされるのは、時間および、金額の二面であると考えられる。

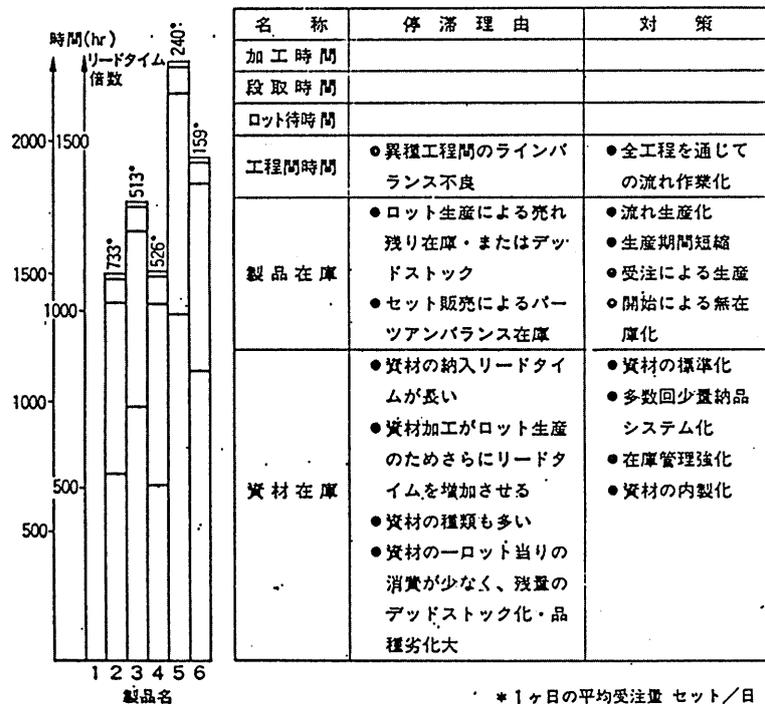


図3-4 生産期間倍数の例と改善方策

3.4.1. 生産期間倍数による評価

生産期間の中で、真に必要なものは加工時間のみであるといつて過言ではない。他の構成時間は、総加工時間との比によって評価される必要がある。従って、本論文においては、生産期間の評価尺度として、以下によって示される生産期間倍数の考え方を提案する。

$$\text{生産期間倍数} = \frac{\text{分類当り総所要時間}}{\text{総加工時間}}$$

3.4.2. 生産期間の流れ変動図表 (F-D チャート)

生産期間の調査例において紹介したごとく、生産期間は、きわめて変動が大きいものと考えられる。停滞量の絶対基準による評価が、生産期間倍数であると考えられるのに対し生産システムの生産期間側面での品質に相当するものが、生産期間の変動量であると考えられる。そこで、それぞれの位置生産期間量を、停滞数量、停滞時間、停滞金額をX軸方向、変動係数をY軸方向にとり、評価を試みたのが流れ変動図表 (F-D チャート) である。この例を、図3-5に示す。

それぞれの平均によって、エリアを分けるならば

I : 問題がない

II : 生産能力 (加工および段取替等) の不足

III : 生産計画および統制能力の不足

IV : 生産能力、生産計画および統制能力の不足

を示しているものと考えられる。

生産期間倍数の考え方を
用いれば、図3-5に示すごとく、容易に問題点および、対策を考えることが可能となる。

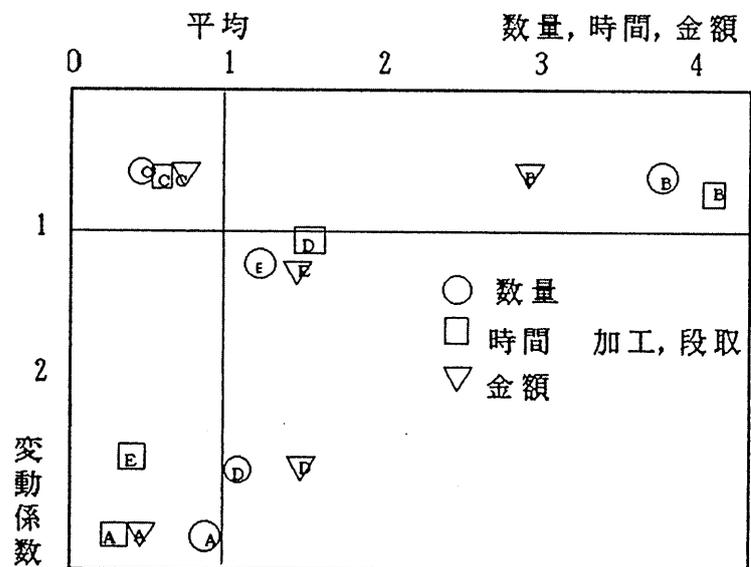


図 3-5 流れ変動図 (F D チャート)

3.5. 工程の連結度

3.5.1. 工程の連結のレベル

熊谷 [98] によれば、工程はその連結度によって、5段階に分けられる。

生産期間の工程構造による改善は、第一義的に工程連結度の向上によってなされる必要がある。

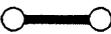
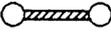
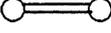
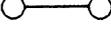
レベル	名 称	記 号	特 性	生産期間倍数
1	直結レベル Solid Level		direct flow one by one	0
2	コンベアレベル Conveyor Level		continuous flow of several products	2
3	かんばんレベル "Kanban" Level		smoothing flow less lot	20
4	ロットレベル Lot Level		usual flow on traditional production control	100
5	倉庫レベル Storage Level		indirect flow through storage	1000

図3-6 工程連絡のレベル（熊谷[98]による）

3.5.2. 直結レベル

直結レベルとは、ある工程で同一加工対象体に連続的に加工が行われる状態をさす。機械加工においては、同軸ボール盤、マシニングセンタ等組立ではロボット等の利用によるアセンブリーセンターが相当する。

生産期間側面からは最高度のシステムであって生産期間倍数は0となる。しかしながら、一般的にはこのような加工を行う設備は高額、精密であって、現在まだ機械加工の一部で実現しているにすぎない。また、組立においては一人の作業者が一つの対象について連続的に作業を進めることがこれに相当する。しかしながら、一人の作業者の持ち作業量が増大することは、作業の困難性を増大させ、熟練の必要が生ずる。このため、コンベアあるいは適当な搬送設備を用いることによって工程を分け、習熟の容易化を計ることが行われる。

3.5.3. コンベアレベル

組立作業では、作業習熟の容易化を目的として、作業員一人当りの持ち作業量を減少させ、全体の実必要工数を低減させるために分業システムが用いられ

る。フォードは、自動車生産において作業者の分断によって発生する歩行時間を防止するため作業線にそって移動させる生産システムを考案した。このための動力として用いられるのがコンベアであって、一般にコンベアシステムと呼ばれている。フォードのコンベアシステムでは同期化が行われ、作業者間のバッファ量は厳密に守れたが、その後他産業への普及の過程において、単に歩行時間防止のためコンベアで物品を搬送させたり、作業者間の時間変動吸収のため余剰の仕掛品をコンベア上に置いたため、同期化、すなわちコンベア上の物品量の安定化、順序の保持は廃却されてしまった。

また、機械加工、設備型の生産においても一つの設備ですべての工程を終了するのは困難であるので、一つの工程を達成容易な、いくつかの工程に分けて、この間を何らかの搬送設備によって結ぶ方式が行われる。DNC等が相当する。この場合も同様に、工程間の仕掛量の安定化が必要であって、トヨタ生産システムではフルワークシステムが用いられている。

近年では、生産期間の短縮を目的として工程間を作業者のわずかな歩行によって、連続的に組立、加工を行う多工程持ちシステムが広く用いられるようになった。この場合生産期間を規定する要因は標準手持ち量となる。多工程持ちシステムについては、後節において考察する。

3.5.4. かんばんレベル

生産能力の異なる工程間を、かんばんを用いることによって、工程間停滞量を規制し、生産期間短縮をめざすものである。かんばん方式については、2.3.5.で詳細に考察した。

生産期間はかんばん枚数で決定される。この設定方式については、前章で考察した。

3.5.5. ロットレベル

工程間をロットと呼ばれる任意の単位によって輸送、搬送する。一般に生産順序は各工程にまかされ、生産期間は不定となり極めて長いものとなる。

しかしながら、現在多くの企業において管理方式の不備、設備故障の発生等の工程トラブル、段取替時間の負担が無視し得ないため多く利用される。

3.5.6. 倉庫レベル

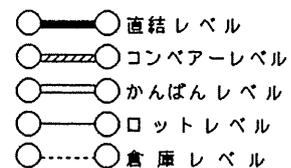
極めて長い段取替時間、生産計画の不備等によって保管のための処置を行って、倉庫が用いられる。生産期間はきわめて長くなり不明となる。

3.5.7. 工程連結レベルの向上による生産期間短縮事例

熊澤らが自動車のフロアカーペット工程において、工程連結レベルを向上

改善レベル 工程	現 状	改善レベル 1 A 案		改善レベル 2 B 案		改善レベル 3 C 案	
		1	2	1	2	1	2
(カーペット原反)	1	1	1	1	1	1	1
原反引取り (パッキング)	2	2	2	2	2	2	2
(定尺裁断)	3	3	3	3	3	3	3
(プレス成型)	4	4	4	4	4	4	4
(トリミング)	5	5	5	5	5	5	5
(外製加工)	6	6	6	6	6	6	6
出荷 (N社)	7	7	7	7	7	7	7
納入サイクルによる在庫	1回/日	リードタイム 5日分(40H)	リードタイム 2日分(16H)	リードタイム 1日分(8H)	リードタイム 0.5日分(4H)		
	2回/日	—	12H	4H	2H		
	4回/日	—	10H	2H	1H		

図 3-7 工程連結度のレベルアップによる生産期間短縮



させることによる生産期間短縮を計った事例について紹介する。

生産工程は、①原反メーカーよりカーペットを倉庫へ保管する、②バックキング（ゴムの裏打ち）、③定尺に裁断後パレットに乗せられ一旦保管される、④フォークリフトで別工場へ運ばれ加熱プレス成形する、⑤成形後トリミングを行う、⑥外注、内製に分けてフェルト穴ヌキ加工を行う、⑦一日倉庫へ保管して出荷する、の工程をたどる。ロットで生産する理由は、各工程が管理単位として分けられ、しかしその管理単位が一日であるため受注からの見かけのリードタイムが長く、見込生産となることと、品種を決定する最大の要員はカーペットのガラ、色等であり、直接加工方法に影響を与えないにもかかわらず、同ガラ、同色どうしをまとめて生産する管理方式にあった。

このため、改善の手順として、加工の一貫化から始め③④⑤間のかんばんの利用を第一とし、全体へのかんばん方式の展開を計り、最終的には、バックキング以後の一貫化を提案した。

3.5.8. フルワークシステム

工程間が搬送設備によって連結されているコンベアレベルの設備において、前工程の過剰生産を防止するため、トヨタ生産方式の中で開発された方式がフルワークシステムである。搬送設備で連結された工程間での停滞量の変動する主な理由は、

- 1)生産能力が需要量より大きく、間欠生産の必要がある場合
 - 2)前工程の生産能力が後工程より大きく、前工程を間欠的に稼働させる必要がある場合
 - 3)工程ごとに異なった時期に資材の補給が発生する場合
 - 4)設備に小停止が無視し得ない程度で発生する場合
- の4点が考えられる。

フルワークシステムでは、後工程の稼働状況を工程間の仕掛量で判断し、前工程の稼働の可否を決定する方式である。

後工程は、前工程間で生産された仕掛を用いて加工を行う。工程間仕掛量が上限になった場合には、前工程は停止する。後工程の加工が進むにつれて、工程間仕掛量が下限となると再び前工程は加工を開始する。この連鎖が全工程に

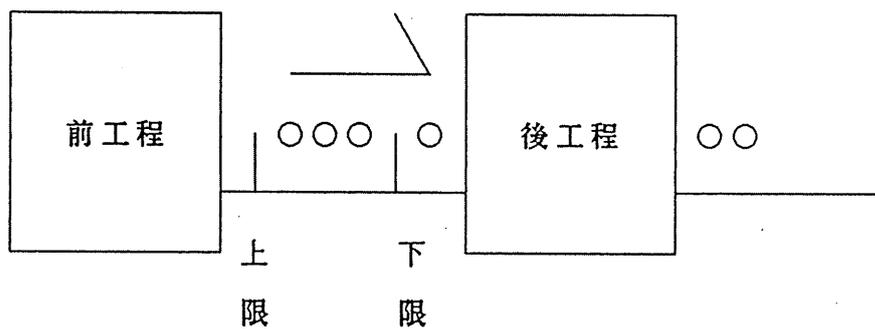


図3-8 フルワークシステムの例

わたって行われる。

下限Lおよび上限Uは

$$L = \left\lceil \frac{\text{Max} \{ (S_t + C_t), \text{Max} (T_s) \}}{C_t} \right\rceil$$

$$U = L + \left\lceil \frac{S_c}{C_s} \right\rceil$$

S_t : 起動時間 C_t : サイクル時間

T_s : 無視できない小停止時間

S_c : 前工程の起動費用

C_s : 1個当りの在庫費用

で与えられる。(ただし「X」は、Xより大きい整数を示す)

3.6. 多工程持ちシステムの構造と効果

3.6.1. 多工程持ちシステムの目的

今日の、製品の多様化と製品需要の短期化は需要予測を困難にしている。このため、製品生産側においては、原価低減と同時に、いかにタイミングよく、必要品を停滞の存在なしに生産可能であるかという生産期間短縮が重要な課題となっている。いくつかの品種をロット切替え生産する工程においては、原価低減と、管理の容易化、生産期間短縮はおたがいに相反する関係にある。

多工程持ちシステム[197]は、この作業効率向上、管理の容易化、生産期間短縮の課題を調和的に解決する生産方法として、自動車産業において開発されたものである。近年、そのみならず多くの産業において利用が水平展開され、それぞれの業種においてより広い適用が図られている。このシステムは従来の組立におけるライン生産方式、機械加工における多台持ちジョブショップ生産方式といった範疇で利用されるのみでなく、組立、機械加工あるいは鍍金、塗装といった多様な加工形式を同一ライン内に組込みながら、生産の流れ化、工程の一貫化による短生産期間を、原価低減、品質の維持と同時にめざしたものであると考えることができる。そのため、ライン設計においても、従来の方法をそのまま取り入れるのでは、この多工程持ちシステムの特徴を十分に生かすことは困難であると考えられる。

本節では、この多工程持ちシステムの構造と特徴を明かとする事を目的としている。

3.6.2. 多工程持ちシステム開発の経緯と用途

多工程持ちシステムは、大野氏ら[197]によって開発されたトヨタ生産方式の重要な構成部分である標準作業に始まる。大野氏は、作業者とともに古い機械を用い、多品種少量で、高い作業能率を実現するための方法として考案した[198]。標準作業は機械時間（マシンタイム）と人作業時間（マンタイム）を明確に分離し、一人の作業者が複数の設備を循環的に移動しながら作業を行うことによって、作業効率を向上させ、同時に工程内の物流量を制限（標準手持）することによって生産期間の短縮を図ったものである。

すでに、機械時間と、手作業時間を分離することによる作業効率の向上は、バーンズ[7]により提案されているが、作業効率の向上以上の意味を持つ展開はされなかった。

多工程持ちシステムは、この標準作業をさらに発展させ、設備が加工工程順に配置されるか、概念的にとらえることができ、仕掛品が一定の計画に従い順序を乱すことなく工程内を移動する生産システムであると考えることができる。これによって、仕掛品は工程内を遅滞なく一定時間で通過することが可能となり、最小の生産期間が実現される。

さらに多工程持ちシステムは、今日では機械加工工程のみならず組立作業あるいは、組立機械加工の混合型においても積極的に利用が図られている。

この多工程持ちシステムは主として、以下の2つの用途に用いられる。

- 1) 少人化・・・生産ラインをある製品群に対して専用化し、ラインへの投入人員を生産必要量に応じて変化させることにより、需要の変化に対応する。主として設備に依存する比重が高いか、習熟の進んだ組立作業において用いる。
- 2) 混流生産・・・生産ラインが汎用的に作られ、多品種が同一ラインに投入される場合。一ロットの生産継続時間が短く、生産開始初期におけるラインバランスロスの発生が予想される場合、これを最小化するためあるいは、工程内で不定期的に発生する小停止、定期的に発生する小部品補給時間、習熟進行の個人差によるラインバランスロスを防ぐのが主目的となる。

実際の利用においては、この両者は区別されることなく、双方の目的を同時に達成するために用いられる。

3.6.3. 多工程持ちシステムの定義

多工程持ちシステムは、組立、機械加工等多様な工程を結びつけた生産ラインであり、設備、作業員、管理が一体となった合成生産システムである。このシステムは、今日の工業生産において見られる、代表的な作業-工程システムに良く適応したものである。

現在の作業-工程システムの特徴をあげるならば、

- 1) 作業ワークステーションは、通常1人が1台の設備を担当することを前提としたシステムとして設計されており、複数のワークステーションを同時にある作業員が受け持つためには歩行動作が必要となる。
- 2) 設備面から見ると、自動化は急速に進展しているものの、大部分は第2次機械化レベル[86]にあり、一般的には各ワークステーションで手作業時間と機械時間の双方が発生するケースが多い。また、生産必要量に比して機械能力はかなり大きく、同時に機械時間に比して手作業時間はかなり小さい。
- 3) 組立作業においては、各要素作業あるいはワークステーションにおける作業時間は全作業時間に対してかなり小さい値となる。

の、3点があげられる。

このような状況において、生産に必要なサイクルタイム（生産時間間隔＝稼働時間／生産必要量）の概念を中心に、多様な工程をライン内に取り込み、加工工程順に作業ステーションを配置し、手作業時間の和がサイクルタイム内になるように、一人あるいは複数の作業者に作業域を分割して、循環的に作業を行う事によって、可能な限りの調和した短生産期間、低コスト、高品質を実現しようとする生産システムが、多工程持ちシステムであると考えられる事ができる。多工程持ちシステムの例について図3-9, 10に示す。

この実現と効率的運営のためには、
 ①加工工程順に設備が配置される、②自動化により各設備ごとに必要とされる手作業時間が短縮される、③標準作業の採用と歩行を伴う作業化がなされる、の3条件が必要であると考えられる。①においては、いつかの部品加工工程をも含むことにより、同期化のレベル向上をめざすことができる。②多工程持ちシステムは、手作業時間の短縮が省人化そのもにつながるため、自動化による手作業時間短縮が作業効率化の最大の手段となる。③標準作業採用によって、必要生産量に応じた人員投入（少人化）が可能になる。立ち作業は、作業時間に占める、座る、立つ

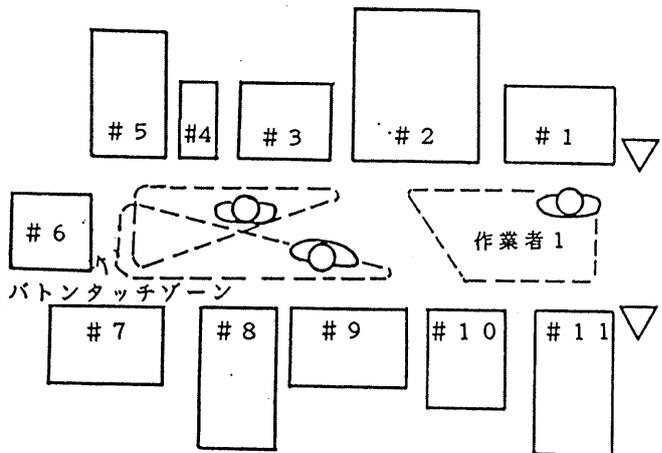
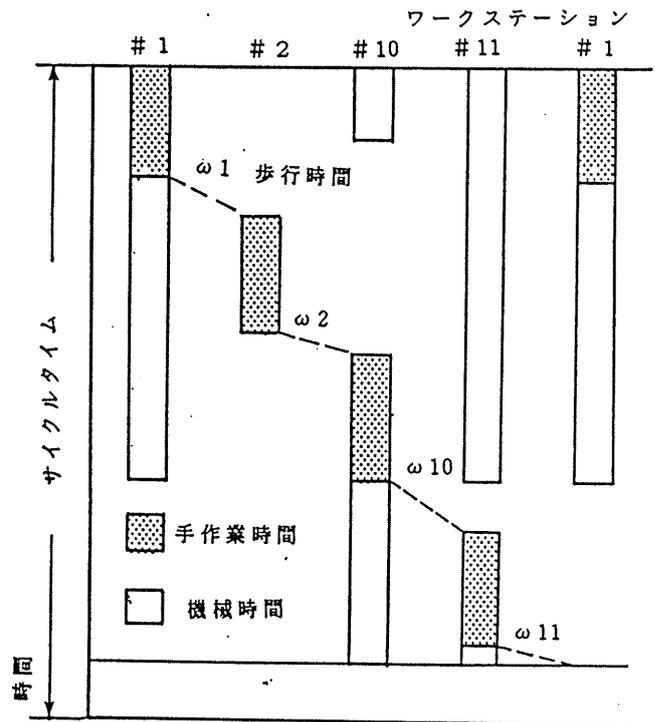


図3-9 多工程持ちシステムの構造

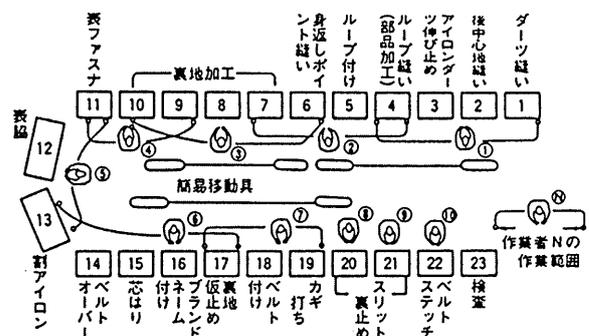


図3-10 多工程持ちシステムの実例

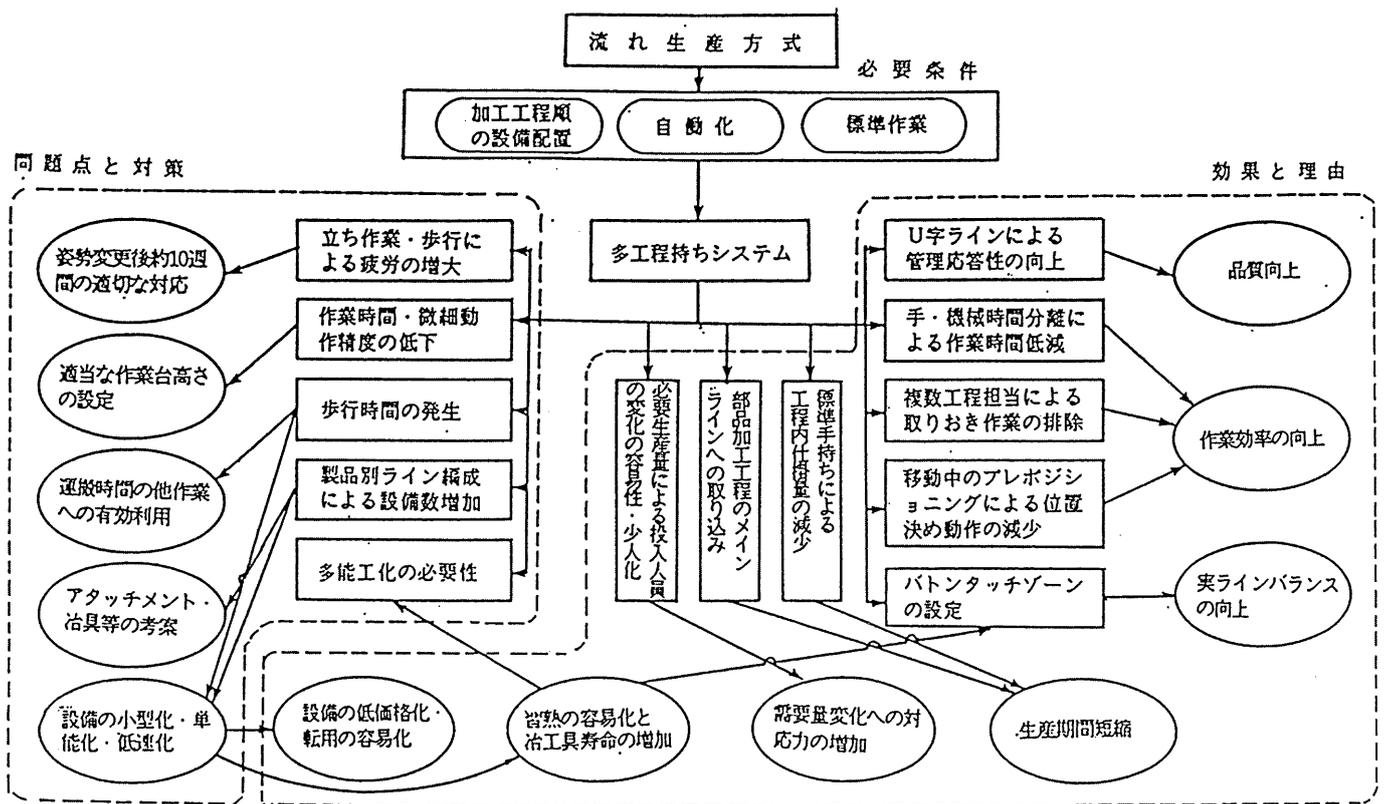


図3-11 多工程持ちシステムの効果と問題点

に必要とされる時間と、製品精度との関係から決められるものであるが、一般的には、自動化の進展と共に立ち作業が進められなければならない。多工程持ちシステムの構造と効果、問題点について図3-11に示す。

3.6.4. 多工程持ちシステムの設計法

1) 工程設計

多工程持ちシステムでは、生産期間の短縮、工程の連結化を目指すために、可能な限り工程の進行にそった工程編成が必要とされる。従って、機械加工、鍍金、熱処理等の設備型処理、組み立てといった加工のタイプの枠を可能な限り取り払い、同一のライン上に配置される必要がある。設備はラインの予定能力に合致し、全体の能力バランスを保って設計される必要がある。このため設備は、できる限り安価で小型化されると同時に、他への転用性を考え、汎用的な設備を取付具等により専用化し用いる必要がある。また、設備設計においては、可能な限り手作業時間、機械時間が分離される必要がある。この場合、機械時間が増大しても、手作業時間が短縮されるように設計されるべきである。

2) 作業設計

作業設計は標準作業[197]の考え方に基づいて設計される必要がある。標準作業は、図3-9に示されるごとく、作業者はステーション#1で手作業 t_1 を行い、#2へ歩行時間 ω_1 で移動し、以下同様に、 t_2 、 ω_2 ... t_{11} 、 ω_{11} を経て、#1へ戻る。その間、各ステーションの機械時間 m_1 、 m_2 、 m_{10} 、 m_{11} は作業者が戻るまでに終了している。サイクルタイム T は、一日の稼働時間を、必要生産数で除した値で、作業者の持ち作業量は、 $\Sigma (t_i + \omega_i) < T$ で決定される。作業順序は、この関連の中から最も作業者の効率が良いように決定されるべきであって、必ずしも工程順である必要はない。作業効率の向上のために、同一ラインに複数作業者が投入される場合には、作業者間にバトンタッチゾーン[197]、すなわち前後の作業者いずれもが担当可能な重複作業域を与えることよりラインバランスの向上がはかられる。

3) 管理設計

多工程持ちシステムでは、コンベア等による強制進行性がないため、作業進度は作業者に委ねられる。従って、電光生産管理盤等によるリアルタイムの生産進度管理が必要となる。また、工程内の進捗のアンバランス解消、停滞量の安定化、品質の管理を行うためU字型のライン編成を行い、資材投入、最終検査を第一線監督者が兼ねることが望ましい。

3.6.5. 多工程持ちシステムによる効果

多工程持ちシステムによる効果は、大きく
 1) 需要量変動への対応力の向上、および工程連結度の向上によってもたらされる、
 2) 生産期間の短縮、
 3) 作業効率の向上、
 4) 実ラインバランスの向上、
 5) 品

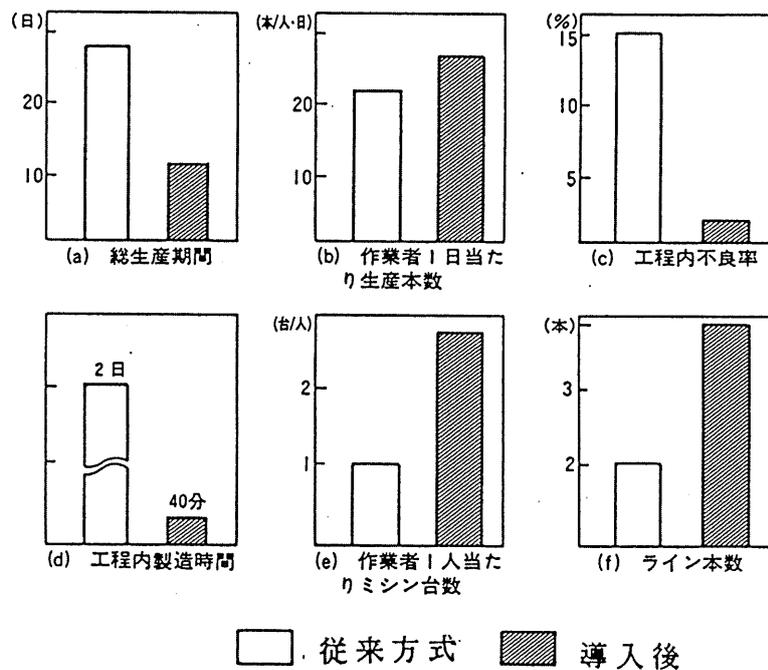


図3-12 多工程持ちシステム導入の効果例

質の向上の5点があげられる。

1) 需要量変動への対応力の向上

少人化を目的とした場合には、生産必要量の変化に対して工程投入人員を連続的に変化させることにより、簡単に対応することができる。また、設備もより汎用的な設備を利用することになるため、他への転用も容易となる。

