

学位論文 博士（工学）

変動注文に対応した
生産計画の立案プロセスに関する研究

2012 年度

慶應義塾大学大学院理工学研究科

山 崎 友 彰

序

製造企業における工場では、生産活動を行うための計画がたてられ、その計画にしたがって生産活動の管理がなされ、次期の計画の立案にそれらの結果をフィードバックする PDCA サイクルという考え方がある。しかし、この PDCA サイクルが適切に回っていないと考えられる実際の状況が多くある。

一般的に生産活動を行うための計画は、負荷計画、生産計画、差立計画を経てたてられる。負荷計画は生産能力や在庫保有等の生産体制を長期的に検討する計画であり、生産計画は顧客からの内示注文の変動に対応するために負荷計画にしたがって残業の有無等の生産方策を中期的に検討する計画であり、差立計画は顧客からの確定注文の変動に対応するために生産計画にしたがって各設備および各作業者の仕事の割当や順序等の運用方法を検討する計画である。

負荷計画はその検討する内容から計画レベルが高く、本来はマネジメントがたてる計画になるが、計画担当者が代わりに検討している実態がある。計画担当者には立案する権限も長期的な情報もなく、その検討は先送りされることになる。生産計画の前提と目標を示す負荷計画において、どんな大きな注文にも品切と在庫をゼロに近づけるという理想だけがマネジメントから示されるため、計画担当者の検討範囲が大きくなり、適切な生産計画とはならない。日々の確定注文の変動への対応方法となる生産物流構造が負荷計画において明確にされず、日々の生産や物流が行われる中で自然と運用されてきた効率のみを重視した生産物流構造となっていることが多いため、差立計画が確定注文を用いた運用方法の検討ではなく、負荷計画や生産計画に近い計画となり、適切な差立計画とはならない。このように、3つの計画が明確に分類されず、計画担当者の生産計画とひとくくりにした状態において、さまざまな側面や要素を考えながら試行錯誤を繰り返して作成する生産計画表は参考程度の利用となり、日々の生産活動は計画なしで仕事量と生産能力をバランスさせることを重視した管理で決められている。この状態は、計画である Plan がなく、生産活動の Do と管理の Check のみの DC サイクルと呼べる。

このような背景から、自動車部品を製造・販売している企業を研究対象とし、計画担当者

に与えられている生産計画志向と呼べる生産計画問題を再考して、マネジメントが負荷計画において生産計画の前提と目標を明確にする負荷計画志向の問題を検討し、また顧客と工場の都合で長くなった生産リードタイムを削減し確定注文によって日々の生産量を決定する差立計画志向の問題を検討して、計画の立案プロセスの改善例を提案することを目的とする。

具体的には、負荷計画志向について、計画担当者の生産計画業務をモデル化した上で、計画担当者に与えられている計画想定範囲を評価基準と生産方策で表し、マネジメントの意思決定がされていない生産計画では計画想定範囲が大きく、意思決定された元では小さくなることをシミュレーションで示し、負荷計画を明確にすることで生産計画問題を縮小化できるという仮説を検証する。また差立計画志向について、対象企業の実態分析より、生産計画業務における問題点を抽出し、それらの問題点に対する方策と改善案を提案し、対象企業のデータを用いて実行可能性を示し、生産計画をたてることなく日々の生産量を定めることができるという仮説を検証する。これらの2つの仮説の検証を通して、実態的な問題把握による計画の立案プロセスの改善例を提案する。

目次

第1章 序論.....	1
1.1 はじめに	1
1.2 生産計画業務の現状	2
1.2.1 適用範囲と前提.....	2
1.2.2 生産計画業務における負荷計画・生産計画・差立計画	4
1.2.3 計画権限の実態.....	5
1.2.4 方策範囲の実態.....	7
1.2.5 生産 LT の実態	8
1.2.6 生産計画表の実態.....	9
1.2.7 生産計画の立案プロセスの問題	10
1.3 関連研究	11
1.3.1 数理的な研究	11
1.3.2 業務面での研究.....	12
1.3.3 マネジメント視点の研究.....	13
1.3.4 生産計画の事例研究	16
1.4 生産計画業務における仮説の設定	16
1.4.1 仮説1：生産計画問題の縮小化（負荷計画志向）	17
1.4.2 仮説2：生産計画問題の解消（差立計画志向）	17
1.5 研究の目的と構成.....	18
第2章 生産計画問題の数理的解法.....	20
2.1 総当たり法の適用.....	20
2.1.1 想定する問題	20
2.1.2 生産方策の評価.....	21
2.1.3 総当たり法の適用結果.....	23
2.2 分枝限定法の適用.....	24
2.2.1 分枝手続き	24
2.2.2 限定手続き	24