2) 生産期間の短縮

工程間の流動性から見て、工程間の連結度のレベルは①直結レベル、②コンベアレベル、③かんばんレベル、④ロットレベル、⑤倉庫レベルに分けられる[98]。直結レベルは、前工程からの取り外し手段がそのまま、運び、取付け手段となっている。このため、工程間の移動は最高速度で行われることになる。一般に、製品は1ロットの完成ではなく、ある受注先からの注文の総てを満たして始めて出荷可能となる。従来は、需要見込により生産計画をたてロットで生産し、在庫により対処した。このため、目に見えない品ざれ損失、および値引き販売によるブランドイメージ低下や売れ残り損失を発生させる。これを、多工程持ちシステムにおける少人化および、混流化を機動的に運用することにより生産期間を短縮し、上記のロスを大幅に減少させることができる。

3) 作業効率の向上

加工位置決定のために必要とされる目と手の連合動作は、全作業の中でかなりの割合を占めている。連続的動作によりこれが省かれたり、あるいは歩行中に行うことにより大巾に減少されることができる。また、パレット等から加工の度に仕掛品を取り出したり、再び入れるといった取置動作は、一連の作業として実行されるため、本質的に不必要になる。また、標準作業採用による立ち作業化にともなって、広い作業域の設定が可能となり、特に組立作業では多くの部品を配置することが可能となって、多品種化への対応が容易となる。

4) 実ラインバランスの向上

作業においては一定時間毎に部品補給や、設備の小トラブル、わずかな作業ミス等により小停止が頻発する。それぞれ一回当りの停止時間は僅かなものであるが、著しく実ラインバランスを阻害するか、工程間仕掛を発生させ多工程持ちシステムの利益を失わせる。また、混流化ラインにおいては一ロット当りの生産量が少なく生産開始初期に見られる個人内の作業時間変動、習熟のアン

バランス、作業員間の能力差異によるラインアンバランスが発生する。これを防ぐために多工程持ちシステムにおいてはバトンタッチゾーン（重複作業域）の設定が可能であり、前後の作業員間の実作業時間変動を吸収させることにより実ラインバランスの向上が図られる。これは、通常作業員間にバッファ（仕掛品）を置くことにより改善されるが、工程内時間、仕掛量とも増大する。また、単に前後の作業員により作業可能であるというのみでなく、次作業員のために、仕掛品を加工しやすいよう次設備に定置するという意味をも含んでいる。経験的には、習熟が進んでいる場合には、1作業ステーション程度、通常の習熟状態ではサイクルタイムの10%程度、習熟が見込めない場合には与えてはならないとされる。

5) 品質・管理応答性の向上

多工程持ちシステムは、作業員が同一加工対象品を次々と異なる設備により加工する。この間、作業員自身による工程内検査が可能であり、また、ラインの最終作業員が検査員を兼ねることにより、不良発生時に即時対策を講じることが可能になる。また、U字型ライン編成を行った場合には、ラインの投入および最終検査を兼ねる第一線監督者によって、ライン内不良、仕掛量の変動に対して即座に対応が可能となる。

6) 習熟の容易化・治工具寿命の増加

多工程持ちシステムでは、サイクルタイム内に加工が終了すれば良いのであるから、必ずしも高速の設備ではなく、サイクルタイムに対応した、従来の設備に比較し、小型で低速な設備が利用される。一般に低速の設備の方が構造が簡明で、作業員にとって取扱いが容易であり、習熟も早く進むものと考えられる。また、切削工具寿命は加工速度の低下にともない急速に寿命が増大することや、各種金型も加工速度が低下すれば放熱時間が長くとれること等、治工具寿命の増加が期待できる。

3.6.6. 多工程持ちシステムに伴って発生する問題点と対策

多工程持ちシステムにより作業効率を阻害する要因として、歩行時間の発生が上げられる。また同時に、多工程持ちシステムの採用により、類似製品ごとのライン設計が行われることによる設備台数の増加、新規設備投資の必要が考

えられる。

1) 歩行時間発生対策

多工程持ちシステムでは工程間を人手による運搬が原則となる。このため、作業時間中に占める歩行時間の比率も無視できないものとなる。A社における作業構成比について調査した結果、主加工49.9%、取付け・取り外し36.0%、運搬・歩行9.6%、検査その他5%であった。

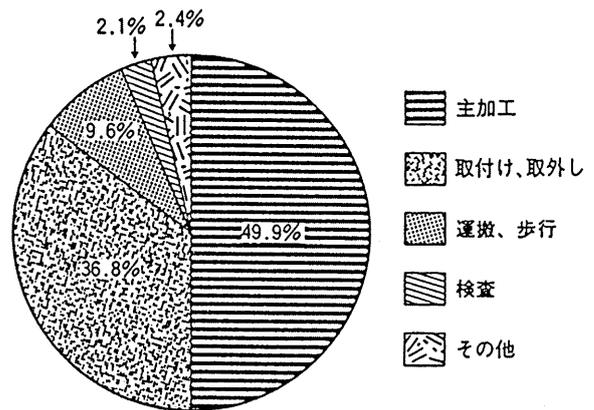


図3-13 多工程持ちシステムの作業者の作業内容

通常ライン作業は作業における歩行時間負担の低減と習熟効果を狙い、ベルトコンベア等の採用により成立したものであり、またロット生産も同様の理由から採用とみられる。多く利益があるため敢えて歩行時間を発生させても、多工程持ちシステムを採用したと考えられるが、この対策としては、以下の3点が指摘できる。

- ① 運搬具の利用・適切な運搬具の採用によって、作業員間の移動動作および、取置動作の軽減を図ることができる。しかし、この場合も多工程持ちシステムの特性を生かすためには、安価で、簡便でなくてはならない。
- ② 運搬時間の有効利用・運搬時間中に検査あるいは、次作業のためにプレポジションを行う。しかし、これは消極的な解決策であるといえる。
- ③ 設備の小型化および複合化・作業員の移動方向に対する設備の長さを短くすることにより、基本的に移動距離を短縮することが可能となる。設備の小型化は、必要床面積の減少のためにも望ましい。通常、大型設備であるショットブラスト、あるいはシュルマシンの小型化や、塗装、鍍金においても設備の小型化が進められている。現在設備の多くは1人1台持ち用に設計されているため長手方向が作業員と対向するケースが多いが、これは改められる必要がある。設備の複合化は、移動距離を0とする点では極めて望ましいが、後述する設備の汎用性を失わない範囲で実行する必要がある。

2) 設備台数の増加対策

多工程持ちシステムにおいては、類似製品ごとのライン編成がおこなわれるため、ライン数が増加する。これを、従来と同じ設備で不足分を補ったのでは、

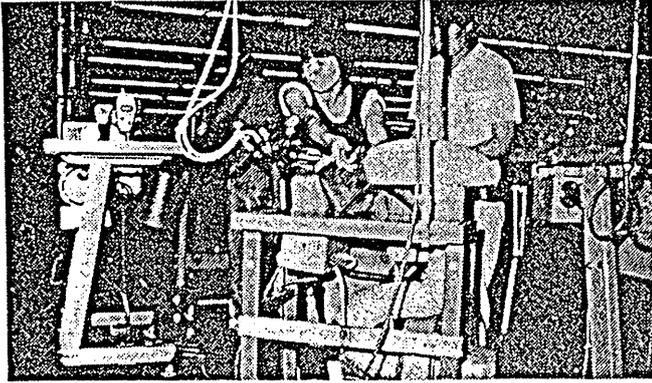


写真3-1 多工程持ちシステムで行われる作業のボタンタッチ

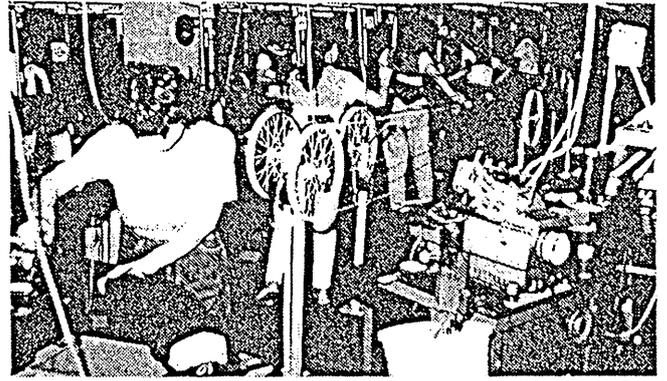


写真3-2 簡易移動具の利用

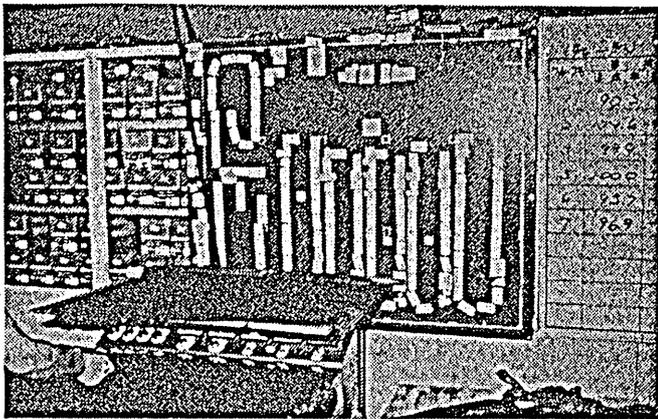


写真3-3 機械レイアウト図

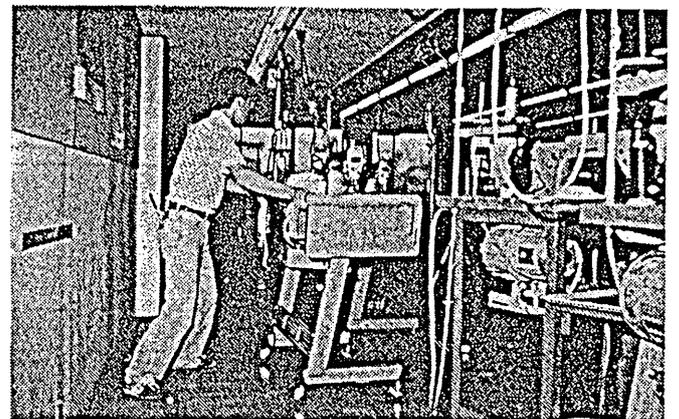


写真3-4 設備の段取替

設備投資額の増加により多工程持ちシステムの効果は、相殺されてしまう。設備の単能化、低速度化を進めることにより、ある程度これを防ぐことができる。多工程持ちシステムにおいては、機械時間は、作業者の次仕掛品の加工開始までに終了すればよい。そのため必ずしも従来の設備に比して高速である必要はない。また、同時に低速の設備であれば、適当な治具あるいは、アタッチメントを用いることにより、単能機を多様に利用することが可能となる。例えば、ミシンの場合、回転数を1/10程度にする事によって設備費用は1/3程度へ減少できる。

3) 多能工化

一人の作業者が、複数の設備を担当するため、各設備の操作が可能であるよう訓練される必要がある。しかし、その設備に対する専門的知識すべてが必要ではなく、操作および始業・切替時等の能力のみでよく習熟は容易であり、○

J T等で可能である。また、設備の単能化・低速化は、必要な技術水準を押しさげる方向に働き、作業者の多能工化を容易にすると考えられる。

4) 段取替時間の短縮

多工程持ちシステム採用により、工程内時間は短縮されるが、同時に段取替時間は短縮されなくてはならない。設備の小型化によって設備そのものを入れ替えることも有力な手法となる。例えばA社では、工程図を用い、製品が変更されるごとに、板上のピースは交換され、同時にライン内の仕掛品の動きにつれ設備が取り替えられる。この取り替えに際しては、前段取りにより設備があらかじめ用意され、段取り専門者と作業者の協力により素早く行われる。また、変更されない設備においても前製品の終了と同時に順次段取替が行われる。これによって、従来の30%程度へ大きく減少している。組立型のラインでは、作業域の増加によって多種の部品配置が可能となり、切り替え対応力が向上する。

5) 立ち作業化による作業能率と自覚疲労

一般に、組立作業では部品の小型化、作業必要精度の高度化に伴い、椅子座位による座り作業が採用されるのが通例であった。しかし、多工程持ちシステムで採用される標準作業では歩行を伴う立ち作業化が必要となる。この場合問題となるのが、作業精度を含めた作業効率問題と、従来座り作業であった作業者が立ち作業へ変更された場合の作業疲労の問題である。作業効率は、筆者らの調査によれば[112]、座り作業、立ち作業、歩行を伴う立ち作業を、ピンボード作業をはじめとするいくつかの形状を実験対象として、作業台と部品台との距離、高さ、方向等について実験的に検討した。この結果、立ち作業は座り作業に比較して、大きな作業能率の低下は見られず、逆に、適当な部品台の高さであれば座り作業よりも作業能率が高い場合があることが解った。

同様に、作業疲労においても、筆者らの女子作業者が座り作業から立ち作業へ変更される場合の自覚疲労の経時的調査[111]によれば、作業姿勢変更直後はかなり高い自覚疲労の訴えが見られるものの、急減し、10週間程度で低下安定することが確かめられている。

3.6.7. 多工程持ちシステムによる生産期間短縮の事例

名古屋工業大学熊谷研究室において、熊澤らがフィールドワークにおいて、

生産期間構造の面から、生産期間短縮を試みた事例のうち、1)多工程持ちシステムによる工程の一貫化の事例について図3-14に示す。従来、多工程間をロットにより移動しながら生産していたが、多工程持ちシステムの考え方にに基づき、1個生産ラインを設計し、実現した。この結果、各停滞時間は大巾に改善された。

時間 \ 作業方法	ロット生産	1個生産
加工時間	80	11.8分
検査時間	0.0	0.2
移動時間	2.5	1.6
段取時間	188	10
ロット待時間	435	109.5
工程間仕掛時間	6336	59
合計	7041	192
設備費	16930万	2630万
型・治具費	284万	87万
合計	17214万	2717万
日産量	11000コ	480コ

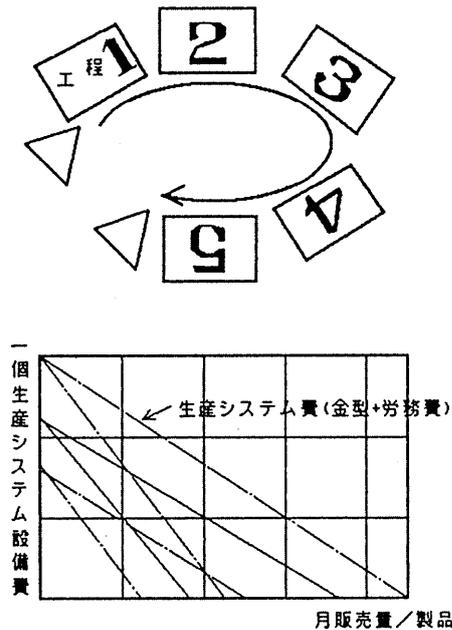


図 3-14 各工程持ち作業システムによる生産期間短縮

3.7. 多工程持ちシステムシミュレータの開発

3.7.1. 多工程持ちシステムシミュレータの目的

ライン組立作業において作業域の設定は、ラインバランスのOR手法[117]、あるいは各企業において独自に開発したアルゴリズム、経験等によって決定される。この場合作業時間は確定的であるとして解かれるのが一般的である。作業時間が一定の分布を示す場合、コンベア作業において遅れ距離を許す解法のアルゴリズムも紹介されているが、解法の手間と有効性の関係からあまり用いられているとは言いがたい。同様に、機械加工型の工程においては、標準作業組み合わせ表が有効な手法であるが、これも作業時間の確定性を前提としている。

このため多工程持ちシステムが有効に利用される小ロット作業等に見られる作業時間変動、作業習熟、バトンタッチゾーン（共用作業領域）について考慮し、しかも簡便な作業域設定について確立された手法は存在していない。

ここで紹介する多工程持ちシステムシミュレータは、不確定的要素を多くもつ多工程持ちシステムにおける作業域設定に対する支援システムの構築をめざすと同時に、多工程持ちシステムの特徴についてA社を例としながら考察を行うものである。

3.7.2. 多工程持ちシステムシミュレータのアルゴリズム

多工程持ちシステムシミュレータは、生産ライン内の作業者の動きと、仕掛け品の動きを同時にシミュレートすることを目的とした、時間ポイントを用いた離散型シミュレータである。このシミュレータのアルゴリズムの内、バトンタッチゾーン（重複作業域）を無制限に設ける場合のフローチャートについて図3-15に示す。

シミュレータに対し、初期設定項目として、

- 1) 対象作業の工程とその条件
- 2) 各要素作業の構成と必要な作業時間
- 3) 生産ラインへの投入人員数
- 4) 工程ごとのMTBFとMTTRおよびその分布
- 5) 補給の必要な工程とそのために必要な所要時間
- 6) 作業の習熟のタイプとパラメータ

の設定を行う。

シミュレータは、このパラメータを用いて0時点からそれぞれの作業者の最初の要素作業の終了時間の決定を行う。この中で、最速終了者を捜し出し、時間ポイントを移動させる。次に、この作業者の次要素作業および工程を、前後の作業者の状態から決定し、次作業終了の時間を計算する。そして、この時点における最速終了者を再び捜し出し時間ポイントを移動するという手順をシミュレート終了予定時間まで繰り返す。

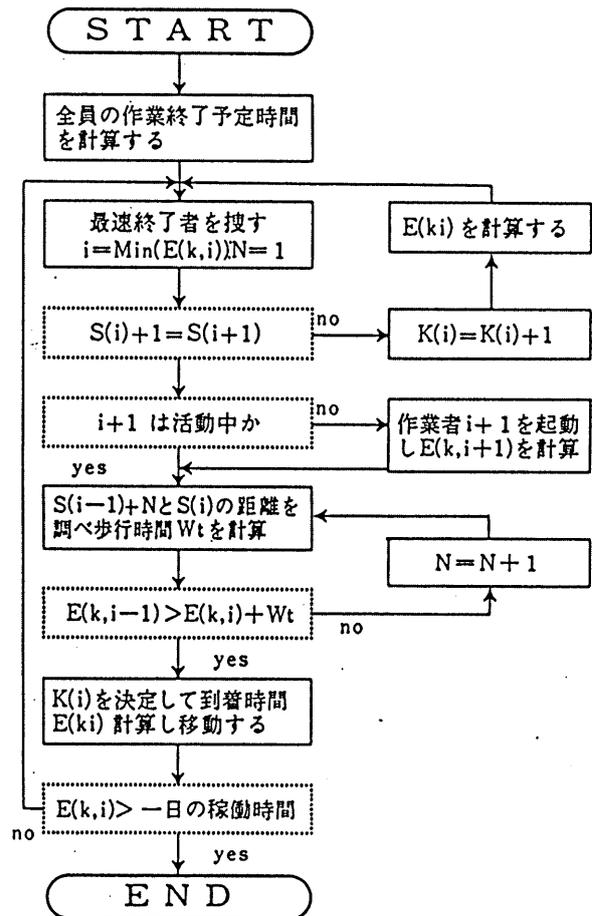
3.7.3. 多工程持ちシステムシミュレータの特色と出力変数

ここで用いる多工程持ちシステムシミュレータは、対話型シミュレータとして、現在マイクロコンピュータ富士通16βのCP/M-86上のBASICで記述されている。これは以下に示す幾つかの特色をもっている。

- 1) 実行状況をディスプレイ上でモニタできる
- 2) 対象とするライン状況の入力が容易である
- 3) 目的変数の図表化が容易である
- 4) 低設備費用で実行可能である
- 5) 他機種への移植が容易である

また、多工程持ちシステムシミュレータはマイコンの持つグラフィック機能を生かし、シミュレータの出力変数として、作業域設定の支援のため、以下の6項目の出力変数とグラフを提供する。

- 1) 作業員ごとの待ち時間の平均と分布
- 2) 作業員ごとの実サイクルタイムの平均と分布
- 3) 要素作業の作業員別の占有率表
- 4) 作業員の行動パターン
- 5) 生産の進捗表（流動数曲線）
- 6) 生産期間（工程時間）の時系列変化
- 7) 時間当りの生産高



$E(k,i)$: 作業員 i の要素作業 k の終了予測時間
 材料補給、故障、作業習熟を考慮して決定する
 $S(i)$: 作業員 i の現在の作業ステーション
 $K(i)$: 作業員 i の作業中の要素作業ナンバー

図3-15 シミュレータのアルゴリズム

3.7.4. 多工程持ちシステムシミュレータの実施と結果

1) 対象生産ライン

今回、実施例としてとりあげたのは、S社（設立昭和28年、資本金4800万円、従業員461名）の本社工場である。この工場では、縫製ラインを6ライン持っており、このうち婦人のスカートを主として生産するラインを対象とする。こ

の生産ラインを3.6.に示した。この生産ラインは、現在班長を含む10名で作業を行っている。班長は検査工程を受け持つほか、各ミシンの糸がえ、遅れた作業者の応援等を主とした職務しているため、今回のシミュレーションには含まない

2) 多工程持ちシステムシミュレータで取り扱う方策

本節で取り扱う多工程持ちシステムシミュレータは、多工程持ちシステムにおける作業域の設定支援を目的として設計したものである。このなかで、生産側として取りうる方策としては1)作業域の分割法、2)作業開始時の初期状態、作業者側の条件として、3)作業のタイプおよび習熟率について決定される必要がある。これに基づき、最適の作業効率、最短の生産期間を持つ作業域の分割法が対話型のシミュレータにより検討される。

1) 作業域の分割法

①要素作業、作業ステーションを作業者に明確に分割して与える・・・作業者は自己の最終要素作業終了時に、次作業者が待ち状態にあれば仕掛品を渡し、いなければバッファとして置き、歩行時間を加え初工程へもどる。初工程にバッファがあればただちに作業を始め、それ以外の場合には待ち状態にはいる。

②作業者間に無制限の共用作業域をもうける・・・図3-15のフローチャートに示したアルゴリズムに従う。作業者は次工程に作業者がいる場合バッファを置き、前作業者の次工程に歩行時間を加えて戻る。

③作業者間に一定幅の共用作業域をもうける・・・②に加え、作業者はあらかじめ設定された範囲の工程でのみ作業可能とする。

2) 作業開始の初期状態

①各作業者が一定数の仕掛品を持ち作業を開始する

②第1工程の作業者のみ仕掛品を持ち作業を開始する

3) 作業習熟

作業者ごとに任意のパラメータにより設定することができるの、3項目がある。

3) シミュレーション結果

多工程持ちシステムシミュレータでは、3.7.3.に示した7項目についてシミ

表3-3 シミュレーション結果のまとめ

	①共用作業域を持たない	②無制限に共用作業域を持つ	③一定限の共用作業域を持つ
1. 生産期間	作業者バッファを制限しない限り増大	安 定	①に比して安定
2. 作業待ち時間	大きく作業者間の差も大	小さく作業者間の差も小	②にほぼ等しい
3. 実作業サイクルタイム	作業者によりほぼ一定	バラツキ大で指数近似	②よりゆるやかな指数近似
4. 作業者作業域	一 定	かなり変動	変 動

シミュレーション結果をグラフあるいは、数値として出力することができる。A社についてのシミュレーション結果の概略について表3-3に示す。A社の結果を必ずしもすべての多工程持ちシステムに当てはめて考えることはできないが、以下の点について指摘することは可能であろう。

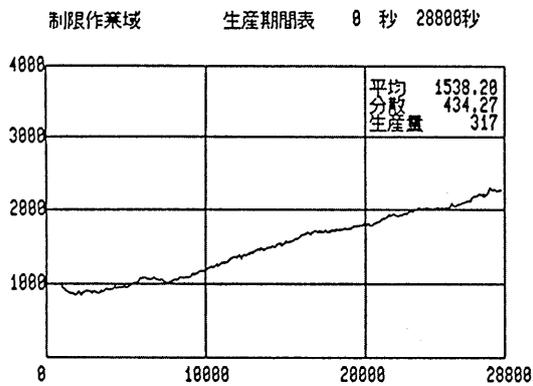
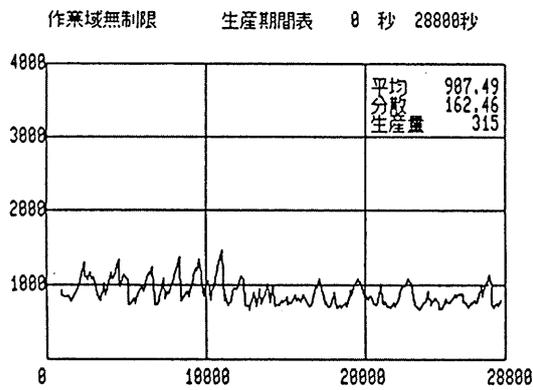
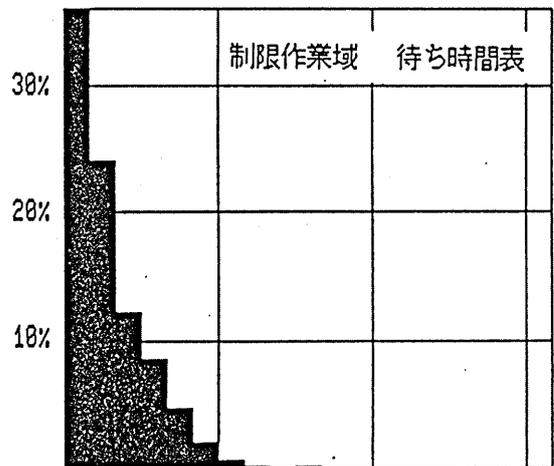
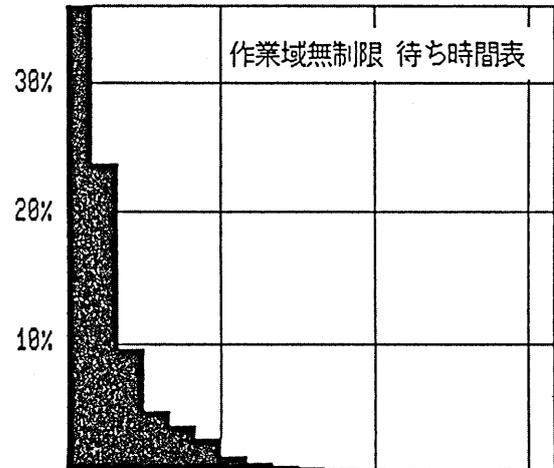
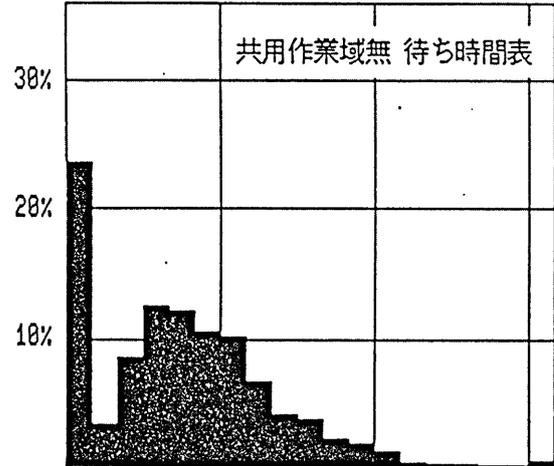


図3-16 生産期間の時系列変化



30秒 60秒 90秒以上

図3-17 作業者の待ち時間の分布

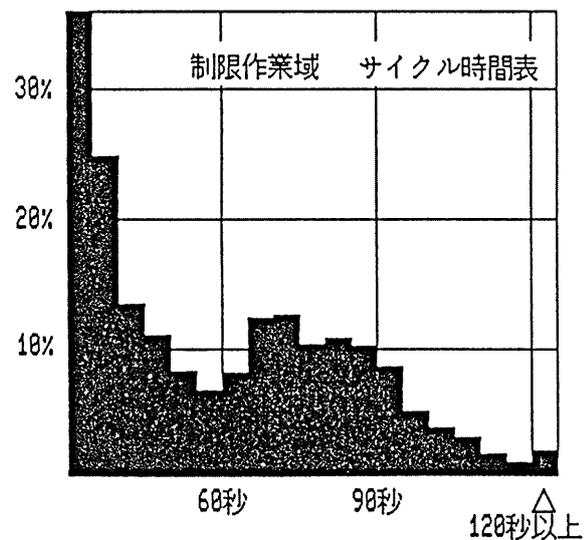
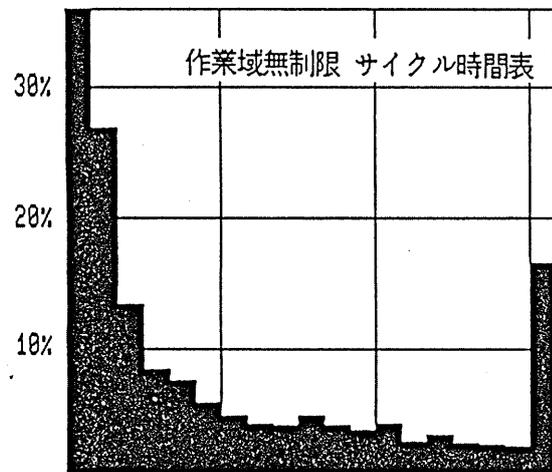
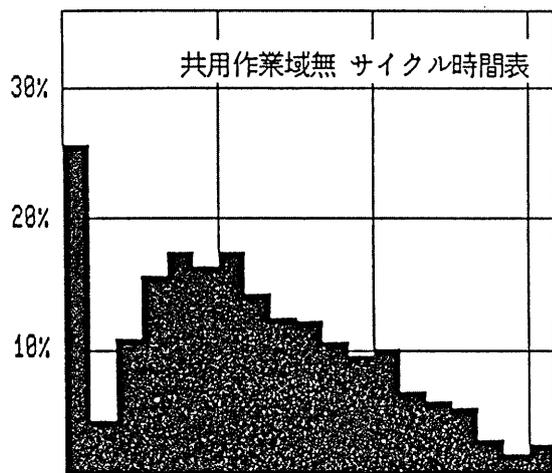


図3-18 作業時間の分布

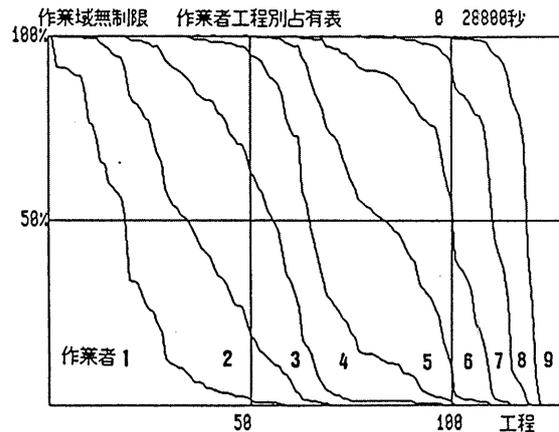


図3-19 作業者の工程別占拠表

3.7.4.の1)の作業領域の分割方法について見るならば、①の場合はラインバランスロスによってバッファが発生し、一貫して生産期間が長くなる傾向がある。この生産期間の増大はライン内の最大サイクルタイムを持つ作業者の前のバッファが増大する

ために生ずる。実際の作業においては、それ以外の作業者が作業速度を低下させることにより、工程内のバッファ量を一定化させようとする力が働く。換言すれば、生産期間の増加を作業効率の低下で防ぐ場合が多い。これに対して②の場合は図3-16に示すように、トラブル等の関係から生産期間の変動はあるものの、ほぼ一定の範囲内に収まる。また、待ち時間は図3-18に示すように①の場合はラインバランスロスのため他に比して圧倒的に大きくなる。作業者サイクルタイムは、図3-18から①に対して②の場合の方が変動が激しい事がわかる。これは、一

度変動した作業域が安定するまでにかかなりの時間をかけ単振動的に収束するため、図3-19に見られるように各作業者の作業域はかなり広範囲にわたる。

これらの結果から、どの方策を選択すれば良いかはおのおののシステムの特
性により決定されることがわかる。作業に高い技能性が要求される場合には、
作業域の安定した方法を選び、習熟の進んでいる場合、あるいは生産期間を重
視する場合は、適当な共用作業域を設けるのが望ましいと推察される。

3.7.5. シミュレータの効果

本研究は、近年の製品の多品種少量化に対する生産側としての有効な方策と
しての多工程持ちシステムについて取りあげたものである。この中で多工程持
ちシステムの構造と特色を明かとし、その中から作業域設定問題の重要性に着
目し、この問題解決のための支援システムとしての多工程持ちシステムシミュ
レータの開発を試みた。これをS社を例として実施する事により、多工程持ち
システムが、多品種少量生産に対して有効であることを考察し、多工程持ちシ
ステムシミュレータがこれの作業域決定のために有効な支援システムであるこ
とを証明した。

第4章 生産期間と作業システム

4.1. 作業システムによる生産期間短縮

生産期間短縮を指向した生産システム開発において、工程の連結化およびその一手法である多工程持ち生産システムがきわめて有力な手段となる。

多工程持ちシステムは、汎用的な設備を、あたかもある製品に対して専用的であるかのように配置し、生産システムを一貫化し、工程内滞留を排除し、生産期間のほとんどを加工時間とわずかな移動時間に集約することによって、従来の生産システムとは比較にならない短生産期間の実現と可能とした。すでに前章において考察したように、工程計画においては設備の単能・小型・短段取替時間・安価を目的とした柔軟な生産システム設計が可能となる。反面、作業設計においては、多様な設備を効率的に使用するための技能修得を容易にし、作業工数を減少させるための方策が必要とされる。この有力な手法が、トヨタ生産方式で開発された標準作業にによる作業設計である。標準作業は、不用な完成品、部品停滞をまねかないため、必要量を目標として生産し、工程内停留量を最小としながら、同時に、生産量にかかわらず標準工数を維持することを目標としている。しかし、このためには、工程間を複雑な経路で歩行移動しながら、多様な部品の中から必要な部品を取り出したり、あるいは対象ごとに異なる加工手法の中から適切な工法を選択し実施するという、作業能率および作業負担の増加が問題とされる。作業負担には、歩行による疲労と同時に健康への影響の二面構造をもって、これをとらえることができる。

また、工程間連結がかんばんレベル以下の場合には、前工程では複数あるいは一つの後工程に対して、複数の部品を切替生産によって供給する場合が多い。この切替時間の長さは、一時に生産される量すなわちロットサイズを直接的に規定する要因となる。従って、かんばんレベル以下の工程連結によって生産を実施しているシステムでは、段取替時間短縮はきわめて重要な位置を占めている。また、IEの重要な原理として、作業改善から工程改善を行うべきであると考えられているが、現在までの報告では作業改善あるいは、わずかな設備改善によって、大巾な短縮が可能であることが示されている。しかし、これらの報告は全体としてきわめて経験的、帰納的に行われている。本章の後半では、

この段取替作業問題についてとらえ、本格的な改善方策について考察する。

4.2. 標準作業の構造と作成

4.2.1. 標準作業の構造

標準作業[185]とは、多工程持ちシステムの思想を基に設計された設備群に対して、最も効率的な作業方法を設定する考え方および、手法を総称したものである。

標準作業の目的は、造り方のルールを明確にすることによって、作業手順が順守されれば、目標とする品質、原価および時間（工程時間）が安全に実現される点にある。標準作業では、標準が明示され、かかげられることによって、監督者は容易に作業の異常を発見することが可能となり（目で見える管理）、作業者の誤作業あるいは不正作業による品質不良の発生を防ぐことが可能となり、設備における自動化と対応する効果が期待される。また、標準手持ち（工程内滞留量）が明示されることにより、工程時間はつねに一定に制限され、保たれ、所与の値の実現が可能となる。

同時に、標準の明示は改善のための基本であって、これをもとにして改善活動が行われる。

標準作業の設計において、最も重視されるのは、「人の動きを中心として仕事を集めムダのない手順で効率的な生産を行う」ことであって、タクトタイムの設定、作業手順の決定、標準手持の三要素が重要であると考えられている。

1) タクトタイム

タクトタイムとは、その工程からの完成品の流出レイトを示している。一般的には、

$$\text{タクトタイム (秒)} = \frac{\text{1日当りの稼働時間 (秒)}}{\text{1日当りの生産必要量}}$$

によって計算される。この場合は、一般の作業設計とは異なり、余裕率は見込まない。

これによって、

$$\text{必要人員数} = \left[\frac{\Sigma \text{各工程の手作業時間}}{\text{タクトタイム}} \right]$$

注 [] は、より大きい整数を表わす

が決定される。

すなわち、生産必要量に応じて、そのラインからの出力レイト（サイクルタイム）は変化し、それに従って、当該工程の必要人員数も変化する。これを、トヨタ生産方式では少人化と名付けている。

2) 作業順序

作業順序は、作業者の設備・工程間の移動の順序と、そこで行うべき作業内容を示している。この場合、必ずしも作業者加工順に移動する必要はなく、手扱い時間（取付け・取外し時間）および機械加工時間の関連から最も効率的な順序が決定される必要がある。作業順序が守られなければ、組み付けあるいは加工の忘れ、安全に対して問題が生ずる危険がある。

3) 標準手持ち

標準手持ちとは、加工順序と作業順序の不一致によって必要となる工程内停滞物や、機械加工時間が手扱い時間に比して相対的に長いため、その間作業者が次の作業を行うためにも発生する。多工程持ち生産システムで、各作業者が、加工工程順に、加工対象と同時に移動しながら作業を行うならば、標準手持ちは発生しない。また、加工工程と逆順に作業が行われるならば、工程間に必ず加工単位だけの標準手持ちが発生することになる。標準手持ち量は、直接的に工程時間を規定し、タクトタイム×標準手持ち量が工程時間になる。

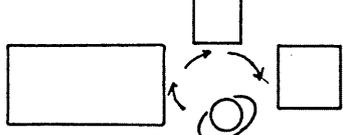
4.2.2. 標準作業の作成

標準作業を策定するには、工程別生産能力表、標準作業組合せ表、標準作業票の順に作成する。

1) 工程別生産能力票

工程別生産能力表は、工程順序、工程名、ステーション番号、歩行時間、加工時間、工程余裕段取替時間等と加工能力を示すものである。ライン内で生産能力上ネックとなる工程、タクトタイムに対しての最少人員の設定、そのラインからの最大生産量を示す。

表4-1 標準作業の記載内容

	項目	内容
①	加工順序	工程に従い加工されていく順序 (作業順序ではなく、工程間に標準手持ちを持ち、工程の逆で作業している場合もある)
②	工程名称	部品が加工・組立てられていく工程の名称
③	ステーション番号	機械あるいは作業ステーション番号
④	歩行時間	
⑤	加工時間 ・ 手作業時間 ・ 自動送り加工時間 ・ 合計時間	手扱い作業時間、自動送り加工時間、合計時間の3項目である。 当該工程で作業者が行う手扱い作業の時間。 機械が部品を自動的に加工するのに要する時間。 工程において1個の部品を完成させるのに必要な時間。
⑥	付帯作業時間	刃具交換、材料部品補充等必ず発生する工程余裕時間
⑦	段取替 ・ 回数／直 ・ 時間／回 ・ 合計時間／直	生産対象の切替によって必要な設備、型、治具、部品等の切替 1直での段取替の回数 現在加工している部品の加工が終了後、段取替後、次の部品の良品1個目の加工終了までの時間 1直での段取替の合計時間
⑧	加工能力／直	$\frac{1 \text{ 直の定時内で加工できる数量}}{\text{実動時間} - \text{段取替合計時間} / \text{直}}$ <p style="text-align: center;">合 計 時 間</p>

2) 標準作業組合せ表

第2次機械化レベル以下の設備群を用いるラインでは、機械加工時間と手扱時間の関係から、作業者は必ずしも加工工程順に作業するとは限らない。この場合、最適な作業順序決定のために、作業者の歩行、手扱い時間、機械が自動的に行う搬送あるいは加工時間の関係を明確にする必要がある。このために用いられるのが標準作業組み合せ表である。

3) 標準作業者

標準作業組合せ表に従って、実際の工程レイアウトに従って、作業者の移動軌跡、安全上あるいは品質実現の上で重要な点の明示、付帯作業、標準手持の発生する箇所を示す。作業者あるいは監督者は、標準作業者に従って作業あるいは管理を行う。

4.3. 標準作業システムのラインバランス設定

4.3.1. 標準作業ラインバランス設定の課題

多工程持ちシステムでは、品種や生産数量の変化も多く、工程編成をする上でいくつかの困難な点が発生している。

- ① これまでの製品に比べ、部品が複雑化し、多数のサブラインが必要となる。しかも、電子部品の様な小型製品へも利用が始まっている。
- ② 多工程持ちシステムで、サブラインをもつ合流型組立ラインは、タイミングをとりにくく、手持ちが多くなりやすい。
- ③ 生産品種が多く、品種や生産数量に合った工程編成を行わないと、必要な作業員数および各作業員の作業内容がタイムリーに把握できない。
- ④ 作業内容が複雑化しているので、各作業員の技倆および作業速度を考慮しにくい。

そこで本節では、このようなニーズをもつ組立ラインの生産の変化に対し、ラインの管理、監督者がフレキシブルに対応するために、工程編成にパソコンを適用した支援システムを開発することを目的とした。

パソコンを使うメリットは大型コンピュータと比較すると、比較的手軽に使用して環境の変化に強いが、記憶容量が少ないので、演算時間は多少長くなる。

4.3.2. 工程編成支援システムが具備すべき条件

多工程持ちシステムでのラインの管理監督者が用いることのできる工程編成支援システムとは、次の条件を具備しているものをいう。

- ① 必要な結果がすぐ判り、タイムリーであること。
- ② 身近にコンピュータがあり、置場に困らない。
- ③ マニュアルが整備されていて、操作が難しくない。

- ④ 結果が見易いこと。
- ⑤ 作業員数、習熟度の要素を考慮できること。
- ⑥ 精度のよい結果が得られること。

4.3.3. 現状の工程編成の方法

現状の工程編成はラインの管理監督者によって行われる。工程編成は図4-1に示すように、2段階で行われる。

その第一は、月度生産計画により求まる毎月の必要生産量から、その月の必要人数を算定し、工程編成をするものである。

第二は毎日の変動に対処するための工程編成である。これらは出勤状況、部品不良、機械故障によるものと、かんばんの引取り状況に伴う日々の生産量変動によるものがある。

現状の工程編成は、各品種毎の所要工数が異なるため、多人数、多品種になるとかなり長い試行錯誤時間が必要になることが、課題としてあげられる。

4.3.4. 工程編成アルゴリズム

1) ライン生産方式について

生産方式を生産する品種数および作業方式の上から分類すると、次のようになる。

品種は複数であり、多工程持ち生産方式では、ロット毎のライン切替方式を行う。作業は移動作業方式であり、個々の製品は手渡しによって次工程に送られる。

ライン切替方式のラインバランシングの場合、基本的には個々の製品について単一製品のラインバランシングを行えばよい[39]。今回はパソコンを使用するという制約条件の中で、従来開発されているいくつかの方法に関する簡単な比較検討を行う。

さて、ライン切替生産方式のラインバランシングの目的には

- ① サイクルタイムが与えられた場合に、要素作業の先行順位関係の制約を満足

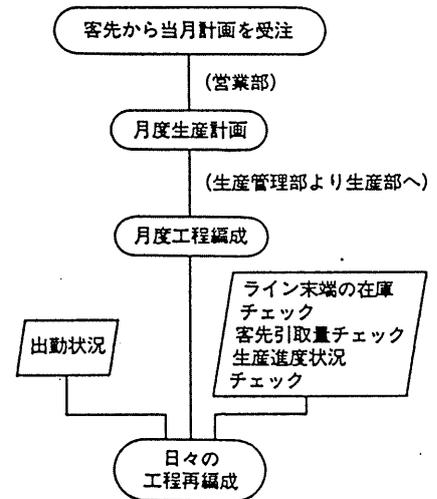


図4-1 従来の工程編成方法

する作業割当方法の中で、遊び時間あるいは作業員数（ステーション数）を最小化する方法を求めます。

②作業員数が与えられた場合に、同上の条件を満足する方法の中で、サイクルタイムを最小化する方法を求めます。

③ある範囲内でサイクルタイムと作業員数を同時に変化させその中で編成効率を最大にする方法を求めます。

一般にある生産ラインに着目した場合、製品の数量および生産に必要な工数は把握されるので、サイクルタイムは所与のものと考えられ、①の立場をとります。

評価式はラインの編成効率をあげることが多いが、トヨタ生産方式の目的から、最大遊び時間の発生するステーションから割り出した人数を端数として、他のステーションは1人として求めた必要人員を評価式として用いる。

さて、品種*i*のサイクルタイム C_i 、および作業工程数 N_i は、次のように求めます。

計画期間中の生産品種 P 、品種*i*の生産計画量 Q_i 、品種*i*の総組立時間 T_i および計画期間中の稼働予定時間 A が所与のとき、品種生産時間 H_i 、サイクルタイム C_i 、作業工程数 N_i は、各(1)、(2)、(3)式から求められる。

$A' = A - (\text{品種切替のための総段取替時間})$ とすると、

$$H_i = A' \times \frac{Q_i T_i}{\sum_{i=1}^P Q_i T_i}$$

品種別のサイクルタイム C_i は、品種別生産時間 H_i に対して求められる。

$$C_i = \frac{H_i}{Q_i}$$

上記のサイクルタイムに対し、最小作業工程数 N_{min} は、次式で与えられる。

$$N_{min} = \left\lceil \frac{T_i}{C_i} \right\rceil$$

ここに、「 x 」は x 以上の最小整数値を取る記号を表わす。

このとき、各作業員の工程編成として求められる、各作業工程での作業時間 t_{ij} は、次式を満足していなければならない。

$$t_{ij} \leq C_i$$

2) シミュレーションによるライン・バランスング手法の比較

ラインバランシング問題は、各要素作業のために必要とされる時間値が確定的であるならば、組合わせ問題の一つとして、有限回の手続きによって、最適解を見つけ出すことが可能である。しかし、ラインバランシング問題を解くために、全ての可能解を求め、この中から最適解を選択することは、要素作業数の数が増えると解の数が幾何級数的に増大し、現実的でないことはよく知られている。そこで、ラインバランシング問題を解決するために、今日まで多くのアルゴリズムが開発されてきている。これらは解析的に最適解を求める方法と、発見的に近似解を求める方法に分類される。前者の代表的な方法として、Jacksonの列挙法、ブランチ・アンド・バウンド法があり、後者の例には、HelgesonとBirnieの位置重みづけ法をはじめ、多くの手法があげられる。

ここで、実際に比較検討を行った手法について、簡単な紹介を行う[117]。

① Jacksonの列挙法……第1の作業工程から各要素作業を、先行順位を逆転させず、かつサイクルタイム以下になるように割当てていき、その途中で重複あるいは劣った割当て連鎖を消去し、工程数が最小のものが最適解となる。

② HelgesonとBirnieの位置重みづけ法……要素作業の先行関係によって、各要素作業に重みづけポイントを与え、これを大きい順に選択し、各工程を編成する方法をいう。

③ MoodieとYoungの発見的方法……直前先行および直後後続の要素行列を作成し、これにより各工程に先行関係がないものを、各作業工程別に要素作業時間の総計がサイクル・タイムに近づくように、同じ工程の要素作業の割当て順序を自由に入れ替えて判定する。最適性の保証はできないが、手順が判り易く実用的である。

④ 今回の修正発見的方法……MoodieとYoungの方法と同様に、2段階を経てラインバランシングを行う。まず、簡単なヒューリスティックによる割当てを行う。その際、要素作業の一番大きなものから優先的に選び、サイクルタイムを越えないようにその前後の要素作業を割当てる。但し、この方法では実用性の面から各作業時間をなるべく均等化して、実際のサイクルタイムとの差を10%ほどとり、作業中の移動時間を保証するものとする。第2段階は、先行関係を満足していても、設備の制約などがあり、實際上、組合せにくい要素作業を分離して、他のステーションの要素作業と交換、または移動を行う。

これらの各手法に対して、パソコンが適用可能かどうか、また必要な精度があげられているかについて、プログラムを作成し、シミュレーションを行った。

ここでは要素作業数20の19モデルを設定し、各モデルに同一の一様乱数を用いることにした。ここでの総作業時間は316.8秒、サイクルタイムは120秒とした。

その結果、表4-2に示すようにJacksonの方法は他の方法と比較し良い結果を得たものの、極めて長い計算時間が必要で、実用上パソコンでは不可能なことが判った。簡単なベンチマークテストの結果ではMELCOM-COSMOとMICRO8の計算能力差は300倍であった。これに対し、その他の発見的方法はモデル13、14、19のような複雑なものでも計算時間の制動は殆んど見られず、安定したものになった。また遊び時間からみた人数の精度については、殆んど実用的に問題のないバラツキの大きさであった。

以上の結果から、パソコンによる工程編成支援システムとしては、経験的アルゴリズムによるものが有効といえることが判った。

表4-2 ラインバランス手法のシミュレーションによる比較結果

方法 NO	JACKSON の列挙法		MOODIEとYOUNG の HEURISTIC 法		HELGSON とBIRNIEの 重みづけ法		今回の修正 HEURISTIC 法	
	計算時間	人数	計算時間	人数	計算時間	人数	計算時間	人数
1	0.0670	2.59	2.4000	2.75	0.4033	2.76	1.0167	2.74
2	0.0571	2.69	2.2667	2.75	0.4033	2.82	1.0167	2.74
3	0.0255	2.74	2.3333	2.75	0.4033	2.75	1.0167	2.74
4	0.3059	2.59	2.4000	2.75	0.4033	2.62	1.0167	2.74
5	0.2070	2.60	2.4000	2.69	0.4033	2.73	0.7500	2.74
6	0.1107	2.69	2.1667	2.69	0.4033	2.69	1.0333	2.78
7	0.1209	2.63	2.5000	2.75	0.5000	2.75	0.3333	2.66
8	0.1066	2.63	2.4667	2.75	0.5000	2.75	0.5333	2.76
9	0.1802	2.63	2.5000	2.75	0.5000	2.75	1.0167	2.74
10	0.1700	2.63	2.4667	2.75	0.5000	2.75	1.0167	2.74
11	0.1590	2.74	2.3333	2.75	0.4033	2.75	1.0167	2.74
12	1.2209	2.50	2.3167	2.75	0.4033	2.71	1.0167	2.74
13	12.1007	2.50	2.3333	2.69	0.5000	2.64	1.0167	2.74
14	62.6000	2.59	2.5000	2.75	0.5500	2.63	1.0167	2.74
15	0.0075	2.74	2.3667	2.75	0.4033	2.82	1.0167	2.74
16	0.4002	2.66	2.4000	2.75	0.4033	2.73	1.0167	2.74
17	0.1690	2.66	2.3033	2.69	0.4033	2.81	1.0167	2.74
18	0.5901	2.59	2.3333	2.75	0.4033	2.70	1.0167	2.74
19	22.5795	2.57	2.6667	2.75	0.5000	2.60	1.0167	2.74
平 均	5.3430	2.644	2.3965	2.737	0.4921	2.724	0.9421	2.739
	14.9726	0.059	0.1075	0.025	0.0161	0.065	0.1924	0.021

JACKSONの方法はMELCOM-COSMO 7000/MP大型計算機を使用。
MOODIEとYOUNGの方法、HELGSONとBIRNIEの方法はFUJITSUのパソコンMICRO-8を使用。
今回の修正法はNECのパソコンPC8000を使用。

4.3.5. 工程編成プログラムの適用例

1) 今回の対象ライン概要

対象とした品種およびラインの概要は次の通り。

品種(5)	A	B	C	D	E
構成比率(%)	38	31	13	11	7

なお、不良率、故障率ともに3%程であったので、これらは余裕率でカバーするものとし、作業時間としては考慮しなかった。

生産ラインは6本のサブラインと1本のメインラインから構成されている。作業員数は10人前後のことが多く、生産数量により変動する。このラインの一部分を写真1に示す。

なお当社では作業管理の一部にNECパソコンPC8800を使用しているので、本研究でも同機種を利用したプログラムを作成する。

2) 調査手順

次の手順で調査を行った。

手順1. 部品展開

構成部品の組立順序および先行順位を知るために、完成品を分解する。

手順2. 要素作業一覧表の作成

各要素作業について、MTM-2を用いて作業時間の測定を行う。タイムスタディにより確認したところ、平均すると移動その他で11.4%ほどタイムスタディの方が多し。

手順3. 先行順位表の作成

決定された要素作業について、実際の工程編成の適用を考慮し、分割しにくい作業などはまとめて一つの要素作業とみなす。この作業を先行順位表にまと

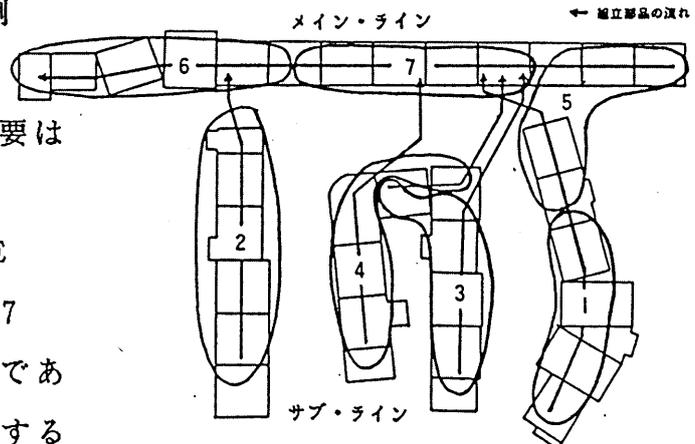


図4-2 工程のレイアウトと工程編成例



写真4-1 生産ラインの一部

める。

手順4. サイクルタイムの決定

実際のサイクルタイムCは品種毎に変化させるが、当社ではラインの編成替えを行うにしても、少なくとも半日または1日は同一人数で作業を行うので、ここでは生産比率で重みづけした生産時間によりCを計算する。

稼働時間Aを440分、生産計画数Qを140個とすると、(1)、(2)式を用い、

$$C = \frac{26,400}{140} \approx 190 \text{ (秒/個)}$$

手順5. ステーション数の決定

Cが決定された時の最小ステーション数(作業員数)は、(3)式から求められる。総作業時間Tが1400秒のとき、

$$N_{\min} = \left\lceil \frac{1,400}{190} \right\rceil = \lceil 7.37 \rceil = 8 \text{ (人)}$$

手順6. 作業員数別、品種別の工程編成の作成

ライン全体の編成効率をよくし、手持ち時間を最小にするために、(4)式を満足する最小サイクルタイムにより、作業員数別および品種別に工程編成を行う。

実際に今回作成した工程編成支援プログラムを用いて工程編成した結果の、作業レイアウトを図4-2に示す。この工程編成は、レイアウト上の制約から、先行順位を満足していても、組合せた要素作業間の稼働距離が大きすぎて組合せにくい場合が発生するので、その場合各ステーション間での要素作業の稼働や交換を行って、実行可能な工程編成になっていなければならない。

手順7. 作業速度を考慮した工程編成

実行可能な工程編成であっても、実際に作業を行うと、作業員の技力の違いにより作業速度の変化を伴ない、ラインのバランスが変化する。そこで、今回のプログラムでは各ステーションに割当てられた作業時間の多いものには作業速度の早い人を、また作業時間の多いものには作業速度の遅い人を配置する。実際の作業時間には、歩行を含む余裕率として10%加えられている。

手順8. 実際の出来高計算

各品種は、総工数で見ると多いものと少ないもので15%ほどの違いがある。

更に、作業員数および各作業員の作業速度の変化により、実際の出来高は当初の予定に比べて異なるので、品種別数量から各品種別の出来高、および総出来高を知る。

3) ラインの生産条件の変更

各段階のプログラムは必要に応じてファイルに記憶されたデータを用いる。これにより毎日のラインの生産条件の変動に対処しうる工程編成が得られる。

この条件の内容と、対処する方法をあげる。

①生産量の変動

トヨタ系以外の取引先の場合、納期の制約から月末に一度、生産計画を見直すことがある。また、引取りカンバンの枚数に変動があったり、部品不良や機械故障が発生すると、生産数量が変化する。この場合は、稼働可能時間からサイクルタイムを計算し、作業員数を変更する。

②欠勤

欠勤が生じた場合は、作業員を補充するか、補充せず生産数量を減らし、サイクルタイムを長くする。前者の場合、作業員のレイティング値が変化するので、これをインプットし、その人の作業速度に応じて作業員を入替える。

③設計変更、作業改善

設計変更により作業内容に変更が生じた場合、ランダムファイルに記憶させているデータの変更を行う。また作業時間についても同様の手続きを行う。変更には、追加、削除および変更が含まれる。

4.3.6. ラインバランス設定方法

最近の組立ラインのニーズに適用しうるパソコンを用いた多工程持システムを作成し、このシステムを実際の生産ラインにあてはめ、検討を行った。

その結果

①パソコンを用いる場合、ラインバランス手法を選択する必要がある。特に、Jacksonの方法は、パソコンを用いる場合、ふさわしくない。その他の発見的手法は、5分以内で処理でき、精度的にも殆んど問題がない。

②作業員数、作業速度、および品種の変化に伴う実際出来高の変化が判るようになった。

第一線監督者がこのプログラムを用いる場合は、適切な作業者のレイティング評価および各作業者のこなせる作業を把握しておく必要がある。またパソコンについても、ラインバランシングの問題を、作業日報の集計、S Tの設定、生産管理板による進捗状況、出勤状況といった作業管理の一部分として用いると活用しやすくなるであろう。

4.4. 作業姿勢が作業能率に与える影響

4.4.1. 作業姿勢と作業能率

現在、組立作業では、通常作業対象の大きさにより、作業姿勢が決定される。建築、造船等の大型製品では、作業集団による移動的作業形態であり、自動車、大型家電品等の中型製品ではサイクルタイム中に数歩の移動を伴う立ち作業が利用されている。小型家電品、縫製、カメラ、半導体などの軽量、小型製品の組立作業は、座り作業（椅子座位）により実施されることが通例である。しかし、今日の製品の多品種少量混合生産の進展に伴い増大したラインバランスロスや、仕掛品の減少を目的とし、トヨタ生産方式の中で開発された多工程持ちシステム[197]の、軽量、小型製品の組立、加工に対する適用の展開が進んでいる。多工程持ちシステムでは、必然的に立ち作業、あるいは作業ステーション間の歩行を伴う立ち作業が必要とされる。立ち作業は、座り作業姿勢に比較して広い作業域の設定が可能であり、ラインバランスの向上など作業設計上の利点が多い[110]。反面、歩行後の作業台に対する身体の位置合わせや、立つために座る場合に比べて身体の軸が安定せず、作業能率は低下するものと考えられ易い。

しかし、実際の立ち作業あるいは、歩行を伴う立ち作業の導入の結果、座り作業に比して著しい作業能率の低下が問題とされた報告は少ない。このことは、立ち作業では、座り作業に比較して位置合わせ等の困難性の増大が予想されるものの、作業対象の移動時に、肩、胴等の補助的動作[17]が有効に働くことや、移動速度の増大が考えられることなど、作業時間は単に移動距離、作業対象の形状のみでなく、複雑な要因によって、その総体が形作られているためである