2.2.3 分枝限定アルゴリズム.....	24
2.2.4 分枝限定法の適用結果.....	24
2.3 遺伝的探索法の適用	25
2.3.1 遺伝的探索アルゴリズム	26
2.3.2 遺伝的探索法の適用結果.....	26
2.4 動的計画法の適用.....	27
2.4.1 動的計画アルゴリズム.....	27
2.4.2 動的計画法の適用結果.....	28
2.5 平準化と同期化の適用.....	29
2.5.1 分析対象ライン.....	29
2.5.2 生産方式の検討①：生産能力を考慮しない場合.....	30
2.5.3 生産方式の検討②：生産能力を考慮する場合.....	33
2.5.4 平準化と同期化の適用結果.....	37
2.6 まとめ.....	38
第3章 生産計画問題の縮小化.....	39
3.1 生産計画モデル	39
3.1.1 想定するモデル.....	39
3.1.2 生産方策の評価.....	41
3.1.3 生産方策における不適格案.....	43
3.1.4 突発受注の優先順位	45
3.2 モデルにおける計画担当者の問題	46
3.3 モデルにおけるマネジメントの意思決定	49
3.4 まとめ.....	51
第4章 生産計画問題の解消.....	52
4.1 対象企業における生産計画業務.....	52
4.2 生産計画業務における問題点.....	53
4.2.1 業務 LT の問題	53
4.2.2 業務権限の問題.....	54

4.2.3 業務範囲の問題.....	55
4.3 方策の提案.....	56
4.3.1 方策Ⅰ：LT 短縮.....	56
4.3.2 方策Ⅱ：受注分析.....	56
4.3.3 方策Ⅲ：内示フローと確定フロー.....	57
4.3.4 方策Ⅳ：負荷計画.....	58
4.3.5 方策Ⅴ：差立計画.....	59
4.3.6 方策Ⅵ：在庫保有の分担.....	59
4.3.7 方策のまとめ.....	60
4.4 改善案の検証.....	61
4.4.1 業務 LT の問題に対する改善案.....	61
4.4.2 業務権限の問題に対する改善案.....	63
4.4.3 業務範囲の問題に対する改善案.....	64
4.5 改善案のシミュレーション.....	69
4.6 まとめ.....	70
第 5 章 結論と今後の課題.....	72
5.1 結論.....	72
5.2 今後の課題.....	74
参考文献.....	75
付録 A 平準化と同期化の検討.....	81
A.1 分析対象ライン.....	81
A.2 生産方式の検討.....	82
A.2.1 カット生産.....	82
A.2.2 判定幅生産.....	86
A.2.3 カット+判定幅生産.....	89
A.3 生産能力を考慮した生産方式の検討.....	92
A.3.1 カット生産.....	93

A.3.2 判定幅生産	94
A.3.3 カット+判定幅生産.....	95
A.4 まとめ	97

第1章 序論

1.1 はじめに

生産量や発注量を検討する OR(Operations Research)の基礎的な問題として“新聞売り子の問題” [1], [2]がある。この問題においては、朝仕入れた新聞をその日に販売するが、これは調達リードタイム(以下、リードタイムを LT と呼ぶ)が半日程度あることを意味しており、先の受注量が未確定という状況である。新聞の調達に一定の LT があるので、その LT 期間先の受注量を予測して新聞を仕入れるが、その日の新聞の受注量によって売り切れか売れ残りのいずれかが起こる。

受注型製造企業においては、生産体制や部品調達の計画に一定の LT があるので、LT を考慮した生産計画を立てる必要がある。計画時点では受注量は確定していないので、受注量を予測することが必要になる。そのため、予測・実績の差異が生じることで生産体制や調達部品の過不足が起こり、納期遅れや在庫発生になる。