と考えられる。また、作業ステーション間の歩行を伴う立ち作業では、複数工程を連続的に担当することによる工程間仕掛の削減や、間欠的に発生する停止時間を緩衝仕掛ではなく、作業者間の作業協力により対処が可能なため[93]、仕掛品の著しい削減が可能である等、多少の作業能率の低下を補う改善効果が認識されている事も考えられる。

本研究は、軽量、小型製品の組立を、ピンボードを中心とするいくつかの作業対象をモデル化し、座り作業、立ち作業のいずれもが選択可能な場合の、組立作業で発生する取置作業時間の、作業条件による相対的差異を調べることを目的とし行ったものである。

4.4.2. 実験

1) 実験に用いる要因の設定

軽量、小型製品の座り作業の場合の作業時間特性については、片手、両手同時対称作業（以下、作業方法と言う）に着目し、作業方法と部品台の方向、角度、距離の影響について調べた井戸ら[48]、金沢[66]の研究、さらに、部品のはめ合わせ間隔、形状について検討した井戸ら[46]の研究がある。また、立ち作業については、Barnes[7]による作業域の設定、中井ら[164]による作業域設定装置の開発、感能値による作業域内の物品の取りやすさの研究[165]がある。後者の研究は、同一位置に立ち、組立を行うことを対象としており、多工程持ちシステムで一般的に行われる、いくつかの作業ステーション間を、左右あるいは前後へ、数歩の移動を伴いながら、原則的に部品台に正面を向き、数工程の組立作業を行う場合については検討していない。

本研究では、軽量、小型製品の組立を対象に、一定位置での立ち作業の繰り返し、作業ステーション間の歩行を伴う立ち作業について、座り作業の場合の作業時間と、比較、検討が可能であるように以下の要因と、水準を設定した。

2) 要因と水準

設定した各要因と水準はで、必要なものを図4-3に示す。

A) 作業姿勢

A 1:座り作業（椅子座位） A 2:立ち作業

A 3:歩行作業（作業ステーション間歩行後の立ち作業）

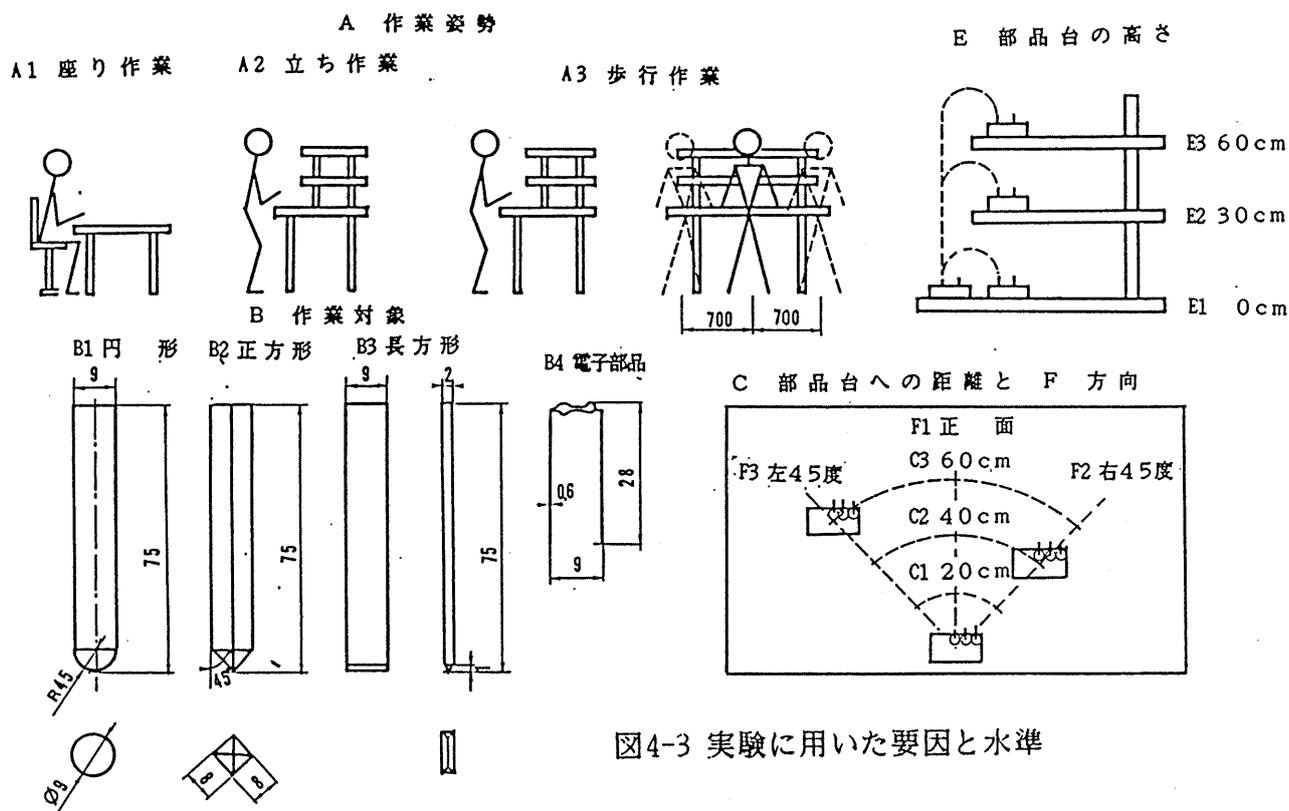


図4-3 実験に用いた要因と水準

作業台の高さは、正田[124]により被験者の平均身長から、A1においては73cm、A2、A3では90cmとした。A3では、作業位置の左右70cmの床上に引かれたマーカまで移動し、体側に両手をつけた後、再び作業位置へ戻り作業する。

B) 作業対象

- B1: 円形 B2: 正方形
 B3: 長方形 B4: 電子部品 (抵抗)

各作業対象の形状は、B1、B2、B3については断面形状による。B1は、ピンボードのピンの形状 (MTMのPositionでの対称性の区分ではS) で、B2は、B1と同面積 (同SS)、B3はB1と長辺を同長 (同SS)、B4は市販品 (同NS) である。孔とピンのはめ合わせ間隔は各水準とも同一で、両側合計で0.6mmである。従って、ここでは作業対象の形状の対称性によって、手のコントロールレベルでは、円形、正方形・長方形、電子部品の順に困難度は増加すると考えられる。

C) 部品台からの移動距離 (以下、単に距離と言う)

- C1: 20cm C2: 40cm C3: 60cm

それぞれは、部品台からの鉛直線と作業台平面との交点と作業台との直線距離を示す。移動距離については、宮代ら[136]による上肢動作を3次元的に測定する方法の提案があり、各要因の水準の組合せによっては、部品台と作業台の軌跡距離そのものを水準としてとらえることも考えられる。しかし、実際の作業設計では、部品台は作業台からの水平距離、作業台平面からの垂直距離で設計されることを考慮して設定した。

D) 作業方法

D 1: 片手作業 D 2: 両手同時対称作業

両手同時対称作業（以下、両手作業）時の、部品間間隔は18mmである。

E) 部品台の高さ（以下、高さ）

E 1: 0cm E 2: 30cm E 3: 60cm

部品台から作業台平面までの垂直距離

F) 部品台の方向（以下、方向）

F 1: 正面 F 2: 右45度 F 3: 左45度

3) 実験方法

与えられた各要因の水準にしたがって、ピンあるいは電子部品を第1のボード（部品台）上から引き抜き、第2のボード（作業台）上の孔に位置合わせをして挿入する。ボード上には4行×4列の孔があげられている。部品台の孔に差し込まれた16本のピンを順次移動する。部品台のボード上の作業対象を手でつかみ、ピンを押し、移動させ、作業台のボードに確実に押し込むまでの時間を、観測対象時間として測定する。これを、D:作業方法でD 1:片手の時はピンの一本ずつの移動を16回繰り返し、D 2:両手作業では同時に2本の移動を8回繰り返し、実験の1施行とする。分析においては各施行内の1回の取置作業を分析対象時間とする。被験者の実験進行にともなう習熟の影響を除くため、被験者毎に異なる実験順序を与えた。すべての要因の水準を組合せて実験を行うためには、被験者当り648施行の実験が必要であるが、現実的でない作業条件の組合せは除くこととした。このため実験を2回に分けて行った。第1回は、表4-3に示す分析1の部分について被験者当り72施行を行った。この結果を検討し、第2回は表4-3の分析2および分析3の部分の72施行を追加し、計144施行

を行った。被験者1人1回当たりの所要時間は約3時間であった。

4) 実験装置

ピンおよびボードは、B1、B2、B3は木製で、B4では電子部品は市販の抵抗を用い、ボードはアクリルである。ボードを2台のパソコンのキー上に、それぞれ据え付けて、キータッチ入力を利用することにより、作業時間を計測する。分析対象である1回の取置作業時間の測定精度は0.005秒以上である。

5) 測定対象時間

本研究においては、軽量、小型製品の組立作業をモデル化している。一般に組立作業は、“手をのぼす”、“つかむ”、“はこぶ”、“合わせる（軸合わせ、形合わせ、はめ合わせ）”の一連の動作からなっている[17]。この中で、“手をのぼす”のに必要な動作時間は、直前に行われた動作の連続であったり、歩行を伴う立ち作業では歩行と同時に行為られるため、今回の測定時間から除く。“つかむ”以降の動作は、実際の作業では連続的に行為られるのが通例である。また、“はこぶ”も前腕または全腕の動きのみでなく、手首、肩回転、胴などの補助動作[17]を伴う場合がある。補助動作の大きさは、距離のみでなく、身長等の身体的個人要件により影響されるものと考えられる。作業設計上の問題は、作業対象、作業条件が与えられた場合の、必要な作業時間の平均値そのものである場合が多い。そこで、立ち作業、歩行を伴う立ち作業と、座り作業比較の研究対象は、作業姿勢が異なる場合の、作業に必要な時間の相対的差異となる。今回の実験では、計測対象時間として、部品台上に置かれた作業対象をつかみキーが押された時点から、作業台上の孔に作業対象が挿入され、キーが押された時点とした（以下、単にPと言う）。被験者は、予め標準的な作業速度で実施するよう指示されている。作業対象が確実につかまれキーが押されたか否かは、ブザーによって被験者に知らされる。

6) 被験者

大学院の男子学生6名、全員右ききで、平均身長は175cmである

4.4.3. 分析と考察

1) 分析の方法

実験結果の分析は、作業姿勢を中心として各要因の分散分析を行い、さらに

有意となった要因について考察する。分散分析は、表4-3に示す3通りの組合せにより行った。分析1は、作業姿勢の影響についての基本的な分析である。分析2は、部品台の高さの要因を付加する。A1:座り作業ではE:高さを設定した場合、C:距離との組合せによっては他の組合せで発生する動作に加え、作業対象を取るため”立ち上がる”必要があり、測定時間に新たに”腰をかける”(MTMではSIT)が発生するためA1は除く。また、1回目の実験による分散分析1の結果をふまえ、施行回数の増加を防ぐため、B:作業対象のうちB2、B3は除いて実験を行い分析した。分析2において距離と高さの組合せによって、水準とした距離と、実際の軌跡距離に差が生

表4-3 分析の要因と水準

要因と水準	分析1	分析2	分析3
A: 作業姿勢			
A1: 座り作業	○	×	○
A2: 立ち作業	○	○	×
A3: 歩行作業	○	○	×
B: 作業対象			
B1: 円形	○	○	○
B2: 正方形	○	×	×
B3: 長方形	○	×	×
B4: 電子部品	○	○	○
C: 距離			
C1: 20cm	○	○	○
C2: 40cm	○	○	○
C3: 60cm	○	○	○
D: 作業方法			
D1: 片手作業	○	○	○
D2: 両手作業	○	○	○
E: 高さ			
E1: 0cm	○	○	○
E2: 30cm	×	○	×
E3: 60cm	×	○	×
F: 方向			
F1: 正面	○	○	○
F2: 右45度	×	×	○
F3: 左45度	×	×	○
データ数	5184	5184	2592

じるが、これは分散分析の交互作用として検出される。分析3では、分析1に部品台の方向の要因を付加する。一般的に、A:作業姿勢のA2、A3では、部品台方向に体の向きを変えることによる対応や、歩行と同時に身体の変化させ、作業時には部品台に正面を向くため、A1:座り作業について実験、分析した。分析2と同様の理由でB2、B3、E:高さについては除いた。

2) 分散分析の結果

分散分析の結果について、分析1は表4-4、分析2は、表4-5に示す。各分析で、3次以上の交互作用の内、有意とならなかった項については表中から除いた。各分散分析で主要因はすべて有意となった。交互作用は、分析1ではA:作業姿勢×B:作業対象、A:作業姿勢×D:作業方法が高度に有意であった。分析2では、さらにB:作業対象×D:作業方法、B:作業対象×E:高さ、D:作業方法×E:高さが有意となり、高次の交互作用として、A×B×C×Eが有意となった。分散分析3では、主要因と、B:作業対象×D:作業方法、B:作業対象×

F:方向が有意であった。

3) 各要因の効果

分析1の結果(図4-4)、A:作業姿勢では、A1:座り作業に必要なPを基準とすると、A2:立ち作業は6.6%大きく、A3:歩行作業では20.8%増加する。B:作業対象はB1:円形のPを基準として、B2:正方形はほぼ同値で、B3:長方形では8.6%、B4:電子部品では134.4%大きい。C:距離では、

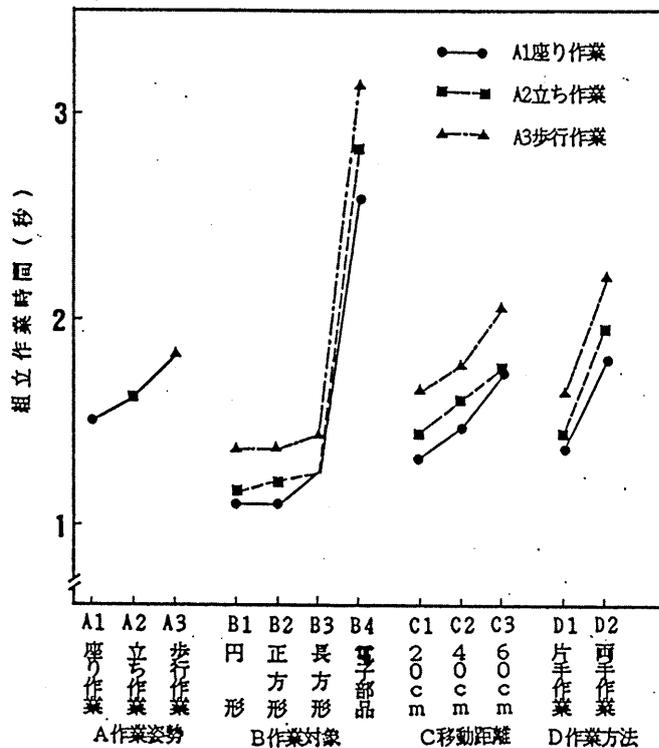


図4-4 組立作業時間を与える各要因の効果

C1:20cmを基準として、C2:40cmでは9.7%、C3:60cmでは25.1%Pが増加する。D:作業方法では、D2:両手作業はD1:片手作業に比してPが32.2%大きい。分析2(図4-5)では、A2:立ち作業、A3:歩行作業とも、E:高さが、E2:30cmの時、最もPが小さく、E1:0cm、E3:60cmはほとんど差がない点が注目される。E:高さについてはA:作業姿勢を含め高次の交互作用が存在しているので、さらに次節で考察を行う。分析3(図4-6)、A1:座り作業におけるF:方

表4-4 分散分析1の結果

要因	S	ϕ	V	F ₀	ρ (%)
A:作業姿勢	89.8	2	44.9	126.1**	1.8
B:作業対象	2492.4	3	830.8	2332.4**	49.8
C:移動距離	122.2	2	61.1	171.6**	2.4
D:作業方法	268.0	1	268.8	752.5**	5.4
A×B	19.3	6	3.2	9.0**	0.3
A×C	1.9	4	0.5	1.3	0.0
A×D	3.5	2	1.8	4.9**	0.1
B×C	5.7	6	0.9	2.7*	0.1
B×D	157.4	3	52.5	147.0**	3.1
C×D	2.9	2	1.5	4.1*	0.1
残差	1837.2	5112	0.4		37.0
合計	5000.4	5183	1.0		100.0

** 1%水準で有意 * 5%水準で有意

表4-5 分散分析2の結果

要因	S	ϕ	V	F ₀	ρ (%)
A:作業姿勢	34.9	1	34.9	67.0**	0.5
B:作業対象	3137.1	1	3137.1	6024.1**	46.3
C:移動距離	81.3	2	40.6	78.0**	1.2
D:作業方法	507.8	1	507.8	975.1**	7.4
E:高さ	63.7	2	31.8	61.1**	0.9
A×B	3.1	1	3.1	5.9*	0.0
A×C	1.3	2	0.6	1.2	0.0
A×D	0.3	1	0.3	0.5	0.0
A×E	7.1	2	3.5	6.8*	0.1
B×C	5.8	2	2.9	5.6*	0.1
B×D	211.8	1	211.8	406.6**	3.1
B×E	20.3	2	10.1	19.5**	0.3
C×D	3.6	2	1.8	3.5*	0.0
C×E	4.8	4	1.2	2.3	0.0
D×E	5.5	2	2.7	5.3**	0.1
A×B×C×E	5.6	4	1.4	2.6*	0.1
残差	2662.1	5112	0.5		40.8
合計	6773.3	5183	1.3		100.0

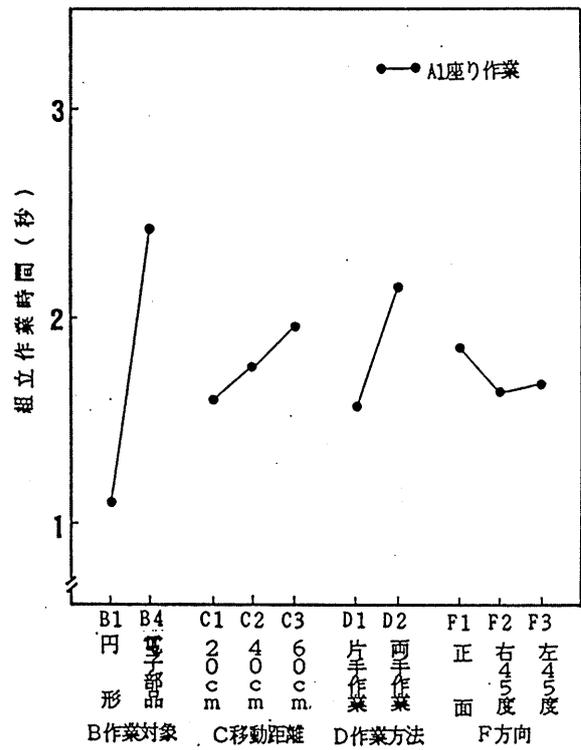
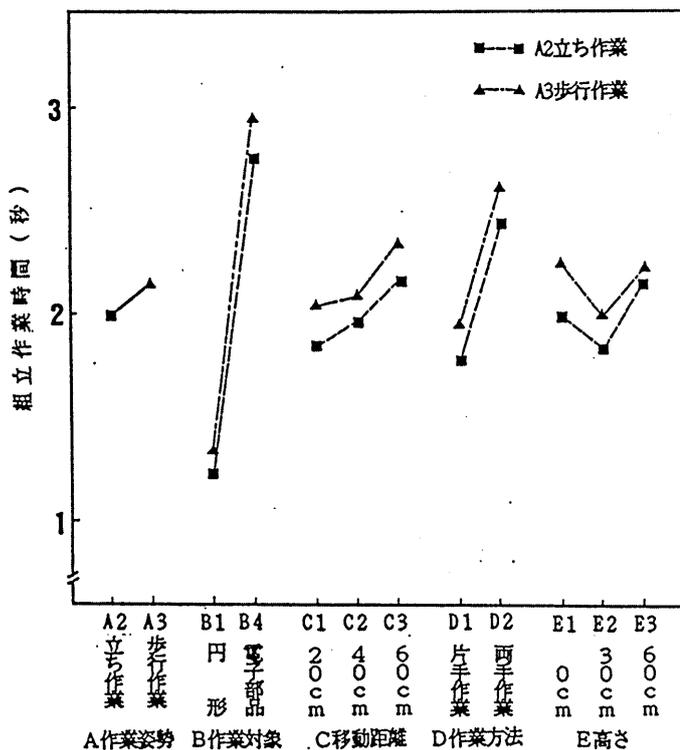


図4-5 組立作業時間に与える部品台の高さの効果 図4-6 組立作業時間に与える部品台の方向の効果

向の効果は、F1:正面に対してF2:右45度が92.4%で最もPが小さく、F3:左45度がこれに次ぎ95.0%であった。この結果は、金沢[66]とよく一致している。

4) 作業姿勢と他の要因の交互作用

分析1におけるA:作業姿勢と他の要因についての関係について図4-4に示す。各作業対象とも作業姿勢間のPの比は、A1:座り作業を基準として、A2:立ち作業は7%程度、A3:歩行作業は20%程度大きく、ほぼ同一の値を示す。これは、A:作業姿勢とB:作業対象との関連が、相互の要因の和のモデルではなく、積のモデルであることを示唆している。同様に、D:作業方法との関連でも、D1:片手作業とD2:両手作業のPの比は、A:作業姿勢にかかわらずD2:両手作業が32%程度大きくほぼ同一値であり、積のモデルを推定させる。C:距離では、A2:立ち作業、A3:歩行作業の方が、A1:座り作業より、距離の増加に対してPの増加率は低い。C1:20cmでは、A1:座り作業と、A2:立ち作業のPの比が9.2%であったが、C3:60cmでは、3%程度となる。

分析2の主効果では、E:高さについてE2:30cmの時Pが最も小さい点が注目された。分析2では作業姿勢と各要因の2次の交互作用に加え、 $A \times B \times C \times$

Eの4次の交互作用が有意となっている。この中から、B4:電子部品についてD:作業方法別に図4-7に示す。参考のため、A1:座り作業で作業台と部品台は同一平面上であるが、他の条件は同じである場合をつけ加えた。この結果、E:高さの水準の中ではE2:30cmの場合、Pが最も小さく、さらに、B4:電子部品ではC:距離がC2:40cm以上となると、E2:30cmの場合は、部品台が作業台と同一平面上にある場合のA1:座り作業姿勢よりPの値が小さくなる。これは、C:距離C2:40cmの場合はE:高さE1:0cmに比して、E2:30cmでは、部品

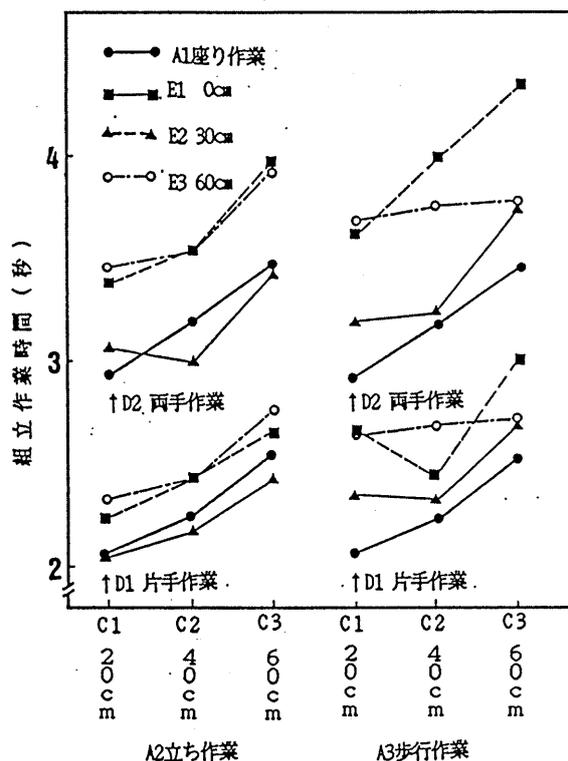


図4-7 組立作業時間に与える作業姿勢，作業方法，部品台との距離，高さの交互作用（電子部品）

台と作業台の直線距離が25%、E3:60cmでは、80%大きいことを勘案すれば注目されるべき効果である。この効果は、B:作業対象がB1:円形よりB4:電子部品、D:作業方法ではD1:片手作業より、D2:両手作業の方が顕著である。これは、A2:立ち作業姿勢において、部品台の高さが適当であれば、上から下へと極めてなめらかな腕の動きが実現し、移動速度が増大するか、座り作業時には出現しないか、あるいは出現の少ない、作業実施上有効な肩、胴等の補助的動作の存在があることを示すと考えられる。また、C:距離が40cm以上では、E:高さE1:0cmとE3:60cmのPが逆転して、E1:0cmの値が大となり、同様の傾向が見られ、動作距離よりも動作のなめらかさがPに影響しているものと考えられる。同時に、立ち作業、歩行を伴う立ち作業の方が、座り作業に比して、部品台、組立台間の距離の増加に対するPの増加は小さく、部品台を広くしても取置作業時間の増大は少ないことが推定される。

5) 他の要因間の交互作用

分析1で、A:作業姿勢以外の要因間の交互作用では、B:作業対象とD:作業

方法との交互作用の寄与が最も大きい。D2:両手作業は、D1:片手作業に比してPが平均で32.2%増であるが、この値は、ピン類: B1、B2、B3が、20% - 25%でマンデル[154]に近く、B4:電子部品では45%でWF[17]に近い。B:作業対象とC:距離は、C1:20cmに比して、C2:40cmは平均で9.7%、C3:60cmは25.1%多くPが必要であるが、この値は、作業対象の困難度が増加するにつれて減少し、C3:60cmの時ピン類: B1、B2、B3では30%前後であるが、B4:電子部品では17%であることがわかった。分析2で見られる

交互作用は、E:高さ、B:作業対象およびD:作業方法間である。すでに前節でA:作業姿勢とE:高さの関連の高次の交互作用について考察したが、この交互作用は、B1:円形よりもB4:電子部品、D1:片手作業よりD2:両手作業の方が、E2:30cmの場合のPの値がE1:0cm、E3:60cmに比較して、より小さくなる傾向があることを示すものである。分析3では、B:作業対象とF:方向の交互作用が有意となったが、これは、井戸ら[48]と同様に、作業の困難度が高いB4:電子部品の方が、B1:円形よりも方向の効果が強く現われることによるものと考えられる。

6) 各要因の相互関連のまとめ

各分析の結果について、取置作業時間に影響する要因間関連について、各要因内で水準1を基準とした時の他の水準のPの相対比を図4-8にまとめ示した。要因間交互作用が、積のモデルと推定されるものは×印、それ以外はマトリッ

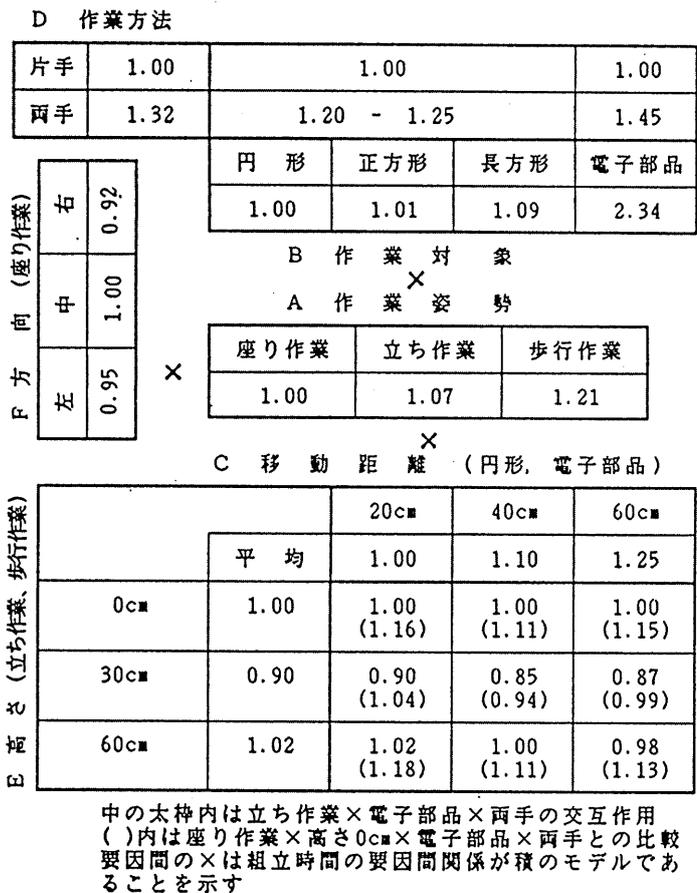


図4-8 各要因の相互関連、水準間の組立時間の相対比較

クスで示した。

4.4.4. 実験結果のまとめ

本研究は、トヨタ生産システムで開発され、軽量、小型製品の組立にも利用の普及が進みつつある多工程持ちシステムで必要とされる立ち作業に注目し、従来の座り作業との比較を試みたものである。そのため、座り作業、立ち作業のいずれもが選択可能である、軽量、小型製品の組立作業をモデル化し、作業姿勢を中心として、作業設計上考えられるいくつかの要因を取り上げ、取置作業時間に与える影響について実験的に検討した。この中で特に注目されたのが、立ち作業ならびに、歩行を伴う立ち作業では、部品台の高さが、30cmの時が、0cm、60cmよりも取置作業時間が小さい。さらに、座り作業（部品は平面配置）と比較しても、立ち作業で部品台の高さが30cmの時には、部品台と作業台間の直線距離が座り作業より長いにもかかわらず作業時間が小となった。これは、立ち作業では、部品台の高さにより、上から下へと極めて滑らかな腕の動きの実現による移動速度の増大、肩、胴等の有効な補助的動作の可能性を示唆している。同時に、立ち作業ならびに歩行を伴う立ち作業の方が、座り作業に比して、部品台、組立台間の距離の増加に対する作業時間値の変化が小さく、部品台を広くしても作業時間の増大は少ないものと考えられる。

以上の結果、本研究により示された実験条件の範囲内では、立ち作業姿勢であっても、適切な部品台の高さであれば、作業対象形状の複雑化、また部品台と作業台の距離が増加するにつれて、作業に必要な時間は、座り作業姿勢に接近するか、あるいは小さくなる。また、歩行を伴う立ち作業においても時間比は接近することが認められた。

従って、従来前後工程の協同化によるラインバランスの向上や、仕掛量の低減を目的として導入された多工程持ちシステム利用に必要とされる立ち作業が、座り作業に比較して、作業時間上の問題は少なく、しかも多品種少量生産に必要な、多くの部品を作業域に展開できる可能性を持つことが明らかとなった。

4.5. 作業姿勢が作業者に与える身体的影響

4.5.1. 作業姿勢と体力調査の目的

トヨタ自動車(株)を中心とする企業群においては、昭和40年代から、製品の多様化や、少量化に対応するため、多工程持ちシステムを、採用してきた。この多工程持ちシステムは、現在ではアパレル産業や、電機産業においても採用されるようになっている。このシステムの実施のためには、①加工工程順の設備配置、②自働化、③歩行を伴う立ち作業化の3条件が必要である。従来③の条件を持つ作業は、あまり多くなく、特に女子においては紡績など一部に見られるのみでした。そのため、歩行を伴う立ち作業が広範な年齢階層、性別の作業者に対して、どのような心理的、身体的影響を与えるかについては、研究が十分ではなかった。本節では、この歩行を伴う立ち作業システムが、作業者に与える身体的影響について調査研究を計画した。歩行を伴う立ち作業が、作業者に与える影響については、身体、心理両面よりとらえなくてはならない。すでに、心理面においては、次節で検討する。

体力測定そのものについては、日本体育学会[182]、小野[202]、名取[175]、飯塚[51]ら多くみられ、また、体力促進の面からは、労働基準調査会[250]等からの提言がある。しかし、作業姿勢との関連からは、中央労働防止協会[13]から、調査報告がわずかにみられる。この調査は、トヨタ関連の企業が多く参加している。この結果によれば、歩行を伴う立ち作業者は、握力、ジグザグドリブルで各年齢とも高値を示し、さらに、握力、立位体前屈、踏み台昇降運動では有意に高値であったことが示されている。垂直飛び、腕立て伏せ、反復横飛び、急歩、上体反らし、ジグザグドリブルでは、有為な差が見られなかったとしている。一般的には事務職員が高値であることが示されている。しかし、これは男子のみを対象とした調査である。本節では、これらの調査研究を踏まえ、歩行を伴う立ち作業が、作業者に与える長期的な、身体に対する影響について、体力測定の資料をもとにした調査、研究を計画した。女子従業員において、年齢、勤続年数を層別の因子として、作業姿勢(歩行を伴う立ち作業、座り作業)と、体力測定をもとにして得られた身体能力との関連について統計的に処理し、作業姿勢の影響について定量的な把握を目的としている。

4.5.2. 調査および分析方法

1) 調査対象：T社において、歩行を立ち作業を行なっている女子作業員、およびその対象群（座り作業を行なっている者）

班単位分析においては690名

部単位分析においては1489名

女子従業員は、一般的に、新卒採用であるか、子育てが終了後のパートあるいは中途採用者の占める割合が高いため、対象としたT社においても、全体に占める30歳代の割合が低い傾向にある。すでに、トヨタ系の企業においては、男子は、ほとんどが立ち作業あるいは、その変形による作業姿勢を取っており、すでに中央労働防止協会[13]から、調査報告が出されているため、本研究においては、女子を中心として調査する。

2) 調査方法：体力総合研究所のフィットネス・テスト（表4-8）の規格により体力測定および日常生活に対する質問紙調査

3) 立ち作業率の推定：一般的に、実際の生産工程では同一の作業内容を固定的に行うのではなく、班単位程度で1日内、あるいは週程度でローテーションを組んでいくつかの作業を行うのが通例である。そのため、ある作業員について、立ち作業であるか、座り作業であるかの2分法で分けるのは極めて困難である。ここでは、班全体の作業員の内何人が立ち作業であるかの割合を求め、ある作業員の立ち作業率として分析対象とした。この推定を、課班単位で行なった場合を課班単位分析と呼び、これは比較的精密な分析となる。また、同様の推定を部単位で実施した場合を部単位分析と呼び、比較的精度の荒い分析であるが、データ数は多く得られる。各推定表については、以下に示す。

4) 分析の方法：各分析項目ごとに、年齢区分（5段階）×立ち作業率（5段階）および年齢区分（5段階）×立ち作業率（2段階）で分析した。これを、課班単位推定、部単位推定（立ち作業率については5段階のみ）の両方について実施した。また、課班単位推定については、項目ごとに分散分析を行なった。さらに、経験年数との関連においても分析を行った。分析の組合せについて、表4-6に示す。

表4-6 調査項目と分析内容

分析単位	課班単位				部単位	
	5段階		5段階		5段階	
年齢区分	5段階		2段階		5段階	
立ち作業率区分	5段階		2段階		5段階	
	平均値	分散分析	平均値	分散分析	平均値	分散分析
1. 肺活量（持久力） 2. 一秒率（持久力） 3. 垂直飛び（瞬発力） 4. 反復横飛び（敏捷性） 5. 立位体前屈（柔軟性） 6. 日常生活調査 N1 朝の体のだるさ N2 体操体力測定での疲れ N3 イライラする N4 坂道階段での息切れ N5 腰の痛み N6 肩や首筋のこり N7 胃のむかつき N8 いつも食欲がない N9 足腰の弱り N10 体の動きの鈍さ 日常生活（疲労得点）合計						

4.5.3. 分析結果および考察

各分析の内、主要ものについて分析および考察を行う。

1) 肺活量：肺活量は、持久性を示す項目である。肺活量が、直接的に作業の負荷を示す項目とは言い切れないが、全体的には加齢の進行に伴い差が減少する傾向がみられる。

2) 一秒率：一秒率とは、肺活量

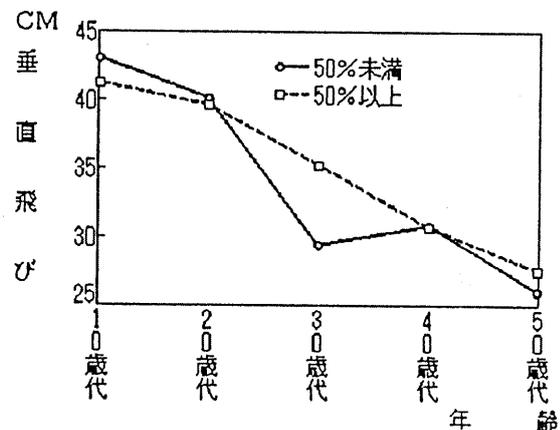


図 4-10 垂直跳びと年齢

において一秒間に排出される呼吸量を示しており、肺活量用よりも、直接的に持久力を示す項目であると考えられる。課単位の分析結果について、50歳代にはわずかではあるが立ち作業率が高いほど、一秒率が大きい傾向を示す。

3) 垂直飛び：垂直飛びは、瞬発力を示す項目である。課単位の分析結果の内、年齢5段階×立ち作業率2段階の結果について、図4-10に示す。30歳代は、他に比してデータ数が少ないため、見かけ上大きな差となる。40歳代ではほとんど差が見られないが、50歳代では立ち作業率が高いほど、値が上回る。同時に、両者とも、同世代の平均を上回る結果を見せている。

4) 反復横飛び：反復横飛びは、

敏捷性を示す項目である。課単位の分析結果の内、年齢5段階×立ち作業率2段階の結果について図4-11に示す。反復横飛びでは、50歳代において約2.5回の差がある。これは、年齢的には5歳以上の差であると考えられる。垂直飛びと同様に、両者ともに世代平均を上回るが、立ち作業率が高いほど、この傾向が強い。

5) 立位体前屈：立位体前屈は、柔軟性を示す項目である。課単位の分析結果の内、年齢5段階×立ち作業率2段階の結果について図4-12に示す。立位体前屈は、最も年齢による効果が強くみられる。40歳代以上では、立ち作業率が、高いほど良い成績となる。これは、50歳代の女子が、わずかではあるが世代平均を下回ることによる。

6) 日常生活調査：すでに、次節において、立ち作業化にともなう自覚疲労に

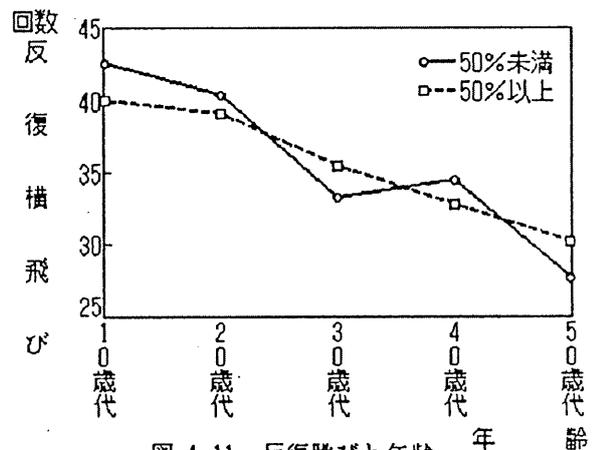


図 4-11 反復跳びと年齢

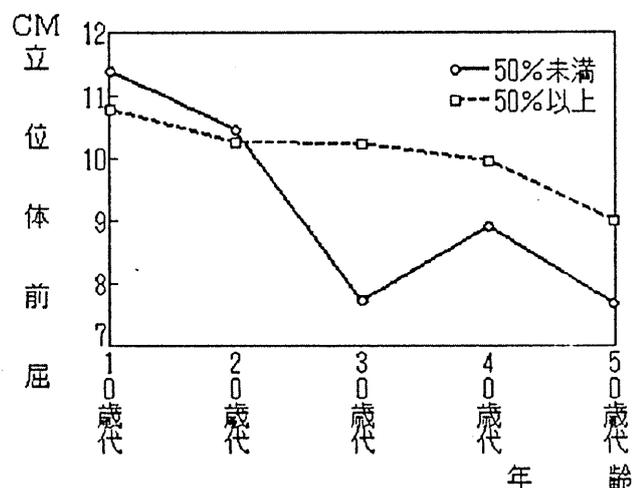


図 4-12 立位体前屈

ついて調査している。ここでは、体力総合研究所のフィットネス・テストの規格による日常生活に対する質問紙調査項目に従い分析をした。訴え項目の平均数を求め、平均得点とする。課単位の分析結果の内、年齢5段階×立ち作業率2段階の結果について図4-13に示す。この結果は、他の調査と同様に、50歳代のみが、立ち作業率が高い者が、低い訴え率を示した。

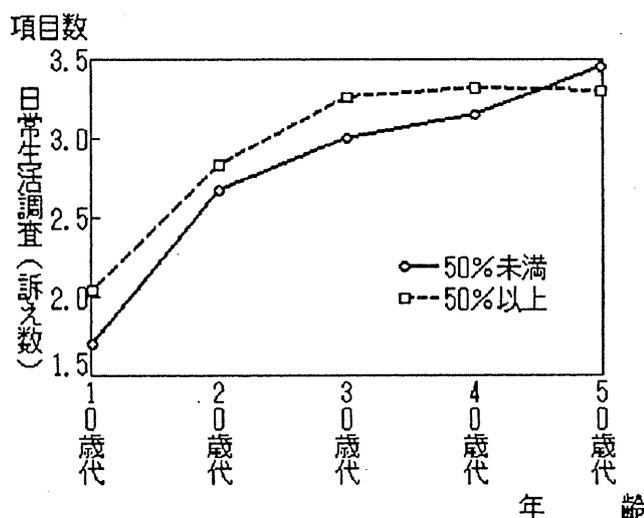


図 4-13 日常生活調査訴え数

7) 経験年数との交互作用：分散分析の結果、経験年数との交互作用を示す項目も見られたが、経験年数は、年齢による偏りが大きいため、一般的傾向は得られなかった。

4.5.4. 調査のまとめ

本節では、作業姿勢と健康の問題について、女子作業者を対象に、体力測定を基に研究を試みた。一般的に、作業姿勢が体力に影響を及ぼすのか、あるいは、体力の高い者がより作業負荷の高い職業につくのかは、因果関係に問題が生ずる。しかし、今回対象とした企業は、班単位でのローテーションシステムによって、すべての従業員を差別する事なく取り扱っているため、後者の可能性は捨てられる。

各分析の結果から、体力を示す各指標は、50歳代においては、すべて立ち作業率の高い作業者がより高い体力指標を示した。これは、高齢者においては、ある程度の歩行を伴う立ち作業姿勢が健康維持に適度な運動となっていることを推定させる。反面、若年者において、この傾向が見られないことは、若年者には、体力の維持更新は、労働そのものではなく、スポーツ等の労働外活動による影響が大きいためであると考えられる。

4.6. 作業姿勢変更が自覚疲労に与える影響

4.6.1. 調査の目的

本節の調査は、椅座位による作業に従事してきた女子作業者が、歩行を伴う立位作業へ姿勢を変更された場合、作業者の心理的抵抗あるいは疲労感がどのように変化するか、自覚疲労の調査により、その現象を考察し、作業者への説明資料を提供するものである。

同一設備や生産ラインで多品種混合生産を行う場合、トヨタ生産方式で開発された多工程持ちシステム[197]が有力な手段となっている。多工程持ちシステムは、加工工程順の設備配置、自動化による手作業時間と機械時間の分離および、サイクルタイム中に複数作業ステーション間を歩行移動する立位作業姿勢が必要条件となる[110]。この条件の内、歩行を伴う立位作業は、オーバーラップ作業によるラインバランスの向上、作業域の拡大、生産量変動への対応性等多くの利点を持っているが、反面、いくつかの解決すべき課題を残している。その第1は、立位作業が労働負担の強化につながるのではないかという問題がある。第2は、作業能率、品質が従来どうり得られるかどうかの問題である。本研究は、前者について考察する。

作業における疲労の検査は、フリッカーや、RMR、尿、血液成分測定等を用いる場合と、自覚疲労（自覚症状としての疲労感）の調査によるものがあり（注1）多くの研究が行われている。しかし、作業姿勢の変更という動的な状況について、継続的に研究されたものは見当たらない。本研究は、作業姿勢変更後の自覚疲労の推移について経時的に調査し、低減傾向を研究したものである。今後、多品種少量生産の進展にともない多工程持ちシステムが導入される。これによって、椅座位から立位へ作業姿勢変更が行われる場合、作業姿勢変更による自覚疲労の変化について、事前に作業者に提示できることは、新システム導入を容易にする上で意義があると考えられる。

4.6.2. 作業姿勢と疲労

1) 作業姿勢と労働負担

高年齢者雇用開発協会では実際の作業現場で見られる作業を10種類に分類し、

RMR、RMR心理量等について調査を行っている[13]。この結果によれば、立位、椅座位は双方ともRMR値は0.5 前後でほとんど差がない。また、実際の作業現場における調査では、作業姿勢よりも作業環境、取り扱う重量が、労働負担に影響している[186]。心拍数、フリッカーの調査によっても、椅座位、立位間に明確な差異は見られない[203]。本研究の対象である多工程持ちシステムの歩行時のRMR値は1.5程度と考えられるが[188]、サイクルタイムに占める歩行時間の割合は5%程度で、椅座位、立位、歩行を伴う立位は労働負担においては著しい差異がないと考えられる。ただ、未熟練者は、熟練者に比べて筋使用の効率が悪く、取扱い重量が大きい場合にはRMRが大きくなる[186]。従って、作業姿勢が変更される場合には、一時的にRMRが大きくなる場合も考えられるが、調査対象作業における取扱い重量は完成品重量900g程度であるため、作業姿勢変更による労働負担の増加は考慮しなくてよいと考える。

2) 作業姿勢と自覚疲労

作業姿勢と疲労の関係について男女1113人を調査した結果、連続して同一姿勢をとって作業している者は、立ったり座ったりして作業している作業員よりも疲労を感じる[269]。また、女子作業員について作業を自律性、サイクルタイムから4種に分類し、調査した結果、サイクルタイムが短く、作業変化の少ない場合ほど自覚疲労は強い[219]。立位、椅座位の差異について、男女高校生の調査では、椅座位に比して立位の場合の訴え率が高いものの、有意な差異は見られない[59]。さらに、歩行量、サイクルタイムとの関連では、サイクルタイムの長い作業では作業中の歩行の出現頻度が自覚疲労に大きな影響を及ぼし、歩行の出現の高い者は姿勢変更や気分転換が容易となり、自覚疲労の訴え率が低下する。サイクルタイムの短い作業では、歩行の出現頻度よりも、サイクルタイムが短いことが自覚疲労の訴え率を大きくする[35]。

以上の点から、椅座位で短サイクルタイムの作業から、歩行による移動を伴う立位作業で、サイクルタイムが長くなる多工程持ちシステムを導入しても、自覚疲労の訴え率は大きくならないと予想される。

しかし、問題となるのは作業姿勢変更に対する心理的抵抗である。鈴木[262]は自覚疲労調査における応答は、必ずしも質問内容(実態)と直接的につながったものではなく、ある条件における、ある質問に対する全人格的表現である

としている。この点から、自覚疲労は単に作業に対する疲労感のみでなく、企業や仕事に対する抵抗感をも示していると考えられる。そこで、ここでは、作業姿勢変更に対する作業者の心理的抵抗と、新作業方式による疲労について、自覚疲労調査を通じて考察する。

4.6.3. 調査内容

1) 調査対象

小型家電製品の組立作業を行っているA社の女子従業員16名を調査した。同時に、作業内容、就業時間、作業中の歩数を調査した。調査の結果、原則的に就業時間は8:30-17:00で、週休2日であった。作業内容を検討し、調査期間中、就業時間の大部分を対象作業に従事した11名について分析した。年齢は、10代6名、20代1名、30代1名、40代1名、50代2名である。これらの作業者は、作業姿勢変更以前は、椅座位でフローコンベア上を移動する作業対象物を取り、サイクルタイム80秒程度で、各自の作業台上で組立およびハンダ付け等の作業を行っていた。1週間の準備期間の後、多工程持ちシステムへ移行した。立位で作業対象は作業員間の手渡しとなる。作業員は、1つの作業台を1工程として、椅座位作業時と同様の作業を、1工程あるいは数工程を担当する。作業員1人あたりのサイクルタイムは250秒程度へ増加した。サイクルタイム当たりの歩行量は大部分の作業員で10-12歩であり、2週間の万歩計による調査の結果、部品補給、休憩時の歩行等を含めた、就業拘束時間内の平均歩行量は1日約3240歩であった。

なまえ _____
 昭和X年X日(X曜日) _____ 時 _____ 分 記入(終業後)
 今日の仕事 _____ (例 組立、検査)
 いまのあなたの状態について、おききます

次のようなことを [非常に感じる○] のいずれかの記号を[]の
 なかにつけてください。
 [やや感じる △]
 [感じない ×]

I	II	III
1 頭がおもい	11 考えがまとまらない	21 頭がいたい
2 全身がだるい	12 話をするのがいやになる	22 肩がこる
3 足がだるい	13 いらいらする	23 腰がいたい
4 あくびがでる	14 気がちる	24 いき苦しい
5 頭がぼんやりする	15 物事に熱心になれない	25 口がかわく
6 わむい	16 ちよつとしたことが思いだせない	26 声がかすれる
7 目がつかれる	17 することに間違いが多くなる	27 めまいがする
8 動作がどこちなくなる	18 物事が気にかかる	28 まぶたや筋がピクピクする
9 足もとがたよりない	19 きちんとしていられない	29 手足がふるえる
10 横になりたい	20 根気がなくなる	30 気分がわるい

図4-14 調査用紙

2) 調査方法

日本産業衛生協会産業疲労研究会の「自覚症状しらべ」[181]の項目により調査した。図4-14に今回の調査で用いた質問紙を示す。全体は30項目より成り、各10項目ずつ意味付けがなされている。Ⅰ群は、「ねむい」、「あくびができる」等のねむさと、「全身」、「足元」等のだるさが中心で、「ねむけとだるさ」と名付けられる。Ⅱ群は、「することに間違いが多くなる」、「ちょっとしたことが思い出せない」等のパフォーマンスの乱れと、作業意欲の減退が中心で、「注意集中の困難」を示し、Ⅲ群は身体の局所的症状が中心で「局在した身体違和感」であるとされる。被験者は、各項目ごとに、現時点で症状があるかどうかについて、「非常に感じる○」、「やや感じる△」、「感じない×」の3区分により回答する。このうち、「非常に感じる」、「やや感じる」の回答を訴えとよび、全回答に対する割合を訴え率と呼ぶ。全体の訴え率をT、各群ごとの訴え率を、Ⅰ、Ⅱ、Ⅲで表記する。

$$\text{訴え率}(\%) = \frac{\text{総訴え数(○と△の総数)}}{\text{項目数} \times \text{延調査人数}} \times 100$$

延調査人数とは、調査期間中出勤した分析対象作業者の延人数で、項目数はTは30、各群は10となる。全体の訴え率で、自覚疲労の程度を測定し、各群ごとの訴え率の順序により、自覚疲労の類型化をはかる。

また、「非常に感じる」の回答を強い訴えと呼ぶ。

調査期間は、調査結果の分析を進めながら決定することにした。「自覚症状しらべ」への回答は、当初2週間は1日4回（就業前、昼食休み前、午後の就業前、就業後）、第3週から第8週は1日2回（就業前、就業後）、その後は1週おきに、第10週、第12週、第14週について1日2回（就業前、就業後）、調査週内のすべての就業日に調査した。第10週程度で過去の調査例と比較しても訴え率が低位となり、さらに第14週まで調査したが、週単位での訴え率の推移は横ばいであると判断し終了した。分析結果の中では、特に断わらない限り、単に訴えという場合は就業後の訴えをさす。

4.6.4. 結果と考察

1) 訴え率の経時変化

(1) 訴え率の経時変化の全体的傾向

自覚疲労の訴え率の全体的傾向を得るため、T、I、II、IIIを週ごとに平均し、両対数グラフ上に表示したのが図4-15である。この図は、自覚疲労の訴え率は、変更直後の第1週をピークとして、指数的に極めて急速に減少することを示す。Tは、第4週以降は10%以下となり、有職の主婦の訴え率と同程度となり[304]、第6週以降は5%以下で無職主婦と並ぶ。第10週以降は数%程度まで低下し、吉竹[304]による過去の250調査例のまとめと比較しても低位に位置

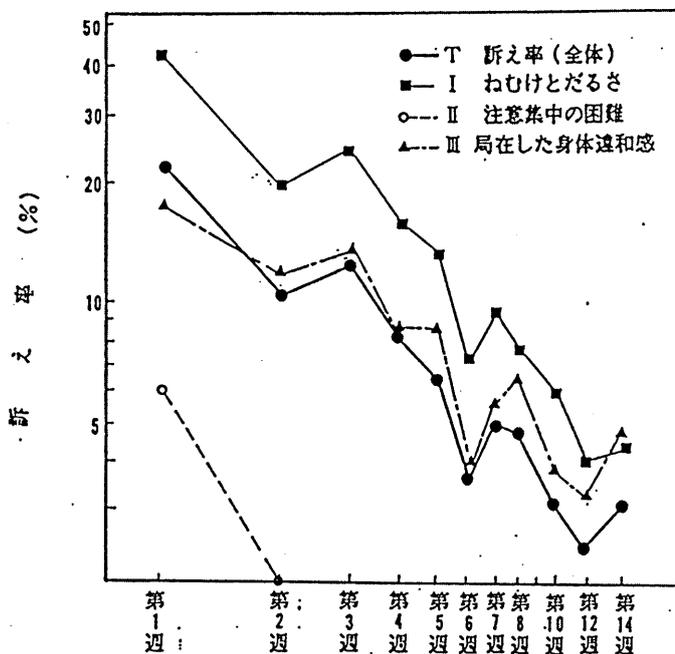


図4-15 訴え率の経時変化(両対数)

するレベルとなる。全体的傾向から、第6週の後半が4連休であったことによるものと考えられる。

訴え率の、週単位での統計上有意な低下が見られなくなる時期を推定するために、各週ごとの訴え率を正規分布に近似させ、訴え率の差の検定を行った[18]。この結果、表4-7に示すごとく、Tでは第10週以降には、相互に有意な訴え率の差を見せる週はなくなる。同様に、Iは第10週、IIIは第7週以降は相互に有意な訴え率差のある週はない。

以上の点から、作業姿勢変更による、自覚疲労の訴え率は、第1週が極めて高いものの、急減し、第10週以降は、週単位で有意な差を見せるような訴え率の低下が終了するものと考えられる。

調査期間中のTの低減傾向について、最小二乗法へ当てはめて、推定式を作成すると

$$T = 22.38W^{-0.8105}$$

T: 全体の訴え率 (%)

W: 姿勢変更後の経過週

が、得られる。

(2) 作業姿勢変更直後の訴え率

日々の就業後の訴え率の経時変化について、T、I、II、IIIについて図4-16に示す。Tは作業姿勢変更後2日目（火曜日）25.5%で最高の値となる。Iは4日目（金曜日）に51.0%、IIは2日目に11.8%、IIIは4日目で21.0%にそれぞれ最高値を示す。前述の吉竹の調査例のまとめと比較しても、上位25%に位置する高い訴え率となる。項目別にみても2日目には「3.足がだるい」は全員が訴え、「2.全身がだるい」、「10.横になりたい」、「23.腰がいたい」、「25.口がかわく」も60%以上の訴え率が見られる。また、一般に訴え率が低いとされるII群でも、「19.きちんとしていられない」、「20.根気がなくなる」は36%の訴え率がみられ極めて高い。Tは4日目に再び高い訴え率を示し、5日目（土曜日）には低下し、次第に減少する。

(3) 強い訴えの経時変化

自覚疲労の訴えのうち、「非常に感じる」と答えた者について、全体、各群ごとの強い訴え率について図4-17に示す。強い訴え率は、

表4-6 訴え率の回帰分析分散分析表

要因	平方和	自由度	分散	分散比
回帰による	4.208	1	4.208	90.68**
回帰からの	0.418	9	0.046	
計	4.626	10		

表4-7 訴え率の週による差の検定
正規近似による片側検定

	第8週	第10週	第12週	第14週
訴え数	73	34	31	49
延調査人数	50	35	42	53
訴え率(%)	4.9	3.2	2.5	3.1
第8週	-	2.02*	3.31**	2.55**
第10週	-	-	1.13	0.23
第12週	-	-	-	-1.00

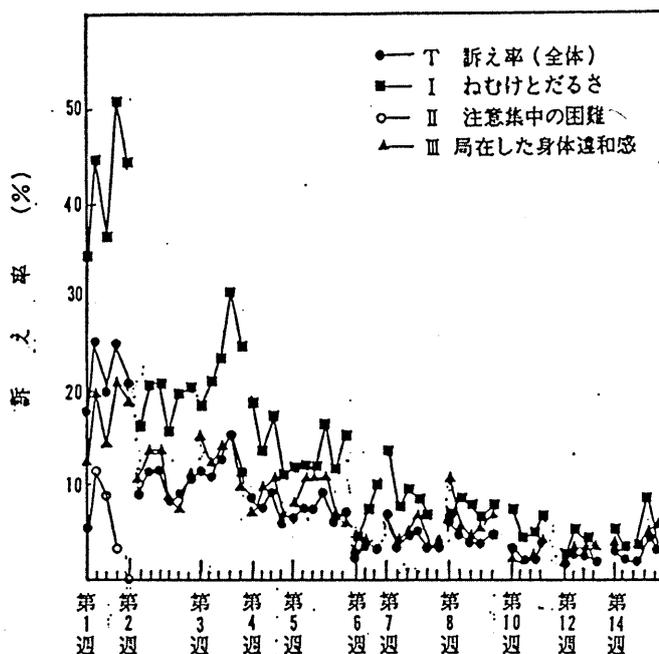


図4-16 訴え率の日別変化

第1週で全体で11.2%、I群24.