計画型製造企業においては、製造や調達に一定の LT があるので、LT を考慮した生産計画を立てる必要がある。同様に、計画時点では受注量は確定していないので、受注量を予測することが必要になる。そのため、予測・実績の差異が生じることで製品の過不足が起こり、供給未達や過剰在庫になる。

つまり、①調達や生産に一定の LT があるために、②その LT 分だけ前の時点に計画を立てることになり、③その LT 分だけ後の時点の受注量を予測しなくてはならない状況は多くの製造企業に共通しており、予測・実績の差異から生じるこれら 3 つの問題を抱えている。

多くの製造企業の実生産計画担当者(以下、計画担当者と呼ぶ)は“もしも需要がわかれば”と考えているが、生産体制・生産方策・部品調達などの決定を LT 分だけ先行させる必要がある。そのため、計画担当者は LT 分だけ先の時点の需要が未確定で変動することを知りながら計画を立てざるをえず、悩みながら生産計画業務を行っており、彼らの悩みは大きなものとする。

このような問題状況に対して数理的な研究・提案が報告されている。しかし、これらの提案は、“実態の条件・制約と異なり適用が難しい”、“個々の手法・生産方式は生産計画の業務全体を対象にしていない”、“生産計画はトップダウン的な問題構造としてとらえられ

ていない”といった課題がある。

これらの課題のために、生産計画の実務を観察すると、様々な研究成果としての数理的知見が適切に活用されておらず、生産計画に実用的に役立つ知見が得られていないと考える。

生産計画問題がこのような閉塞的な状況にあることは、問題設定や前提条件が実態から乖離していると考えており、別の問題の捉え方をする必要があると考えます。本論文では、生産計画問題の問題設定や前提条件を再考して、現実的な問題把握とその解法を検討する。

1.2 生産計画業務の現状

本節では、最初に本論文の適用範囲と前提を示した上で、生産計画の構造と内容を整理することを通して、問題設定や前提条件を検討する。

1.2.1 適用範囲と前提

本論文の適用範囲として、対象企業、コスト(リスク)、計画担当者とマネージャーについては以下のように考える。

①対象企業における生産・受注

自動車メーカー→機器メーカー→部品メーカーという企業系列における部品メーカーを研究の対象企業としており、機器メーカーから部品メーカーへの注文は短・中期的には安定したものであり、景気動向によって大きな注文増減がある状況は想定しておらず、対象企業の生産・受注状況は以下のようなものである。

- ・ 自動車産業などの系列企業グループにおける大・中規模の部品メーカーでの生産部品は単品プレス品などもあるが、多くは組立を含む機能部品であり、生産の計画が必要である
- ・ 部品メーカーにおける生産は需要予測による計画型生産ではなく、自動車メーカー→機器メーカー→部品メーカーに順次発注展開される内示・確定注文に基づく受注型生産である
- ・ 機器メーカーから部品メーカーへの確定注文は看板方式などでコントロールされていることから、ある範囲の安定した状況を想定している。注文が安定しているとは言っても、受発注あるいは生産調整による変動、生産時期による変動、工場メンテ

ナンスによる変動などはある

- ・ 安定した注文状況でかつ翌月のおおよその注文総量が把握できることから、ある日の注文減に対しては注文増が、また逆に注文増に対しては注文減があることになる。それら日々変動への生産対応は必要であるが、月全体としては平均的な生産が可能である
- ・ 固定費コスト削減のために、生産ラインの生産能力は安定的な注文量に見合う分だけであり、余分な生産能力はなく、生産ラインは100%近い稼働状況である

②対象企業におけるコスト

系列の部品メーカーでも長期的な視点での整理・統合はあるが、最近の世界規模のデフレ状況で起きている突然注文がなくなるリスクや、2011年の大震災などによる突然の操業停止などのリスクは本論文では想定していない。論文で想定するリスクの一面であるコストは以下のようなものである。