1%、II群0.6%、III群9.1%で

あった。自覚疲労の訴えの中で、

強い訴えの占める割合は、全体で

51.4%、I群57.3%、II群9.1%、

III群52.1%となり、I群、III群で

相対的に高く、II群で相対的に低い。

従って、作業姿勢変更によって、

新たな身体部位を使うことによる

だるさと、個々の身体部位への

自覚疲労がより強く感じられる

傾向を示している。第8週以降、

5%以上の強い訴え率を示す項目

は「3.足がだるい」、「22.肩が

こる」、「23.腰がいたい」の3項目で、立位作業によって、新たに利用が強化

された身体部位に対する訴えのみとなるが、20%を越えることはなくなる。

2) 自覚疲労のタイプ

吉竹[304]によれば、I、II、IIIの構成比によって疲労のタイプが類別できる

としている。図4-16によれば、訴えの順序は、第1週は小木[191]の示したI >

> II ≒ IIIで、「精神作業・夜勤型」に近い。これは、作業姿勢の変更にとまな

い、個々の動作を管理下に置く必要が生じ、高い精神活動の維持を強いられる

為であると考えられる。同時に、作業姿勢変更により、その直後は十分仕事が

達成できないことにより、いわゆる「へばり」の状態にあることを示している。

その後は、I > III > IIの順序で、I-dominant型の「一般型」で推移するが、

訴え率の減少する後半の第8週以降は、I ≒ IIIのIII-dominant型を示し、訴え

率の低い「肉体疲労型」となる。作業姿勢変更により作業遂行に自律性を要求

される状態から、次第に習熟し、自覚疲労の訴え率が減少し、最終的には作業

そのものの身体疲労のみで安定すると考えられる。

3) 訴え率の変動

大島[206]の提案した、フリッカー値の指標を、「自覚症状しらべ」に適用し、

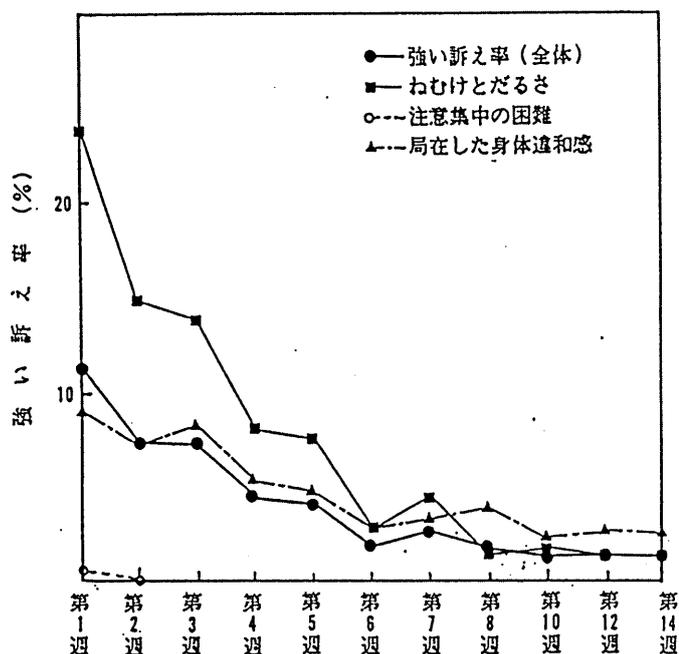


図4-17 強い訴え率の経時変化

吉竹[304]は以下の、2 指標を提案している。

日内変化率 = 週頭の作業後の訴え率 - 週頭の作業前の訴え率

週内変化率 = 週末の作業前の訴え率 - 週頭の作業前の訴え率

日内変化率は、1 日の作業による疲労を、週内変化率は1 週間の作業を行うことによる疲労の蓄積の程度を示すと考えられる。この結果について図4-18に示す。日内変化率は、第1 週で 5.8%と最も高く、作業後、作業前の訴え率の間には有意な差がある。しかし、第2 週は急減し、次第に減少する。

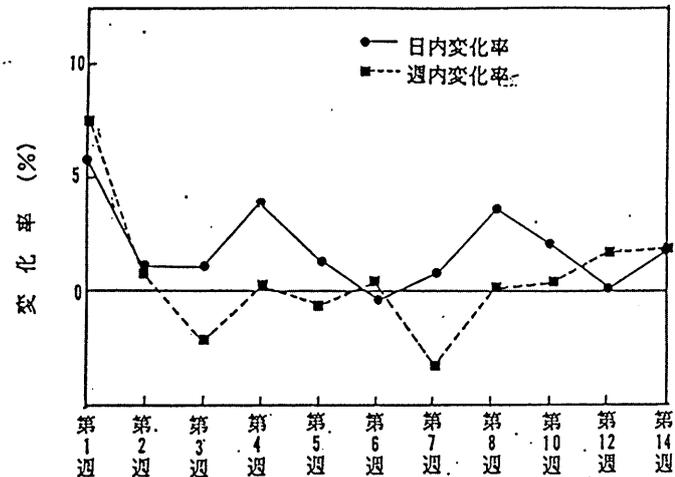


図4-18 訴え率の変動

連休後の第4 週、前週末に土曜出勤のあった第8 週では高い値を示したが有意ではない。週頭にかかわらず、日内変化率を見た場合には、第2 日が15.8%で最も高く、第4 日が12.6%でこれに次ぐが、第2 週以降は 4%を越える日はない。

週内変化率も同様に、第1 週のみが 7.6%と高い値を示し、週頭、週末の作業前の訴え率に有意な差が見られる。しかし、第2 週以降は極めて低く、有意な差を示す週はない。自覚疲労の観点からは、第2 週以降は、1 週間の作業による疲労の蓄積は見られない。

また、各週の曜日による訴え率の差は見られなかった。

4) 項目の経時変化による類似化

各項目からは、その訴え率の経時変化から特色ある3 グループを抽出できる。

第1 のグループは、当初から訴え率が高く後半週までかなりの訴え率が残る項目であり、「3. 足がだるい」、「22. 肩がこる」「23. 腰がいたい」の3 項目である。これらはすべて、椅座位から立位へ姿勢変更したことにより、新たな利用の強化が行われた身体部位への直接的な訴えで、訴え率の低下が終了するまでに10週程度必要である。しかし、いずれの項目も後半週の訴え率は、他の調査例に比しても高い値を示しているとはいえない。

第2 のグループは、当初の訴え率はかなり高いが、第4 週から第8 週にかけ

て訴え率が急減し、あるいは訴えのなくなる項目である。「3. 足がだるい」を除くⅠ群の残りの項目と、Ⅲ群の「25. 口がかわく」の計10項目である。特に、「2. 全身がだるい」、「9. 足もとがたよりない」、「10. 横になりたい」、Ⅲ群の「25. 口がかわく」は、第1週で50%以上の訴え率が見られるが第8週までには訴えが見られなくなる。いずれも、椅座位から、立位への作業姿勢変更により、従来使用

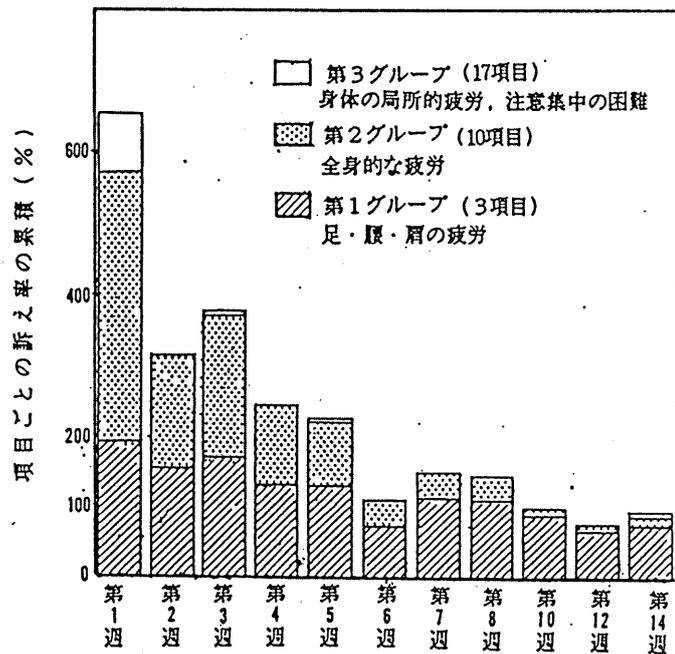


図4-19 減少傾向による各項目のパターン分け

の作業姿勢変更により、従来使用の少なかった身体部位を、新たに使用することに対する全身的な疲労の現れと、適応の過程であると考えられる。

第3のグループは、第1週に訴えを示すが、第2週以降は訴えがなくなるか、ほとんど見られなくなる項目である。第1第2グループに含まれないⅡ群、Ⅲ群の17項目である。特にⅡ群では、「19. きちんとしていられない」、「20. 根気がなくなる」は、第1週で20%前後の訴え率があるが、第2週以降は訴えがなくなる。これは作業姿勢の変更によってもたらされる身体疲労、心理的抵抗が、作業姿勢変更当初、身体の局所的不調感、注意集中の困難として現れるが、極めて速やかに解消されることを示唆するものである。

各グループごとの訴え率の変化について、図4-19に示す。

また、後半週の各項目の訴え率を過去の調査と比較すると、後半週においては、Ⅰ群の「1. 頭がおもい」、「7. 目がつかれる」、Ⅱ群のすべての項目、Ⅲ群の「25. 口がかわく」等は他の調査例に比してかなり訴え率が低く、椅座位に比して、多工程持ちシステム化が、歩行の発生、サイクルタイムの増大、仕事の多様化により、自覚疲労に最終的に好影響をもたらしている可能性も考えられる。

4.6.5. 調査のまとめ

本研究は、従来椅座位で作業を行っていた女子作業者が、多工程持ちシステム採用のため、歩行を伴う立位へ姿勢変更が行なわれた場合に生にずる心理的抵抗、疲労感がどのように現れるかについて、「自覚症状調べ」を用いて、実際の作業者を対象に、14週間にわたり調査し、その傾向を研究した。

その結果、以下の点が明らかとなった。

1) 自覚疲労全体の訴え率は、第1週をピークに急激に減少し、第4週以降は10%以下、第6週以降は5%以下となり、過去の調査例に比較しても低位となる。しかし、作業姿勢変更後の数日は、極めて高い訴え率を示し、強い訴えの占める割合も高い。2) 自覚疲労のタイプは、当初は「精神・夜勤型」に近く、疲労により十分仕事が達成されないことを示すが、以降は「一般型」で推移し、第8週以降は訴え率の低い「肉体疲労型」となる。3) 日内変化率、週内変化率ともに第1週のみが有意な差を示す。自覚疲労からは、第2週以降、1日の作業による疲労の増加、1週間の作業による疲労の蓄積は、直接的には認められない。4) 訴え率の減少の傾向により各項目は3グループに類型化される。まず、急激な疲労による局所的不調感、注意集中の困難を示す項目は1週間程度で急減する。全身的な疲労を示す項目は、4週から8週後にかけて減少し、以降訴えはほとんどなくなる。新たな身体部位の使用により発生する、足、腰、肩に関連する項目は、姿勢変更当初から訴え率が高く、10週程度まで減少傾向が続き、それ以降も訴えが残るが、従来の調査に比して高い訴え率ではなかった。また、後半週では、過去の調査例に比較して、訴え率の低い項目が多くなる。

以上により、作業姿勢変更直後は高い自覚疲労の訴えがみられるものの、極めて速やかに減少し、2ヶ月以内には低位となることがわかった。本研究結果を、作業姿勢変更前に作業員へ提示する事により、作業姿勢変更後の疲労増大に対する懸念の低減に寄与できると考える。

注(1) 自覚疲労調査の文献および調査報告については、吉竹博、斉藤良夫：“疲労感に関する文献展望”、労働の科学、pp.63-77、Vol.25、No.6、(1970)および、吉竹博：“改訂産業疲労”、pp.169-171、労働科学研究所、(1981)にまとめられている。

4.7. 段取替作業の構造と改善方策

4.7.1. 段取替時間短縮の必要性

製品の多様化、少量化が進む一方で、生産設備は高性能化、高額化が進んでいる。このため、同一設備による多回切替生産が行われている。この相反する問題の解決には、4.6.で考察した、多工程持ちシステムの導入による適正能力、抵価格設備の導入が一つの解答となる。これに対して、今日まで主として指向されてきたのは、旧製品用に準備された設備を、新たな製品のために準備しなおす作業、すなわち段取替作業時間の短縮である。一定の段取替時間であれば、ロットサイズ（あるいはバッチサイズ）を増すことにより、製品一単位当りの段取替費用負担は減少し見かけの原価は抵価となる。反面、ロットサイズの増大は、製品個々の平均滞留時間は増大し、保管費用、金利、陳腐化の危険を持つこととなる。今日まで、この両者の均衡を計ることを目的に、EOR（経済的ロットサイズ）についてORの分野で、数多くの研究がなされている。しかし、昭和30年代よりトヨタ自動車の中で、大野氏、新郷氏を中心として、プレスの段取替時間の激的な減少が計れた。EOQの計算で既知一定とされた来た段取時間が、作業システムの面からの改善の可能性が示され、各分野でシングル段取（10分以内の段取替）が目標とされるに至っている。しかし、段取作業時間の短縮は、現在まで経験的方法によってその実現が計られて来た。本節では、段取作業について生産システム構造からとらえ、段取時間の体系的短縮方策について考察する。

4.7.2. 段取替作業の定義

段取替とは、一般的に生産準備のために行われる諸活動を指す言葉として用いられる。しかし、品種切替のみを指す場合から、始業点検あるいは部品補給までとかなりあいまいな範囲で用いられている。生産管理における理論家および、実際の改善活動を指導してきた諸氏のうち、新郷[241]、関根[235]、熊谷[98]、並木[171]、村松[27]、古川[27]、秋庭[239]について、段取替の示す範囲についてまとめたのが、表4-9である。

表4-9 段取替の範囲

	用 語	準備・後始末			保 守 定期的	工 程 変 更
		加工品給 供	始業・ 終業	品 種 切 替		
新郷	段取(段取替)作業			○		
関根	段取替(二段取)		○	○	○	
熊谷	品種切替			○		
並木	段 取			○		
村松	段 取 替			○		
古川	段取替作業			○		○
秋庭	段取・後始末	△*		○	○	

これらの中で共通するのは、品種切替である。また、一般的に、品種切替に伴い行われる予防保全的な“保守”はこれと密接な関係があり、同時に行われるのが望ましい。

以上の点より、段取替作業を「工程において、生産品種の変更に伴って発生する生産システムの変換を行う作業。即ち、前後品種の生産対象体（製品、原材料、歩留物）、物的生産手段（刃具、型、工具、治具、各種の設定条件、加工情報）、人的生産手段（技能者、加工手順）の後始末と準備に関する作業。」と定義する。

4.7.3. 段取替のなりたち

段取替とは、「前品種用に用意された生産設備を、次品種の生産が可能となるように変換する」行為であり、ある工程の価値条件を変換させる行為であって、生産システムと同様の構造をもっていると考えられる。

段取替において変換の対象となるものはある工程における生産システムである。前製品をつくるための生産システム（入側）が、次製品をつくるための生産システム（出側）に変換される。その時の出側の価値条件は、次製品をどれだけの精度で生産できるか(Q)、次製品の生産が可能となった時期の適切さ(D)という効用と、それらを実現するために要する費用(C)である。ここで、具体

的に段取替の対象となるのは、段取替が行われる生産システムの生産システム要素、すなわち生産対象体、生産設備（物的生産手段）、労働（人的生産手段）の3点である。それぞれに対して

- ・生産対象体：前品種用の生産対象体を取り除き、次品種用の原材料を設置する。

- ・生産設備：前品種を加工するために設定された生産設備の機構を次品種用に変更する。

- ・労働：前品種を加工する技能、情報を備えた労働を、次品種の加工が可能ないように変換する。

の変換がなされる。これら段取替によって変換をうける対象となる生産システム要素を以降、段取替対象体と呼ぶことにする。

4.7.4. 段取替の評価

生産システムの評価は一般的に、加工の精度(Q)、生産能力(D)（加工を行う速さ）、および加工に要する費用(C)で与えられる。加工の精度は生産与件として与えられるため、生産能力と加工に要する費用が生産システムの性能を評価する尺度となる。同様に、段取替に関してもその性能は、段取替によって前品種用の生産システムが次品種用の生産システムに切り替わる速さ、すなわち段取替による機械停止時間と、段取替に要する費用で評価されるべきである。しかし、従来は段取替作業の改善は前者の機械停止時間（新郷氏のいういわゆる“内段取り”）の短縮のみに目がむけられ、段取替に要する費用（段取替専門の間接作業者の適正人員問題など生産システム全体の問題も含めて）をどう減少するかについては十分考慮されていない。また、改善を行うにあたって通常の生産活動に適用されるような作業研究の手法を用いて作業を分析し、改善方策を明らかにすることもあまり行われていない。

そこで本節では、段取替の生産損失への影響度の尺度とし

- 1) 段取替による生産中断時間（時期）の段取替のために作業システムの生産活動が中断される時間、一般に機械停止時間と呼ばれる時間と、段取替を行うのに必要なコストの尺度としての、

- 2) 段取替に要する工数（費用）

段取替を行うために必要な総工数、即ち段取替を行った時間に、作業者の人数をかけたものを段取替作業の評価尺度とし、作業システム構造から、この改善手順について示す。

4.7.5. 段取替時間短縮の方策

前説において段取替時間短縮は、1)段取替時間(費用)の減少と、2)段取替中断時間の両者により評価されること考察した。前者のために行われてきた主たる試みは以下の3点にまとめられる。

1)VA/VE, GT, CAD等により生産対象および加工の標準化によって、段取替の不用化や、程度の減少を計る。

2)製造品種の生産順序や機械への割りつけを適正化し全体としての段取替時間を減少される。

3)適当な目的関数を導入することによって、経済的ロットサイズ(E O Q)を決定し、全体的費用を減少する。

後者は、新郷[243]、関根[235]の紹介をまとめるならば

1)外段取、内段取の分離と外段取化する。

2)仲介治具等の採用による標準化により調整を不用化する。

3)内段取のクルー作業化、標準化により時間短縮を計る。

の3点に収約されると考えられる。

しかし、両者とも一定の成果をあげたものの段取替を作業システムとしてとらえ全体的抵減による根本的改善であるとは言えない。次節以降では、この観点よりの段取替改善の基本的方策について考察する。

4.7.6. 段取替作業のタイプ

1)段取替作業の発生構造

段取替作業は、これを作業システム構造からとらえた場合、機械化レベルの進展に伴い発生箇所が増大する。これを熊谷[241]の機械化レベルと対応して考えるならば、表4-10にまとめられる。

表4-10 機械化による段取替発生箇所の増加

機械化 レベル 発生(例) 部位		手作業	第1次 機械化 (普通 旋盤)	第2次 機械化 (ならい 旋盤)	第3次 機械化 (自動単 発プレス)	より高度な 機械化 (FNS)
準備・ 後始末						始動情報 の変更
取付・ 取外	搬入 搬出				材料送り 幅変更	自動ワーク変更 装置の変換
	材料 保持		チャック の変換	同 左	材料押さ え交換	ワーク保持 パレットの変換
操 作				ならい模 型の交換	ダイハ ット 変更	工具送り幅 の変更
主加工		工具の 取り換え	刃具の 交換	同 左	金型の 交換	自動工具交換 装置の交換
検 査						不良品処理 機能の変換
保 守						工具損耗検知 機能の変換

2)変換の種類による分類

段取替の変換の種類は生産対象体の段取替は、一般的に前品種用の生産対象体もしくはその容器を移動する位置変換が主である。

①物的生産手段の段取替は、刃具・型の取り換え、材料送り幅の変更にみられる加工変換型②組付け工程で用いる工具の変換加工品の検査に用いる器具の交換などの位置変換型③NCテープの読み込みなど段取替は情報が入替のみで設備の物理的な機構の変換は何ら発生しない情報変換型に区分される。これに対して人的生産手段の場合は、一人の作業者が持つ能力を加工変換により変更することは不可能である。従って情報変換型のみである。

また、管理活動に関する段取替は、各種管理に使用する書類を単に入れ替えるだけの位置変換型、もしくは次品種の管理性能切り替える情報変換型の段取替に区分できる。

表4-11 変換の種類による作業構成

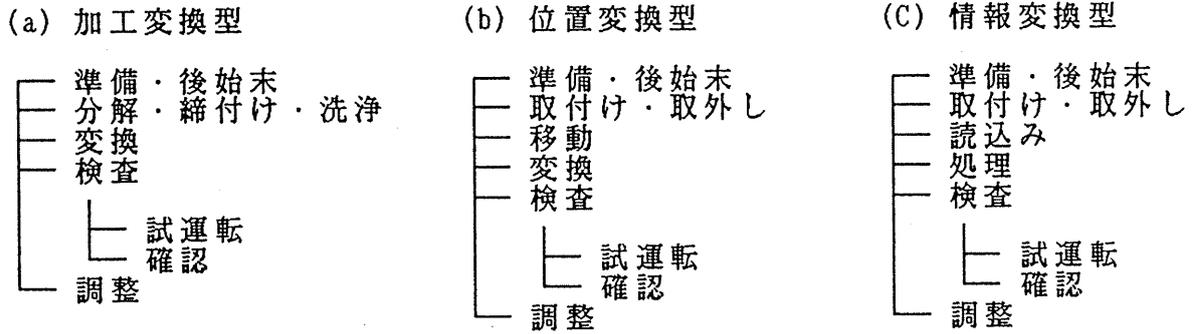


表4-12 変換の種類による発生部位

変換の種類による分類		段取替対象体による分類	段取替の発生部位による分類
加工変換型	位置変換型	生産対象体	原材料
			加工完了品
			スクラップ
	情報変換型	物的生産手段	準備・後始末
			搬入・搬出・洗浄
			(加工品)保持
			操作
			主加工
			検査
			保守
	人的生産手段	直接作業者	
	管理活動	管理用具	

4.7.7. 段取替作業の改善方策

段取替作業を作業システム構造よりとられた場合、以下の手順によって改善がなされる。

- 1) 段取替作業改善重点箇所の重点化
- 2) 作業発生箇所の集中化
- 3) 各発生箇所での作業時間の短縮

以下では、この手順について述べる。

1) 段取替作業改善箇所の重点化

段取替作業の改善方策を設定し、その目標を定めるにあたって、段取替作業の発生箇所別の作業発生点数と要素動作の平均時間によってその方策を決定する。

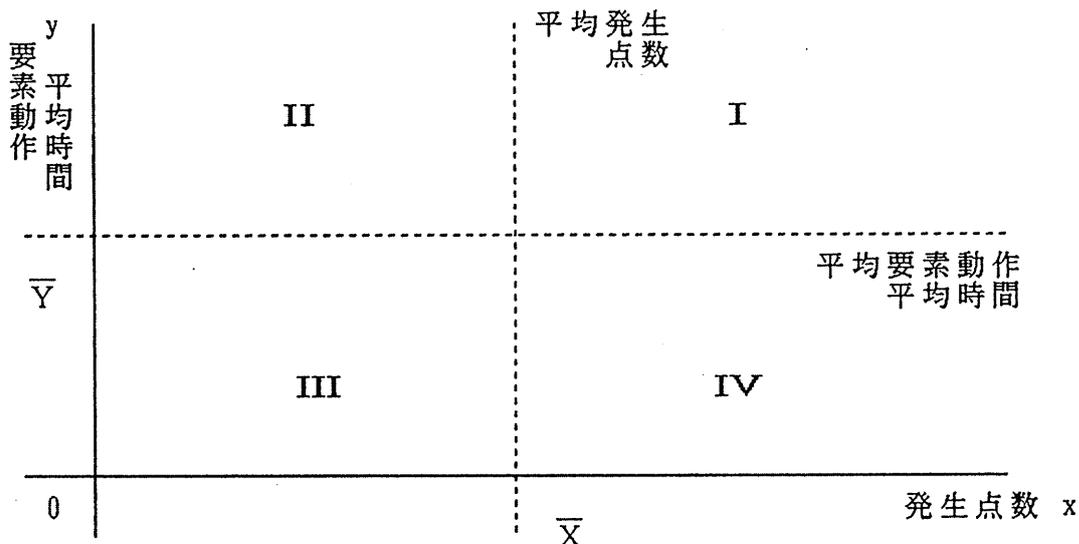


図4-20 段取替作業改善箇所の発見チャート

I に関しては、動作の単純化と動作数を減らす方向で改善を考える。

(I → III)

II に関しては、動作を単純化する方向で改善を行う。(II → III)

III に関しては、動作そのものをなくす方向で改善を考える。

IV に関しては、発生点を集めて、動作数を減らす方向で改善を行う。

(IV → III)

発生箇所による改善では、問題点を掌握し、改善方向を案出する点で、大きな意味をもつ。

2) 段取替作業内容および動作内容による分類と改善方策

段取替の作業内容と改善方策について表4-13、および、動作内容による作業内容の分類と改善方策について、表4-14にまとめて示す。それぞれの区分によって分析を行うことにより、段取替作業改善の重点と方策が決定できる。

表4-13 段取替作業の作業内容と改善方策

	活動内容	改善方策
1. 準備・後始末	交換部品、工具、材料などの準備・後始末	作業システム外からの運搬の排除、内段取の外段取への転化
2. 分解・締付	締付部分を緩めたり、固定したりする作業	微妙な定置・離脱作業の排除、複数の動作を要する場合の単純化
3. 変換	部品、材料の交換、基準の変更	移動の排除
4. 検査	基準とのズレの有無を見つける作業	確認作業の単純化、付随作業の排除
5. 調整	基準とのズレを修正する作業	調整の排除
6. 保守	段取替作業中に設備の保守が発生することがある	外段取への転化

4.7.8. 段取替作業改善事例

1) 対象とした設備および分析方法

研究対象とした設備は、T社の220トンの樹脂射出成形機である。金型が横方向に開閉する横型プレス機であり、昭和58年製の比較的新しいタイプである。段取替作業は、1日2-3回発生し、一般的には、金型交換、洗浄、材料の入れ替えの手順で行われる。

分析は、段取替作業をVTRに撮影し、要素動作単位に作業測定を行った。この結果から、活動内容、発生箇所、人の動きの3面より分析を行い、12.7で示した手順により改善を実施した。

活動内容の分析結果、変換作業の占める割合が70%でもっとも多く、この内、金型交換30%、材料交換54%、基準設定17%であった。また、付随作業は、分解・締め付けが10%、検査8%であった。この結果、変換作業を重点に改善を進めた。発生箇所の分析結果から、材料交換に4%とかなりの時間が必要とされていた。これは、ノズルの残材処理、洗浄、注入に時間が必要とされていることによる。さらに、発生点数による分析も同時に行った結果、スクリュウ圧等の、射出条件設定作業とページ作業は、占有時間が大きく、かつ発生点数も

析によれば、スクリー位置等の設定作業とパージ作業の細かい繰り返しが発生し、発生点数の増加をもたらしたい

2) 改善案

各箇所、設備の停止が必要なものと、不必要であるものを分類し、外段取り化、および動作を不必要とする改善（例えば、不用なカバー等をなくす）によって、改善案を考えた。この結果による改善効果は、16.5%であった。

人の動きによる改善は、無動作の排除と、重複した移動の排除が中心となった。

さらに、金型交換に必要な金型移動が、従来1本吊りクレーンで行われていたため、移動時間が極めて多く必要であったので、2本吊りクレーンへ変更する。これにより、9.9%改善された。また、パージ作業は機械化が容易に可能であるので、自動パージとし、金型交換と並列化する。これにより17.6%改善された。

以上の改善の効果について、図4-21および図4-22に示す。

また、同様に作業者の移動の減少効果を見るため、

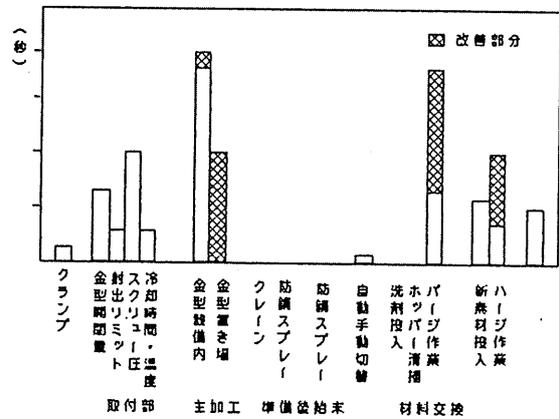


図 4-22 動作時間の減少による改善 (T社 の例)

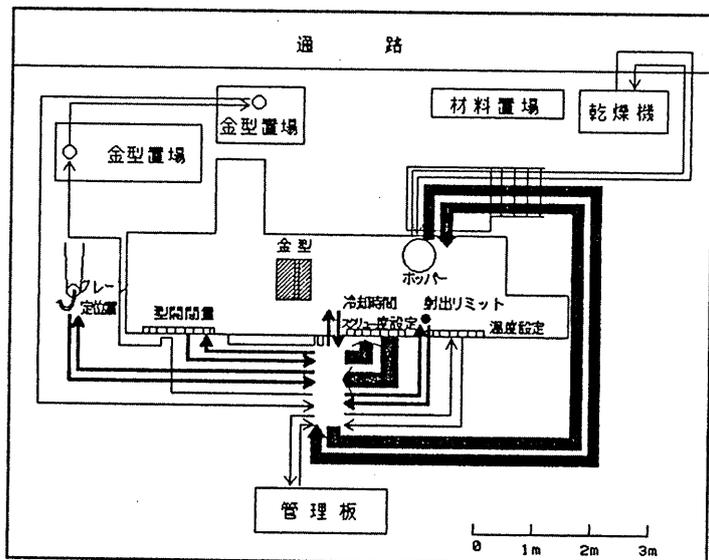
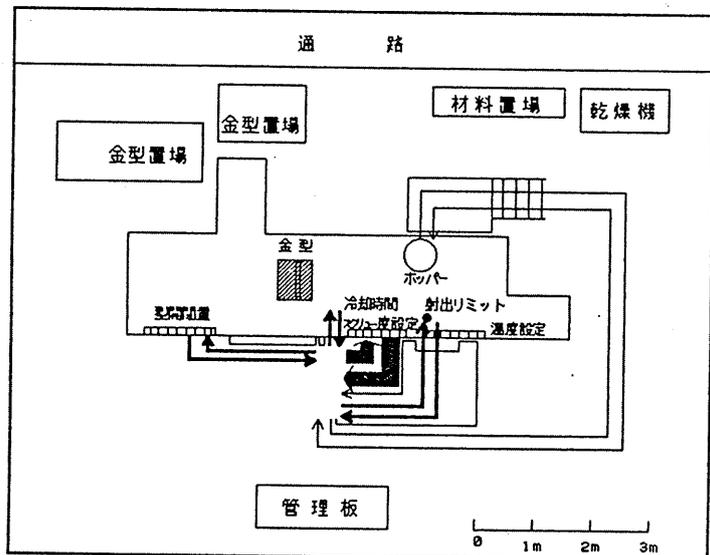


図 4-23 作業者フローチャート (改善前)



改善前、改善後の作業者フ

図 4-24 作業者フローチャート (改善後)

ローチャートを図4-23、図4-24に示す。

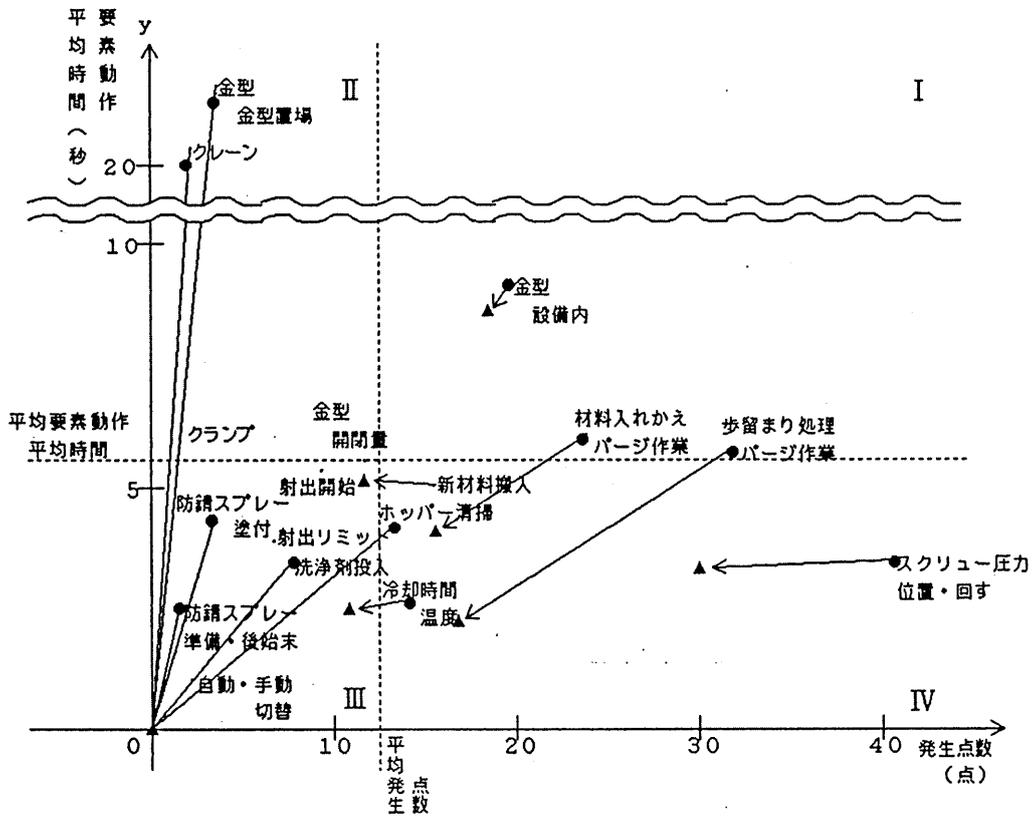


図 4-25 改善の効果 (●改善前, ▲改善後)

全体の、改善効果を把握するために、段取替作業の改善チャートに従って、個々の、作業発生箇所について図4-25に示す。

この結果、全体の改善効果は、68.9%となった。この時点で、所用時間の50%程度が、金型交換となっているので、さらに金型の搬入口、搬出口が同一であるので、これを区別すればさらに改善が期待できる。

結 論

本論文は、生産システムの設計と管理において、原価、品質とならぶ重要な課題である生産期間について、その構造、短縮の効果、短縮方策について研究を行ったものである。

企業経営は、一定以上の経営資本利益率を継続的に得ることを目標としている。経営資本利益率は、一般に、売上高利益率と経営資本回転率の積の構造として与えられる。売上高利益率とは、製品性能の社会的評価と製品原価の差によって得られるものであり、生産システムに課せられる責任は、原価低減である。これに対して、経営資本回転率とは、消費者の要望に対して、迅速に製品あるいはサービスを供給することであり、生産システムの責任は生産期間の短縮である。従って、生産システムの設計・運営では、原価低減および生産期間短縮が、同等の重みを持つ課題としてとらえられるべき必要がある。

今世紀の始めに、T型フォードの開発と同時に考案されたフォードシステムは、総合的同時化の基本思想によって、原価低減、生産期間短縮を調和的に解決・達成したものであると位置づけられる。

その後の、消費の拡大、多様な製品の要求は、部分の標準化による多種大量生産体制を生みだした。この体制のもとで、各部分は、高性能、高速でかつ大規模な設備の利用により、原価低減、短生産期間を実現したかに見えた。しかしながら、社会的情勢、消費動向は常に変化し、消費者が、より個性的、多様な製品を求める高度消費社会では、生産は速やかな消費を保障されず、消費者の要求に基づかない見込み生産を前提とした、多種大量生産は、生産速度は高速となったが、生産期間の増大をまねくことになった。

このように重要な意義を持つ生産期間であるが、過去、生産期間の構造を明示し、分析方法、評価方法について、体系的に考察した文献は見られない。高度成長時代においては、生産の大規模化による原価低減効果が圧倒的であったためであると考えられる。

本研究では、第一に生産期間の構造について考察し、工程構造を持つものであることを示した。その上で、生産期間とは工程内の物品の移動速度であると定義した。

生産期間短縮の最大の効果は、経営資本回転率の向上にある。経営財務資料による分析の結果では、近年、各業種、企業とも、企業競争の激化のため売上高利益率を低下させながら、一定の経営資本利益率の維持のため、経営資本回転率を向上させていることが明かとなった。さらに、経営資本回転率に影響を与える要因について分析を行った結果、いずれにおいても生産期間が50%以上の影響度を与えていることがわかった。同時に、経営資本回転率と各要因間の構造式を設定し、生産期間が短縮された場合、経営資本回転率がいかに向上するかを定量的に明かとした。さらに、生産期間の短縮は、市場対応力の向上、生産面積の有効利用等の効果を持つことを示した。反面、生産期間を増大させる要因は、消費の多様化、製品のライフサイクルの短命化への対応に必要な生産の小ロット化への設備の切替性能や、各種の変動、生産システムトラブルへの対応性能が不十分であるために生じていることを示した。

生産システムは、管理、工程、作業の3システムからなる構造を持っている。従って、生産期間短縮は、この3者の統合化、あるいは各システムの向上によってなされる。

現代を代表生産システムは、合衆国で考案され、広く利用されているMRPと、戦後、わが国で開発され利用の展開が進んでいるトヨタ生産方式（JIT：ジャスト・イン・タイム）である。MRPは、従来の多種大量生産を前提に、EDPによる管理の合理化を図ったシステムであって、今日の多種少量生産化のもとでは、管理の急激な複雑化、管理費用の増大化を免れない。これに対して、トヨタ自動車工業㈱の大野氏を中心に開発されたトヨタ生産方式は、開発当初から、顧客需要に応じた多品種少量生産を目標として、生産現場において展開が進められたシステムであって、今日、その有効性が広く認められている。しかし、現在まで、個々の事例、開発の経緯に対する紹介はみられても、トヨタ生産方式を体系化し、その方法論、効果について明示したものは見られなかった。本研究では、フィールドワークによる調査の結果、トヨタ生産方式の特色は、1) 工程内物流量の制限、2) 生産順序の明確化と整流化、3) タクトタイムによる生産、4) 部品と組立対象品との同時化にあることを示した。従って、トヨタ生産方式の中心を成す手法は、工程内物流量の制限法と、生産順序の決定法にある。工程内物流量の制限法は、部品生産期間と、工程内リードタイム

の関連によって決定され、その代表がかんばん方式である。本論文では、このかんばん方式の構造を明確にし、かんばん枚数の決定法について考察した。また、同様に生産順序の決定については、平準化と、投入順序決定法について検討した。さらに、トヨタ生産方式の有効性と、普及の程度を検証するために、国内においては質問紙とフィールドワーク、海外についてはレビューによって調査を行った。質問紙による調査（回収158社）の結果、トヨタ生産方式は40%以上の企業で採用されており、仕掛量の低減、製造時間の短縮に効果をあげていることを明らかにした。フィールドワークの結果でも、トヨタ生産方式導入後、生産期間は急激に短縮され、約1年で1/2へ、1.5年後には1/4へ減少していることを示した。また、トヨタ生産方式は、国内のみでなく欧米でも注目をされており、合衆国では大企業の90%近くが、採用しているか、採用を検討中であり、在庫削減、リードタイム短縮等に多様な効果をあげていることが明らかになった。しかしながら、文化的抵抗により、導入は容易ではない。

さらに、トヨタ生産方式の他産業への展開としてNPS方式が注目された。NPSは、会員組織で利用が図られているため、従来、ほとんど研究公表された資料はなかった。一年以上にわたるフィールドワークの結果、NPSは、トヨタ生産方式の発展型であって、より個別的生産を徹底したシステムであった。NPSは、生産順序の管理、工程内滞留の減少と一定化を目的としたいくつかの技法によってなっている。NPSの効果は劇的で、会員企業のほとんどは、生産期間の短縮によって工程内停滞を一掃し、売上高の増加の有無に関わらず、経営資本回転率、売上高利益率を向上させていることが明かとなった。

生産期間は、その調査分析は、工程構造からなされる。本研究では、内外の文献レビューから生産期間調査法を整理し、実際いくつかの企業で調査を実施した。この結果、生産期間の大部分は停滞であることを示した。また、生産対象の工程内での移動速度も安定しておらず分布を見せる場合が多く、工程内移動の整流化が不十分である企業が多い。生産期間の評価は、本論文で検討した生産期間倍数が有効であった。生産期間の中心を成すのが加工時間である。各要素を、加工時間との比でとらえることにより明確な評価が可能となる。さらに、工程間の生産期間からの有効性のレベルは、工程間の連結の程度によって5段階に分けて評価する方法が有効であった。

工程設計上、生産期間短縮のためには多工程持ちシステムが極めて有効であることがわかった。多工程持ちシステムは、設備が加工順に配置され、作業者が複数工程を歩行移動しながら作業を行う方式である。この方式の利用によって、仕掛品は、工程内を一定の計画に従い、順序を乱すことなく移動することができ、最短の生産期間を実現することが可能になる。多工程持ちシステムは、フィールドワークおよびシミュレータを作成し、シミュレーションを実施した結果では、生産期間短縮のみでなく、ラインバランスの向上、管理精度の向上等の効果を同時に持つことが明かとなった。

しかし、多工程持ちシステムはいくつかの問題であると考えられる点が指摘された。最大の問題は歩行を伴う立位作業を必要とする点である。歩行を伴う立位作業では、1) 作業能率が椅子座位と同様に得られるか、2) 身体的影響はないか、3) 椅子座位から立位への変更時に疲労の問題はないか、の各点である。さらに、頻繁に製品切替が起こることによるラインバランス設計の困難化である。

本研究では、作業能率の問題については、実験により検討を行った。この結果、立位作業は、椅子座位作業と比較して、作業能率上の問題点は少なく、立位作業化により、部品配置域が広くとれる等の利点があることが明かとなった。また、身体的影響については、T社で約1000名の従業員について調査した結果、身体的好影響があることが示された。さらに、作業姿勢変更による疲労の問題については、A社作業者を対象に作業姿勢変更後14週間にわたる調査の結果、変更当初は訴えが高いものの急減し、10週以内には低下、安定することが明かとなった。

また、ラインバランス設定については、いくつかのラインバランス手法をシミュレーションによって比較検討することによって、パソコンレベルであっても、充分効果的なラインバランス結果の得られるヒューリスティックな方法を提案した。

以上、本論文の研究の結果、企業経営に重要な位置を占める生産期間課題について、生産期間の構造、短縮の効果、短縮方策、その問題点と対策が、体系的に明かとなった。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり、研究の当初より終始一貫して、ご指導とご助言、ご鞭撻を賜った名古屋工業大学生産システム工学科熊谷智徳教授に深甚の謝意を表します。本論文の完結に当たり、有益なご指導とご助言を賜った名古屋工業大学生産システム工学科大野勝久教授に深く感謝いたします。

名古屋工業大学生産システム工学科の各先生には、公私に渡りご助力をいただきました。山本勝教授、塹江清志助教授には、終始激奨いただきました。また、仁科健先生には、統計的分析法についてご助言をいただきました。本論文の4.4、4.6については、東海大学工学部経営工学科加藤貞夫助教授のご指導とご助言を受けました。ここに感謝の意を表します。

フィールドワークでは、(株)M I PのN P S研究会およびその会員会社、アイホン(株)、小島プレス工業(株)、寿屋フロンテ(株)、シンガポール(株)、大豊工業(株)、(株)東海理化電機製作所、リコー光学(株)、総合体力研究所の各社に、長期にわたり調査にご協力いただきました。また、質問紙調査では各社から貴重な資料を提供いただきました。ここに記して、感謝といたします。

参考文献

- [1] アイシン精機トヨタ生産方式研究会：“品質至上の経営理念でトヨタ生産方式を展開するアイシン精機”，工場管理，Vol. 31, No. 5, pp. 78-86, (1985)
- [2] 秋庭雅夫：“インダストリアルエンジニアリング”，日科技連，p. 59, (1978)
- [3] 天谷章吾：“日本自動車工業の史的展開”，亜紀書房，pp. 52-75, (1982)
- [4] American Manegement Association: “MANEGEMENT HANDBOOK(2ed.)”，American Manegement Assocation, pp. 4, 82-4, 95
- [5] ARBANAS, W. J.: “Quarity Circles-Why They Work and They Do Not Work”，Transaction of American Nuclear Society, 41th, pp. 434-435, (1982)
- [6] 有田進次：“準標準生産の仕掛け減少に及ぼす効果—その一考察”，工場管理「トヨタ生産方式実践ハンドブック」，pp. 109-115, (1978)
- [7] BARNES, R. M.: “Motion and Time Study”，Jon Willy & Sons Inc., pp. 202-205, (1980)
- [8] BHATHNAGER, V. and DURRY, C. G.: “Posture, Postural Discomfort, and Performance”，HUMAN FACTORS, Vol. 27, No. 2, pp. 189-199, (1985)
- [9] BITRANG, R. and CHANG, L.: “A MATEMATICAL PROGRAMING APPROACH TO A DETERMINISTIC KANBAN SYSTEM”，MANAGEMENT SCIENCE, Vol. 33, No. 4, pp. 427-441, (1987)
- [10] BOCKER, H. and EVARD, K.: “The Quality Circles—a Challenge to Management to Meet the”，Zfb 52. Jg., pp. 1053-1078, (1982)
- [11] CELLY, A. F.: “Implimantaion of JIT in the United States”，J. Purchasing and Materials Mabagement, Vol. 22, pp. 9-15, (1986)
- [12] CHAPMAN, S. N.: “Japanese Manufacturing System:Implications to the Organizati”，Proc. A cad. Mange., 44th, pp. 300-304, (1984)
- [13] 中央労働災害防止協会：“中高年労働者体力測定の評価”，中央労働災害防止協会, (1974)
- [14] CRAFORD, K. M., BLACKSTONE, J. H. and Jr, COX: “A Study of JIT implemition and operating problems”，INT. J. PROD. RES, Vol. 26, No. 9, pp. 1561-1568, (1988)
- [15] CROSBY, L. B.: “THEJUST-IN-TIME MANUFACTURING PROCESS”，PRODUCTION AND INVENTORY MANAG EMENT, Vol. 25, No. 4, pp. 21-34, (1984)
- [16] DAVID, W. J. and STUBITZ, S. J.: “Configuring a Kanban system using a discrete optimizin g”，INT. J. PROD. RES., Vol. 25, No. 5, pp. 721-740, (1987)
- [17] 遠藤健児, 熊谷智徳：“作業測定 増補第3版”，金原出版, pp. 265-292, pp. 323-333, (1972)
- [18] 遠藤健児：“工程管理”，丸善, (1977)
- [19] 遠藤健児：“感じと真実—トヨタ生産方式”，工場管理「トヨタ生産方式実践ハンドブック」，p p. 141-145, (1978)
- [20] 遠藤健児：“生産管理チェック・ポイント50”，日本経済新聞社, (1980)
- [21] 遠藤幸男：“週休2日制の効果とすごし方”，労働の科学, Vol. 26, No. 6, pp. 15-21, (1971)
- [22] ESPARRAGO, R. A.: “KANBAN”，PRODUCTION AND INVENTORY MANAGEMENT 1st QUARTER, pp. 6-10, (1 988)
- [23] FINCH, B.: “JAPANESE MANAGEMENT TECHIQUES IN SMALL MANUFACTURING CAMPANY”，PRODUCTION AND INVENTORY MANAGEMENT, Vol. 27, No. 3, pp. 30-38, (1986)
- [24] ヘンリーフォード（稲葉監訳）：“フォード経営”，東洋経済新報社, pp. 135-148, (1978)
- [25] 藤田彰久：“トヨタ生産方式の功罪”，工場管理「トヨタ生産方式実践ハンドブック」，pp. 120-124, (1978)
- [26] 福永良晴：“多品種少量生産における工程管理”，地人書館, (1969)
- [27] 古川光：“生産工学”，森北出版, pp. 68, (1976)
- [28] R. デーブ ガーウッド：“カンバン方式VSMRP”，工場管理, Vol. 30, No. 7, pp. 85-95, (1984)
- [29] R. デーブ ガーウッド：“ジャスト・イン・タイム、MRP II、かんばん方式の違いと共通”，工場管理, Vol. 31, No. 31, pp. 55-60, (1985)
- [30] ウォルター E. ゴダード：“MPR・MPR IIの導入と展望”，工場管理, Vol. 32, No. 5, pp. 59-68, (1985)

- [31] GODDARD, W. G. : "Reducing those lead time", MODERN MATERIALS HANDLING, Vol. 42, No. 12, p. 27, (1987)
- [32] GROUT, J. R. : "MULTIPLE OPERATION LOT SIZEING IN A JUST-IN-TIME ENVIRONMENT", PRODUCTION AND INVENTORY MANAGEMENT, Vol. 28, No. 2, pp. 23-27, (1987)
- [33] GUPTA, Y. P. and GUPTA, M. C. : "A system dynamics model for a multi-stage multi-line dual-card JIT", INT. J. PROD. RES., Vol. 27, No. 2, pp. 309-352, (1989)
- [34] 浜田啓一: "製麻工場婦人労務者の疲労調査報告", 労働科学, Vol. 31, 1955, pp. 240-241, (1955)
- [35] 長谷川徹也, 神代雅晴, 三上行生: "職種差に伴う姿勢の変化と作業負担", 姿勢研究, Vol. 6, No. 2, pp. 125-131, (1986)
- [36] HAYYA, J. C. : "REDUCING INVENTORY UNCERTAINTY", PRODUCTION AND INVENTORY MANAGEMENT, Vol. 128, No. 2, pp. 43-49, (1987)
- [37] 東野寿: "販売に生産を追従させるトヨタ生産方式", 工場管理「トヨタ生産方式実践ハンドブック」, pp. 131-134, (1978)
- [38] 樋口伸吾: "労働者の生活感情に関する研究", 労働科学, Vol. 26, pp. 202-207, (1950)
- [39] 平木秀作: "ラインバランシングの概念と手法", J I M Aラインバランシングに関する手法発表資料, (1973)
- [40] 平沢彌一郎, 山内公雄, 渡辺功: "作業員の訴える諸症状からみた工場疲労研究", 体育学研究, No. 5, pp. 100-105, (1961)
- [41] 人見勝人: "トヨタ生産方式に関する一考察", 工場管理「トヨタ生産方式実践ハンドブック」, pp. 116-119, (1978)
- [42] 堀内栄一: "中小企業の生産管理マネジメント新書39", 日本能率協会, pp. 175-178, (1964)
- [43] 堀内英一: "実戦・中小企業の生産管理", 日本能率協会, pp. 162-177, (1978)
- [44] 伊吹山太郎, 鈴木光子: "疲労の自覚症状と情意不安との関係について", 労働科学, pp. 784-789
- [45] 市川真澄, 高田和之, 渡辺興作, 他: "心拍周期変動からみた長時間立位時の生体反応", 日本人間工学会誌特別号, pp. 70-71, (1986)
- [46] 井戸正敏, 加藤貞夫: "ポジショニング条件による両手作業時間特性の研究", 日本経営工学会秋期研究発表会予稿集, pp. 4-5, (1980)
- [47] 井戸正敏, 加藤貞夫: "動作時間特性の研究", 昭和56年度日本経営工学会秋期研究発表会予稿集, pp. 32-33, (1981)
- [48] 井戸正敏, 加藤貞夫: "作業域における両手同時対称作業の時間特性の研究", 日本経営工学会誌, Vol. 34, No. 2, pp. 97-103, (1983)
- [49] 井戸正敏, 加藤貞夫: "定置動作の構造と時間の研究", 昭和60年度日本経営工学会春期研究発表会予稿集, pp. 43-44, (1985)
- [50] 飯島正樹, 熊澤光正, 白井敏明: "工程編成へのパソコンの適用", I Eレビュー, Vol. 24, No. 5, pp. 205-290, (1983)
- [51] 飯塚鉄雄: "あなたは何歳か", 青春出版者, (1980)
- [52] 五十川嗣起: "成熟市場の多品種少ロット需要に適応した生産システムの基本設計", 昭和62年度名古屋工業大学修士論文, (1987)
- [53] 池田良夫: "米国でブームの「ジャスト・イン・タイム生産」事情", 工場管理, Vol. 31, No. 31, pp. 29-41, (1985)
- [54] 池田良夫: "NUMMIの第一線監督者がみたトヨタ生産方式の現場", 工場管理, Vol. 31, No. 5, pp. 22-28, (1985)
- [55] 池澤辰夫, 近藤良夫, 原田明, 他: "日本の全社的品質管理の特徴", 品質管理, Vol. 38, No. 9, pp. 1216-1219
- [56] 今居謹吾: "ライフサイクルの理論と実際", 日本能率協会, pp. 79-91, (1980)
- [57] IMAI, M. : "KAIZEN", RANDOM HOUSE, (1986)
- [58] 今井亘: "日本電装におけるトヨタ生産方式の広がり", 工場管理, Vol. 31, No. 5, pp. 69-77, (1985)
- [59] 稲葉ナミ: "高校生の自覚疲労の季節差について", 労働科学, Vol. 45, No. 2, pp. 77-84, (1969)
- [60] 稲葉ナミ: "東京山手地区の主婦の生活時間と自覚症状", 労働科学, Vol. 45, No. 2, pp. 69-75, (1969)

969)

- [61] 地代憲弘：“日本的経営の変化と生産システム”，産業の能率, pp. 6-10, (1986)
- [62] JOHNSTON, S. K. : “JIT:MAXIMIZING ITS SUCCESS POTENTIAL”, PRODUCTION AND INVENTORY MANAGEMENT J. 1st Q 1989, pp. 82-86, (1989)
- [63] 影山き一：“現代自動車産業論”，多賀出版, (1980)
- [64] 梶原一明：“トヨタ高収益構造の解明”，産業能率大学出版部, (1977)
- [65] 金森久雄（編）：“有斐閣経済辞典（新版）”，有斐閣, p. 400, p. 641, (1986)
- [66] 金沢孝：“両手の同時作業と交互作用に関する作業域の研究”，人間工学, Vol. 15, No. 3, pp. 151-161, (1979)
- [67] 関西経営システム協会 I E 応用研究会：“ストックレス生産”，日刊工業新聞社, pp. 13-22, (1986)
- [68] 加藤貞夫, 井戸正敏, 梅村守他：“作業の理論に関する研究”，昭和54年度日本経営工学会春期研究発表会予稿集, pp. 2-3, (1979)
- [69] 菊田啓吉：“いわゆる健康者の自覚症調査成績”，日本公衛誌, Vol. 10, No. 11, pp. 605-610, (1963)
- [70] 木村, 寺田（トヨタ自動車）：“DESIGN AND ANALYSIS OF “PULLSYSTEM””，ICPR, 5TH, pp. 245-249, (1979)
- [71] 桐原葆見：“規制作業と自由作業について”，労働科学, Vol. 36, pp. 621-657, (1960)
- [72] 北吉久夫：“縫製部門でトヨタ生産方式により2倍の生産性を達成した丸恵化”，工場管理, Vol. 31, No. 5, pp. 114-117, (1985)
- [73] 小林康助（編）：“企業管理の生成と展開”，ミネルバ書房, (1987)
- [74] 越河六郎：“生活行動の時間的類型に関する研究”，労働科学, Vol. 44, No. 4, pp. 213-232, (1968)
- [75] 越河六郎：“疲労感研究における質問紙法の検討”，日本心理学会第38会大会発表論文集, pp. 958-959, (1974)
- [76] 越河六郎：“蓄積的疲労徴候調査について”，労働の科学, Vol. 30, No. 2, pp. 20-25, (1975)
- [77] 越河六郎：“疲労徴候の”訴え”について—その年齢的傾向—”，労働の科学, Vol. 32, No. 12, pp. 26-31, (1977)
- [78] 古閑義之, 樋口正元, 内田雅夫, 他：“自覚症状と性格との関連についての研究”，日本内科学会雑誌, Vol. 48, No. 3, pp. 1-10, (1959)
- [79] 工場管理編集部：“トヨタ関連企業の生産方式を探る”，工場管理「トヨタ生産方式実践ハンドブック」, pp. 165-167, (1978)
- [80] 工場管理編集部：“ホンダの小集団”，にっかん書房, (1980)
- [81] KRAJEWSKI, K. J., KING, N. E. et al. : “KANBAN, MRP AND SHAPING THE MANUFACTURING ENVIRONMENT”，MANAGEMENT SCIENCE, Vol. 33, No. 1, pp. 39-57, (1987)
- [82] KREPCHE, I. P. : “How MPR II and JIT work together at DuPont”，MODERN MATERIALS HANDLING, Vol. 41, pp. 73-76, (1986)
- [83] 久保章, 関根慶太郎：“動作時間計時記録装置の開発と両手による「つかむ」動作パターン”，昭和54年度日本経営工学会春期研究発表会予稿集, pp. 109-110, (1979)
- [84] 久我正男：“ベルシャ湾航路タンカー乗組員の訴える倦怠感について”，労働科学, Vol. 39, No. 2, pp. 90-94, (1963)
- [85] 熊谷智徳：“統合的生産管理の理論”，昭和48年度日本経営工学会秋期研究発表会予稿集, pp. 264-271, (1973)
- [86] 熊谷智徳：“経営工学便覧”，丸善, pp. 189-194, (1975)
- [87] 熊谷智徳, 熊澤光正：“STUDY OF PRODUCTION PERIOD”，AIIE ISEMDC, pp. 223-232, (1978)
- [88] 熊谷智徳：“トヨタ生産方式の特質”，工場管理「トヨタ生産方式実践ハンドブック」, pp. 152-157, (1978)
- [89] 熊谷智徳：“生産システム構造の多元性と高度化の課題”，I E レビュー, Vol. 19, No. 1, pp. 7-12, (1978)
- [90] 熊谷智徳：“トヨタシステムの研究(1) ねらいと効果”，日本経営工学会春期研究発表会予稿集, pp. 58-60, (1980)

- [91] 熊谷智徳：“トヨタシステムの研究(2) ジャスト・イン・タイムについて”，日本経営工学会春期研究発表会予稿集, pp. 26-29, (1981)
- [92] 熊谷智徳：“トヨタシステムの研究(3) その本質的意義”，日本経営工学会春期研究発表会予稿集, pp. 32-34, (1982)
- [93] 熊谷智徳：“たて工程持ち作業システムの構成と特性”，昭和59年度日本経営工学会春期研究発表会予稿集, pp. 111-112, (1984)
- [94] 熊谷智徳：“トヨタ生産方式の本質を探る”，工場管理, Vol. 31, No. 5, pp. 18-21, (1985)
- [95] 熊谷智徳, 熊澤光正：“市場需要ロットの少量化動向と生産システムの対応”，昭和61年度日本経営工学会秋期研究発表会予稿集, pp. 66-68, (1986)
- [96] 熊谷智徳：“自動化技術の管理化と経営の重要性”，自動化技術, Vol. 19, No. 4, pp. 25-28, (1987)
- [97] 熊谷智徳：“日本的生産方式の構成と特質”，品質, Vol. 17, No. 1, pp. 16-22, (1987)
- [98] 熊谷智徳：“生産システムの構造と設計と管理”，名古屋工業大学公開講座テキスト, pp. 6-2, (1989)
- [99] 熊澤光正, 熊谷智徳：“生産期間構造と短縮効果に関する研究”，名古屋工業大学学報第32巻, pp. 383-388, (1981)
- [100] 熊澤光正, 中村雅章, 熊谷智徳：“基準工数設定法に関する研究”，名古屋工業大学学報, Vol. 34, pp. 363-369, (1982)
- [101] 熊澤光正, 中村雅章, 熊谷智徳：“生産期間の構成と分析に関する研究”，日本経営工学会特定課題研究会予稿集, pp. 20-25, (1982)
- [102] 熊澤光正, 熊谷智徳：“生産期間の構成と分析に関する研究”，日本経営工学会特定課題研究会予稿集, pp. 20-25, (1982)
- [103] 熊澤光正, 中村雅章, 熊谷智徳, 他：“女子作業者の作業速度評価要因の研究”，昭和59年度日本経営工学会秋期研究発表会予稿集, pp. 109-110, (1983)
- [104] 熊澤光正, 中村雅章, 熊谷智徳：“経営・管理にみる生産期間課題”，昭和58年度日本経営工学会秋期研究発表会予稿集, pp. 39-40, (1983)
- [105] 熊澤光正, 野村重信, 福田康明, 他：“我国企業における生産管理技法の活用状況”，I Eレビュー, Vol. 24, No. 5, pp. 191-196, (1983)
- [106] 熊澤光正, 中村雅章, 熊谷智徳：“生産期間が経営資本回転率に与える影響の定量的解析”，昭和59年度日本経営工学会春期研究発表会予稿集, pp. 68-69, (1984)
- [107] 熊澤光正, 中村雅章, 熊谷智徳, 他：“縦工程持ち作業システムシミュレータの開発”，昭和60年度日本経営工学会春期研究発表会予稿集, pp. 150-151, (1985)
- [108] 熊澤光正：“トヨタ生産方式でアパレル経営を展開するシンガポール社”，工場管理, Vol. 31, No. 5, pp. 133-140, (1985)
- [109] 熊澤光正, 田村隆善, 熊谷智徳, 他：“生産管理技法の活用に関する研究”，名古屋工業大学学報, Vol. 36, pp. 325-330, (1985)
- [110] 熊澤光正, 中村雅章, 熊谷智徳, 他：“シミュレータを用いた縦工程持ち作業システムの効果把握”，名古屋工業大学学報第37巻, pp. 237-244, (1986)
- [111] 熊澤光正, 熊谷智徳：“女子の立ち作業化が自覚疲労にあたえる影響”，昭和62年度日本経営工学会秋期研究発表会予稿集, pp. 37-38, (1987)
- [112] 熊澤光正, 熊谷智徳：“作業姿勢が組立作業時間に与える影響”，昭和63年度日本経営工学会秋期研究発表会予稿集, pp. 23-24, (1988)
- [113] 熊澤光正：“経営資本回転率に影響を与える要因の定量的分析”，四日市大学論集, Vol. 2, No. 1, pp. 49-66, (1989)
- [114] 國弘員人：“収益性分析 経営分析大系1”，中央経済社, (1979)
- [115] 國弘員人：“流動性分析 経営分析大系3”，中央経済社, (1979)
- [116] 國弘員人：“経営資本回転分析 経営分析大系4”，中央経済社, (1984)
- [117] 黒田 充：“ラインバランスのためのアルゴリズム(I)”，I E, Vol. 13, No. 1, pp. 107-112, (1971)
- [118] 草場郁朗：“統計的方法演習”，日科技連, pp. 29-35, (1974)
- [119] LEE, L. C.：“Parametric appraisal of the JIT system”，INT. J. PROD. RES., Vol. 25, No. 1

- 0, pp. 1415-1429, (1987)
- [120] 前川雅代: “某ボイラー製造工場における自覚証及び内観による疲労調査の結”, 労働科学, Vol. 32, 1956, pp. 248-249, (1956)
- [121] 眞嶋一郎: “「NPS」で生産革命を推進する横河北辰電機”, 工場管理, Vol. 32, No. 6, pp. 58-69, (1985)
- [122] 眞嶋一郎: “トヨタ生産方式の展開法”, 工場管理, Vol. 31, No. 31, pp. 153-171, (1985)
- [123] マルクス: “資本論第2巻”, 岩波書店, pp. 278-288, (1967)
- [124] 正田亘: “人間工学”, 恒星社厚生各閣, pp. 51-54, (1981)
- [125] 松前寛: “トヨタ生産方式とVE”, 工場管理「トヨタ生産方式実践ハンドブック」, pp. 149-152, (1978)
- [126] 松本一弥: “労働強度別自覚症状訴え率について”, 労働の科学, Vol. 23, No. 1, pp. 86-87, (1968)
- [127] G. マクシー, A. シルバーストーン: “自動車工業論”, 東洋経済新報社, pp. 80-110, (1975)
- [128] MAYER, R. R.: “A critical look at Kanban, Japan's just-in-time inventory sys.”, MANAGEMENT REVIEW, Vol. 73, pp. 48-51, (1984)
- [129] MEIER, R. C. and JONSON, R. A.: “CASES IN PRODUCTION AND OPERATIONS MANAGEMENT”, PRENTICE-HALL, INC., (1982)
- [130] 株式会社アイ・ピー: “NPSニュース85.7”, NPSニュース, Vol. 1, No. 1, pp. 1-3, (1985)
- [131] 三菱電機佐土原清修: “ONPS運動の軌跡”, 工場管理, Vol. 33, No. 1, pp. 32-68, (1987)
- [132] 三菱総合研究所: “企業経営の分析 昭和56年”, 三菱総合研究所, (1982)
- [133] 三浦信孝: “織布工場における疲労の研究(第一報) 女子織布工の疲労に関する”, 労働科学, Vol. 31, pp. 241-241, (1955)
- [134] 三輪晴治: “創造的破壊”, 中公新書, pp. 143-213, pp. 194-197, (1978)
- [135] 宮代信夫, 島貢: “上肢作業能力評価法の評価項目に関する一考察”, 昭和57年度日本経営工学会秋期研究発表会予稿集, pp. 8-9, (1980)
- [136] 宮代信夫, 島貢: “リーチ動作における上肢動作特性の3次元解析”, 日本経営工学会誌, Vol. 33, No. 6, pp. 433-439, (1982)
- [137] 宮代信夫: “位置決め動作における上肢制御機構と位置決め困難度との関係”, 昭和58年度日本経営工学会秋期研究発表会予稿集, pp. 124-125, (1984)
- [138] 宮崎茂次, 西山徳幸: “トヨタ生産方式におけるかんばん方式の最適運用法”, 日本経営工学会誌, Vol. 38, No. 2, pp. 126-131, (1987)
- [139] MIYAZAKI, S., OHTA, H. and NISHIYAMA, N.: “The optimal operation planning of Kanbantom minimize the total opratio, INT. J. PROD. RES., Vol. 26, No. 10, pp. 1605-1611, (1988)
- [140] 水津寛一: “トヨタ生産方式に学ぶこと”, 工場管理, Vol. 24, No. 13, pp. 89-101, (1978)
- [141] 門田安弘: “いまブームのトヨタ生産方式は米国で定着するか”, 工場管理, Vol. 31, No. 31, pp. 42-54, (1985)
- [142] 門田安弘: “トヨタシステム”, 講談社, pp. 317-340, (1985)
- [143] 門田安弘: “ジャストインタイムトヨタ生産方式海を渡る”, 日本生産性本部, (1987)
- [144] 森清: “私からみた影と陽”, 工場管理「トヨタ生産方式実践ハンドブック」, pp. 145-148, (1978)
- [145] 森岡三生, 小木和孝: “中小企業労働者の労働負担調査の一事例”, 労働科学, pp. 114-121, (1961)
- [146] 森下高治: “紡績労働に関する心理学的研究—疲労感を中心として—”, 日本心理学会第38回大会発表論文集, pp. 960-961, (1974)
- [147] 森下高治: “疲労感に関する研究—紡績作業員について—”, 適性研究, No. 8, pp. 12-23, (1974)
- [148] 師岡孝次: “トヨタ生産方式とワークデザイン”, 工場管理「トヨタ生産方式実践ハンドブック」, pp. 124-127, (1978)
- [149] 師岡孝次, 早川洋文: “作業時間の分布を用いた動的評価”, 昭和57年度日本経営工学会秋期研究発表会予稿集, pp. 196-197, (1982)
- [150] 藻利重隆: “工場管理”, 新紀元社, pp. 289-290, (1950)

- [151] 藻利重隆:「経営学の基礎」, 森山書店, pp. 473-498, (1962)
- [152] 藻利重隆:“わが国企業の資本回転率に関する一考察”, ビジネスレビュー, pp. 1-52, (1963)
- [153] 藻利重隆:「経営管理総論(第2新訂版)」, 千倉書房, pp. 39-96, pp. 160-161, (1975)
- [154] MUNDEL, M. E.:「動作・時間研究の理論と実際」, 山内二郎監訳, 紀ノ国屋書店, pp. 518-519, (1961)
- [155] 村松林太郎:「生産管理」, 朝倉書店, pp. 115, (1976)
- [156] 村松林太郎:“自動車の製造管理”, 山海道, pp. 121-122, (1980)
- [157] 村松林太郎:「トヨタ生産方式の理念と仕組み」, 工場管理「トヨタ生産方式実践ハンドブック」, pp. 162-165, (1978)
- [158] McCORMICK, A. J.:“HUMAN FACTORS IN ENGINEERING AND DESIGN”, McGRAW-HILL, (1987)
- [159] 長町三生:“小集団活動を科学する”, 工場管理, Vol. 28, No. 8, pp. 66-89, (1982)
- [160] 長町三生:“IEからみた中高年活性化のための職務再設計”, IEレビュー, Vol. 23, No. 4, pp. 165-171, (1982)
- [161] 中平成也, 池田弘, 土門洋哉他:“看護業務における疲労の研究”, 産業医学, Vol. 8, No. 161, pp. 79, (1987)
- [162] 中井重行:「トヨタ独自のバイタリティと実行力」, 工場管理「トヨタ生産方式実践ハンドブック」, pp. 158-161, (1978)
- [163] 中井重行, 吉田祐夫:“作業台におかれた品物の取りやすさに関する研究”, 日本経営工学会誌, Vol. 31, No. 4, pp. 434-440, (1981)
- [164] 中井重行, 吉田祐夫:“機械工作を対象にした作業域内の品物の取りやすさに関する研究”, 日本経営工学会誌, Vol. 33, No. 4, pp. 270-277, (1982)
- [165] 中井重行, 吉田祐夫:“作業域測定装置の開発と応用”, 日本経営工学会誌, Vol. 32, No. 6, pp. 414-420, (1982)
- [166] 中村善太郎:“流動数分析の仕事の改善での活用”, 日本経営工学会誌, Vol. 36, No. 2, (1985), p. 93-100, (1985)
- [167] 中村雅章, 熊澤光正, 熊谷智徳:“生産および工程管理にみる生産期間課題”, 名古屋工業大学学报, Vol. 35, pp. 305-312, (1984)
- [168] 中田勇:「トヨタの基礎理念と徹底修得」, 工場管理「トヨタ生産方式実践ハンドブック」, pp. 128-130, (1978)
- [169] 中山秀太郎:「機械発達史」, 大河出版, (1987)
- [170] 中山一郎(編):「経済学大辞典」, 東洋経済新報社, p. 175, p. 228, p. 244, (1988)
- [171] 並木高矣:「生産管理(工場管理入門シリーズ①)」, 日刊工業新聞社, pp. 116-117, (1970)
- [172] 並木高矣:「工程管理(工場管理入門シリーズ③)」, 日刊工業新聞社, p. 163, pp. 222-225, (1971)
- [173] 並木高矣:「生産管理」, 丸善, (1977)
- [174] 並木高矣(編):「多品種少量の流れ生産 モジュール生産方式」, 日刊工業新聞社, (1975)
- [175] 名取礼二, 他:「最新体力測定法」, 同文館, (1970)
- [176] 日刊工業新聞社編集部:“物流の動きに同期化したジェリコーの生産工程の改善”, 工場管理, Vol. 24, No. 13, pp. 53-59, (1978)
- [177] 日刊工業新聞社編集部:“アイシン精機におけ粗形材生産工程の他工程持ち”, 工場管理, Vol. 24, No. 13, pp. 83-88, (1978)
- [178] 日刊工業新聞社:「トヨタを支える企業群」, 日刊工業新聞社, (1980)
- [179] 日本能率協会:「工程管理(生産技術講座第6編)」, 日本能率協会, pp. 1, (1958)
- [180] 日本能率協会東京生産管理部会:「生産期間の短縮 生産管理実務シリーズ5」, 日本能率協会, pp. 3-4, pp. 4-55, pp. 169-171 (1968)
- [181] 日本産業衛生協会産業疲労研究会:“産業疲労の「自覚症状調べ」(1970)についての報告”, 労働の科学, Vol. 25, No. 6, pp. 12-62, (1970)
- [182] 日本体育学会:「体力の診断と評価」, 大修館, (1977)
- [183] 西山徳幸:“作業測定における精度に関する研究”, 昭和51年度日本経営工学会春期研究発表会予稿集, pp. 178-180, (1976)

- [184] NOVISKY, M. P.: "IMPLEMENTING JIT/TQC IN EUROPEAN FACTORIES", Annu. Int. Conf. Proc. Am. Prod. Inv. &Cont., 28th, pp. 319-321, (1985)
- [185] NPS研究会: "NEW PRODUCTION SYSTEM 標準作業手引書", NPS研究会, (1984)
- [186] 沼尻幸吉: 「労働の強さと適正作業量」, 労働科学研究所, pp. 27, (1969)
- [187] 沼尻幸吉: 「働く人のエネルギー代謝」, 労働科学研究所, (1972)
- [188] 沼尻幸吉: 「活動のエネルギー代謝」, 労働科学研究所, (1982)
- [189] 小川英次: 「現代生産管理論」, 金原出版, pp. 285, (1974)
- [190] 小木和孝: "航空管制官の疲労自覚症候", 労働科学, Vol. 37, pp. 295-299, (1961)
- [191] 小木和孝: "夜勤者の訴えと健康障害対策", 労働の科学, Vol. 25, No. 11, pp. 14-21, (1970)
- [192] 小木和孝, 斎藤良夫, 三鷺武: "疲労自覚症状の3成分の妥当性について", 労働科学, Vol. 46, No. 5, pp. 251-270, (1970)
- [193] 小木和孝: "産業疲労の新しい自覚症状調べ", 労働の科学, pp. 5-10, (1970)
- [194] 小木和孝: "疲労と目の機能", 労働の科学, Vol. 28, No. 12, pp. 9-15, (1973)
- [195] 小木和孝: "各種疲労の共通問題", 労働の科学, Vol. 30, No. 2, pp. 4-9, (1975)
- [196] 小木和孝: "労働負担の調査", 労働科学研究所, (1984)
- [197] 大野耐一: 「トヨタ生産方式」, ダイヤモンド社, (1978)
- [198] 大野耐一: "TOYOTA PRODUCTION SYSTEM", ISEMDC AIIE, pp. 353, (1980)
- [199] 大野耐一, 三戸節雄: 「なぜ必要なものを必要な分だけ必要なとき提供しないのか」, ダイヤモンド社, (1985)
- [200] 小石泰道, 服部昭, 山岡靖治: "船員における疲労調査資料", 労働科学, Vol. 44, No. 1, pp. 42-57, (1968)
- [201] 小野三詞: 「運動の生理科学」, 朝倉書店, (1978)
- [202] 小野三詞: 「体力テスト百科」, ぎょうせい, (1978)
- [203] 大久保堯夫, 青木道佳, 堀江良典, 他: "軽作業における労働負担軽減に関する基礎的研究", 日本人間工学学会誌, 第22巻, pp. 184-185
- [204] 大崎紘一, 森永昇, 菊池進: "作業測定における時間測定装置", 昭和50年度日本経営工学会秋期研究発表会予稿集, pp. 277-280, (1975)
- [205] 大島正光, 遠藤幸之助, 山中宏子他: "睡眠に関する研究", 労働科学, Vol. 30, pp. 368-373, (1954)
- [206] 大島正光: 「疲労の研究」, 同文書院, pp. 95-99, (1979)
- [207] 大須賀政夫: 「現代の生産管理」, 中央経済社, pp. 4-5, 222-229, (1965)
- [208] 太田垣瑞一郎: "単調労働の心理学的問題", 労働の科学, Vol. 26, No. 1, pp. 15-19, (1971)
- [209] 小関藤一郎: "技術と企業組織の日仏比較研究", 学術月報, Vol. 38, No. 2, pp. 109-112, (1985)
- [210] PAN, C. A. and CHING-JONGL: "AN INVENTORY MODEL UNDER JUST-IN-TIME PURCHASING AGREEMENT", PRODUCTION AND INVENTORY MANAGEMENT J. 1st Q 1989, pp. 49-52, (1989)
- [211] PHILPOOM, P. R. and REE, L. P. and TAILOR, B. W.: "An investigation of the factors influencing the number of Kanbans", INT. J. PROD. RES., Vol. 25, No. 3, pp. 457-472, (1987)
- [212] REE, L. P. and PHILIPPOOM, P. R. et al.: "Dynamically Adjusting the Number of Kanbans", IEE Transaction, Vol. 19, No. 2, pp. 199-206, (1987)
- [213] REFA: "REFA-Methodenlehre des Arbeitsstudiums Teil 2", Detenermittlung Munchen, pp. S. 32ff, (1973)
- [214] REMICH, N.: "JIT:Planning and Implementing", Appliance Manufacturing, pp. 40-42, (1986)
- [215] RICHARD, L. E. and BLACKSTONE, J. H. Jr.: "Just-in-time in the plastics processing industry", INT. J. PROD. RES., Vol. 26, No. 1, pp. 37-34, (1988)
- [216] 佐賀真一, 竹間忠夫, 西村真理子, 他: "NPS革命であなただの会社が甦える", 週刊現代, pp. 30-35, (1985)
- [217] 西條修光: "主観的疲労感と身体諸機能の相関", 日本体育大学研究所所報, No. 3, pp. 69-74, (1976)
- [218] 斎藤一: "疲労と労働の生体負担の生科学的側面", 労働科学, Vol. 42, No. 6, pp. 427-447, (1966)

-)
- [219] 齊藤一, 岸田孝弥, 遠藤幸男他: “単調労働に関する研究”, 労働科学, Vol. 45, No. 12, pp. 679-739, (1969)
 - [220] 齊藤一: “婦人労働者の労働負担”, 労働の科学, Vol. 25, No. 9, pp. 13-17, (1970)
 - [221] 齊藤繁: “トヨタ「かんばん」方式の秘密”, こう書房, (1978)
 - [222] 齊藤良夫, 小木和孝, 柏木繁男: “疲労自覚症状の類型化について”, 労働科学, Vol. 46, No. 4, pp. 205-224, (1970)
 - [223] 齊藤良夫: “疲労自覚症状の訴え数の分布について”, 産業医学, Vol. 12, No. 10, pp. 20-21, (1970)
 - [224] 齊藤良夫, 小木和孝: “疲労自覚症状類型の時間経過について”, 産業医学, Vol. 14, No. 2, pp. 34-35, (1972)
 - [225] 酒井嘉子, 狩野広之: “自覚症状調査における訴え率の基準について”, 労働科学, Vol. 41, No. 8, pp. 390-397, (1965)
 - [226] 三洋電機株式会社編: “三洋電機30年の歩み”, 三洋電機, (1980)
 - [227] 佐藤和夫: “日産グループの能率管理”, につかん書房, (1985)
 - [228] 佐藤芳雄: “日本型下請けシステムの軌跡と到達点”, 三田商学研究, pp. 152-174, (1986)
 - [229] SCHONBERGER, R. J.: “Just-In-Time Purchasing”, CALIFORNIA MANAGEMENT REVIEW, Vol. 26, No. 1, pp. 54-68, (1983)
 - [230] SCHONBERGER, R. J.: ““Just-in-Time” Purchasing Can Improve Quality”, J. Purchasing and Materials Management, Vol. 20, No. 1, pp. 2-7, (1984)
 - [231] 関根憲一: “工程ばらしのノウハウ”, 日刊工業新聞社, (1985)
 - [232] 関根憲一: “トヨタ生産方式応用マニュアル”, 新技術開発センター, pp. 276-295
 - [233] 関根憲一: “トヨタのかんばん方式実践マニュアル”, 工場管理, Vol. 24, No. 13, pp. 2-52, (1978)

)

 - [234] 関根憲一: “実践 トヨタカンバン方式”, につかん書房, (1981)
 - [235] 関根憲一: “ゼロ段取りの技術”, 日刊工業新聞社, pp. 3-4, (1982)
 - [236] 島弘: “科学的管理法の研究”, 有斐閣, (1979)
 - [237] 清水敏充: “工業経営学の基礎”, コロナ社, pp. 72, (1978)
 - [238] 清水敏充: “多種少量生産工場における工程期間の短縮”, I E, Vol. 20, No. 12, pp. 14-16, (1978)

)

 - [239] 新郷重夫: “工業改善の体系的思考”, 日刊工業新聞社, (1980)
 - [240] 新郷重夫: “トヨタ生産方式のI E的考察”, 日刊工業新聞社, (1980)
 - [241] 新郷重夫: “シングル段取りへの原点的志向”, 日本能率協会, pp. 6-7, (1983)
 - [242] 新郷重夫: “生産管理の改善”, 日本経済社, pp. 118-136, (1951)
 - [243] 新郷重夫: “工場改善の原点的志向”, 日刊工業新聞社, pp. 135-140, (1977)
 - [244] 篠原勲: “NPSの奇跡”, 週間東洋経済, (1985)
 - [245] 篠原勲: “NPS研究会のペールを剥ぐ”, 週刊東洋経済60/7/6, pp. 60-64, (1985)
 - [246] 篠原勲: “驚異の生産革命NPSの秘密”, 週刊東洋経済60/7/13, pp. 86-92, (1985)
 - [247] 篠原勲: “不滅の企業づくりNPSの神髄”, 週刊東洋経済60/7/20, pp. 52-55, (1985)
 - [248] 篠原勲: “NPS不滅の経営”, 週間東洋経済, (1989)
 - [249] 新保尚義: “仕入れ先が協力し合って進める愛三工業のトヨタ生産方式”, 工場管理, Vol. 31, No. 31, pp. 141-147, (1985)
 - [250] 職場の体力づくり指導研究会: “職場の体力作り”, 労働基準調査会, (1981)
 - [251] 週間東洋経済: “NPS経営の驚異”, 週間東洋経済1989. 8. 12-19, pp. 8-23, (1989)
 - [252] 週間東洋経済: “NPS経営の驚異PARTII”, 週間東洋経済1989. 8. 26, pp. 48-53, (1989)
 - [253] シミュレーション技術研究会: “シミュレーション技術(I)”, コロナ社, (1975)
 - [254] チャールス・E・ソレンセン: “フォード その栄光と悲劇”, 産業能率短期大学出版部, pp. 133-154, (1968)
 - [255] 菅賢二, 長崎俊夫: “「ストックレス生産方式」による住友電工のパソコン生産管理”, 工場管理, Vol. 31, No. 31, pp. 87-92, (1985)

- [256] 杉森, 楠, 内川: "TOYOTA PRODUCTION SYSTEM AND KANBAN SYSTEM", ICPR, 4TH, pp. 185-196, (1977)
- [257] SURESH, N. C. and MERESITH, J. R.: "Quality assurance information system for factory automation", INT. J. PROD. RES., Vol. 23, No. 23, pp. 479-488, (1985)
- [258] 州崎清: "現地ルポ・米国で「ジャスト・イン・タイム生産」事情", 工場管理, Vol. 31, No. 5, pp. 29-41, (1985)
- [259] 州崎清: 「J I T革命の衝撃」, ダイヤモンド社, (1987)
- [260] 鈴木誠, 桜井隆, 鈴木睦夫: "大型鋼構造物の一個流し生産を達成した川崎重工", 工場管理, Vol. 31, No. 31, pp. 93-98, (1985)
- [261] 鈴木庄亮, 堀口達子, 張峰紫: "MD Iにおけるはい応答総数からみた「質問紙健康調査」の位置", 日本公衛誌, Vol. 18, No. 9, pp. 537-543, (1971)
- [262] 鈴木庄亮: "訴え"と自覚症状調査", 労働衛生, Vol. 12, No. 10, pp. 12-15, (1971)
- [263] 橋博, 山下高之, 野崎幸雄: 「経営生産管理論」, 世界書院, pp. 3-15, (1967)
- [264] 田口玄一: 「第3版 実験計画法 上」, 丸善株式会社, pp. 94-100, 339-356, (1983)
- [265] 高橋功: "N P S革命", w i l l 1985 9月特別号, pp. 153-168, (1985)
- [266] 高橋美樹: "日本型下請生産システムの国際移転可能性", 三田商学研究, Vol. 30, No. 3, pp. 48-70, (1987)
- [267] 高橋泰蔵, 増田四郎編: 「体系経済学辞典(改訂新版)」, 東洋経済新報社, pp. 360, (1975)
- [268] 高橋泰蔵(編): 「体系経済学辞典(改訂新版)」, 東洋経済新報社, pp. 358-360, (1988)
- [269] 詫間晋平, 大久保貞義: "単調労働と医療社会学", 帝国地方行政学会, pp. PP. 30-35, (1968)
- [270] 田中金蔵: "家具業界の生き残り戦略にトヨタ生産方式を導入した国際工芸", 工場管理, Vol. 31, No. 31, pp. 148-152, (1985)
- [271] 谷川達也: "製品品質の構造と市場普及率の関係", 名古屋工業大学学士論文(未刊行), (1963)
- [272] 田杉競, 森俊治: 「生産管理研究(新訂)」, 有信堂, pp. 51-52, pp. 69-85, pp. 116-117, (1960)
- [273] 館澤貢次: 「トヨタ生産方式の悲劇」, あっふる出版社, (1985)
- [274] TATIKONDA, M. V.: "JUST-IN-TIME AND MODERN MANUFACTURING ENVIRONMENTS", PRODUVTION AND INVENTORY MANEGEMENT 1st quater, pp. 1-10, (1988)
- [275] 戸田英四, 黒澤登: "多種少量生産に挑戦する日新電機の「S L I M生産活動」", 工場管理, Vol. 31, No. 31, pp. 99-106, (1985)
- [276] 戸川初枝: "職業をもつ主婦の疲労に関する研究(1)", 千葉大学教育学部研究紀要, No. 15, p. 145-165, (1966)
- [277] 東京都立大学: 「日本人の体力標準値」, 不味堂, (1970)
- [278] 都丸泰助, 窪田暁子, 遠藤宏一(編): 「トヨタと地域社会」, 大月書店, (1987)
- [279] 富岡捷夫, 鈴木純, 倉石幸雄, 他: "社長の「不良は捨てろ」で始まったオリエンタルモーターの「一」", 工場管理, Vol. 31, No. 31, pp. 118-132, (1985)
- [280] 富田絹子: "自覚症状よりみた疲労", 生活衛生, Vol. 19, No. 3, pp. 9-19
- [281] トヨタ自販社史編纂委員会: 「世界への歩み トヨタ自販30年史」, トヨタ自動車販売株式会社, (1980)
- [282] 規木正次: "アパレル産業に「タイムレス生産方式」を確立したメルボ紳士服", 工場管理, Vol. 31, No. 31, pp. 107-113, (1985)
- [283] 津村豊治: 「経営に密着した新しいI Eの発展」, 工場管理「トヨタ生産方式実践ハンドブック」, pp. 136-140, (1978)
- [284] 通商産業大臣官房調査統計部編: 「機械統計年報昭和43-61年版」, 通商産業調査会
- [285] 通商産業省機械情報産業局: 「電子工業年間1966-1982, 1985-1987」, 電波新聞出版部
- [286] 通商産業省産業構造審議会管理部会編: 「工程管理」, 日刊工業新聞社, pp. 59-62, (1972)
- [287] 辻川利雄: "蒸気機関車労働環境の実態とその改善に関する研究", 労働科学, Vol. 36, pp. 36-49, (1966)
- [288] VILLEDA, R. and DUDEK, R. and SMITH, M.: "Increasing the production rate of a just-in-time production system", INT. J. PROD. RES, pp. 1749-1768, (1988)

- [289] WACKER, J. G. : "CAN HOLDING COST BE OVERSTATED FOR JUST-IN-TIME Mafu. Sys." , PRODUCTION AND INVENTORY MANAGEMENT, Vol. 27, No. 3, pp. 11-14, (1986)
- [290] Wallance, C. L. : "JUST-IN-TIME SAVES IBM \$1 MILLION A YEAR" , PACKING, Vol. 32, pp. 8-10, (1989)
- [291] 鷺田彰:「トヨタ式”製造技術”に対する見解」,工場管理「トヨタ生産方式実践ハンドブック」, pp. 131-134, (1978)
- [292] 渡辺明:“カンバン方式の考察”,四日市大学論集, Vol. 1, No. 1, pp. 87-98, (1989)
- [293] 渡辺健一郎:「工程管理と生産期間の短縮」,日刊工業新聞社, pp. 4-5, pp. 52-55, 211-213, (1952)
- [294] 渡辺健:“両手対称動作における作業域の設定”,昭和56年度日本経営工学会秋期研究発表会予稿集, pp. 94-95, (1984)
- [295] オリヅァ W. ワイト:「MRPによる生産管理」,日刊工業新聞社, (1979)
- [296] WHIGHT, O. W. : "Manufacturing Resoruce Planning:MRP II" , Oliver Wight Limited Publications, Inc., pp. 43-68, (1989)
- [297] WILDEMAN, N. H. : "Just-in-time production in West Germany" , INT. J. PROD. RES., Vol. 26, No. 26, pp. 521-538, (1988)
- [298] WILLIS, T. H. and SUTER, W. C. : "THE FIVE M'S OF MANUFACTURING:A JIT CONVERSION LIFE CYCLE" , PRODUCTION AND INVENTORY MANAGEMENT J. 1st Q 1989, pp. 53-56, (1989)
- [299] 山田日登志:“トヨタ生産方式を活用した監督者の教育”,工場管理, Vol. 31, No. 31, pp. 61-68, (1985)
- [300] 山下節義, 奈倉道隆, 西尾雅七:“市街電車乗務員の自覚疲労に関する調査報告”,産業医学, Vol. 8, No. 161, pp. 79-80, (1966)
- [301] 吉竹博:“航空管制官の疲労”,労働の科学, Vol. 26, No. 10, pp. 22-27, (1971)
- [302] 吉竹博:“疲労感調査の問題点”,労働の科学, Vol. 30, No. 2, pp. 14-19, (1975)
- [303] 吉竹博, 西岡昭:“工場労働者の年齢と疲労感”,日本心理学会第41回大会発表論文集, pp. 1230-1231, (1977)
- [304] 吉竹博:“改訂 産業疲労 —自覚症状からのアプローチ—”,労働科学研究所, pp. 23-24, p. 27, pp. 72-76, pp. 89-105, (1981)
- [305] 吉谷龍一, 中根甚一郎:「MRPシステム」の研究者の立場からみた「トヨタ生産方式」,工場管理「トヨタ生産方式実践ハンドブック」, pp. 102-108, (1978)