- ・ 系列の部品メーカーでは“欠品が生じれば他社に仕事を回される”というリスクはないが、注文に対する品切は許されない状況である
- ・ しかし、実態としては納期変更などで品切を回避しているので、品切が起きていると考えられるので、品切の評価と最小化の検討は必要である
- ・ 在庫積み増しなどは残業などのコスト増を伴うので、できるだけ在庫を少なくする必要があることから、在庫の評価は必須である
- ・ 在庫は月度単位、すなわち月末在庫がコストとして評価されることから、“同じ製品を連続して生産しているなら残業して在庫を積み増しても良い”状況ではない
- ・ 生産計画の意思決定において、品切と在庫以外の他のコストが与える影響は小さいと考え、品切と在庫のコストを評価することにした

③計画担当者とマネージャー

1.1 で述べたように、生産計画は計画担当者だけの問題ではなく、生産計画立案プロセスにおける関与者全員の問題としてとらえるべきことを本論文では考察していくが、計画立案プロセスと、そのプロセスにおけるマネージャーと計画担当者は以下のように考えている。

- ・ マネージャーとは工場でのマネジメント階層全体を意味しており、後述する計画レベルに対応させれば、戦略レベルの負荷計画では“工場長”、戦術レベルの生産計画で

は“部長・課長”そして運用レベルの差立計画では“計画担当者(係長)”を考えている

- ・ 日本の工場でも PDCA サイクルによる運営が行われているが、マネージャーの関与は薄く、計画担当者が立案した計画の確認は十分とは言えない状況が普通であることから、PDCA の運用は形式的であり、計画担当者が権限レベルを越えるような意思決定を行わざるを得ない状況である
- ・ 計画担当者の差立計画立案は、工場長担当である負荷計画と、部長・課長担当である生産計画と関連したものであることから、マネージャーの計画業務への参画・協業と、関連する意思決定も考察する必要がある

1.2.2 生産計画業務における負荷計画・生産計画・差立計画

製造企業における工場では、生産活動のもとになる計画が立てられる(Plan)。そして、その計画にしたがった生産活動(Do)が行えるように管理され(Check)、その結果を見直し、次の計画にフィードバックする(Action)PDCA サイクルがある。名称はさまざまであるが、一般的に計画は負荷計画、生産計画、差立計画に分類され[3-8]、各レベルの計画を経て生産活動が行われる。負荷計画の目的は、大きな注文の変動に対する生産能力の増強や在庫の保有などの生産体制を検討することである。例えば、生産能力の増強では、新しい設備を導入するので、準備に必要な時間が長くなり、在庫の保有でも少しずつ在庫を増やしていくなど、準備に必要な時間が長くなる。これらを検討する負荷計画は3ヵ月前から3年前頃に立てられ、検討する内容からマネージャーによって立てられることが一般的である。

生産計画の目的は、顧客から得られる注文の目安となる内示に対応するための生産方策を検討することである。1ヵ月前から3ヵ月前頃になると、生産能力の変更や在庫保有の準備をするには間に合わない時期になるが、通常、顧客から内示と呼ばれる注文情報を得ることができる。事前に負荷計画において販売量とそれに必要な生産体制が明確にされている状況では、検討済みの生産体制にしたがった残業の有無などの生産方策を検討する程度で済む。

差立計画の目的は、確定した注文に対応するための運用方法を検討することである。前日から1週間前頃になると、通常、顧客から確定した注文情報を得ることができ、生産計画と確定をもとに、設備や作業者に生産の割当や、生産の順番といった日々の運用方法を

検討する。差立計画は確定した注文をもとにするため、一般的に計画担当者によって立てられる。

以上のように、マネージャーの決定問題である負荷計画が展開され、計画担当者の運用問題である差立計画が立てられ、最後にこれを作業指示として生産活動が行われると考えられている。しかし、このようなトップダウン的な計画の立案プロセスは日本の製造企業において実施されていない実態[9]が多くある。

1.2.3 計画権限の実態

図 1-1 は、横軸に「年 - 四半期」で示した 3 年をとって、縦軸に注文量と工場・ラインをとって、3 つの計画を時系列的に示したものである。負荷計画の計画期間を 1 年半先までとし、生産計画の計画期間を 1 ヶ月先までとし、差立計画の計画期間を 1 週間先までと

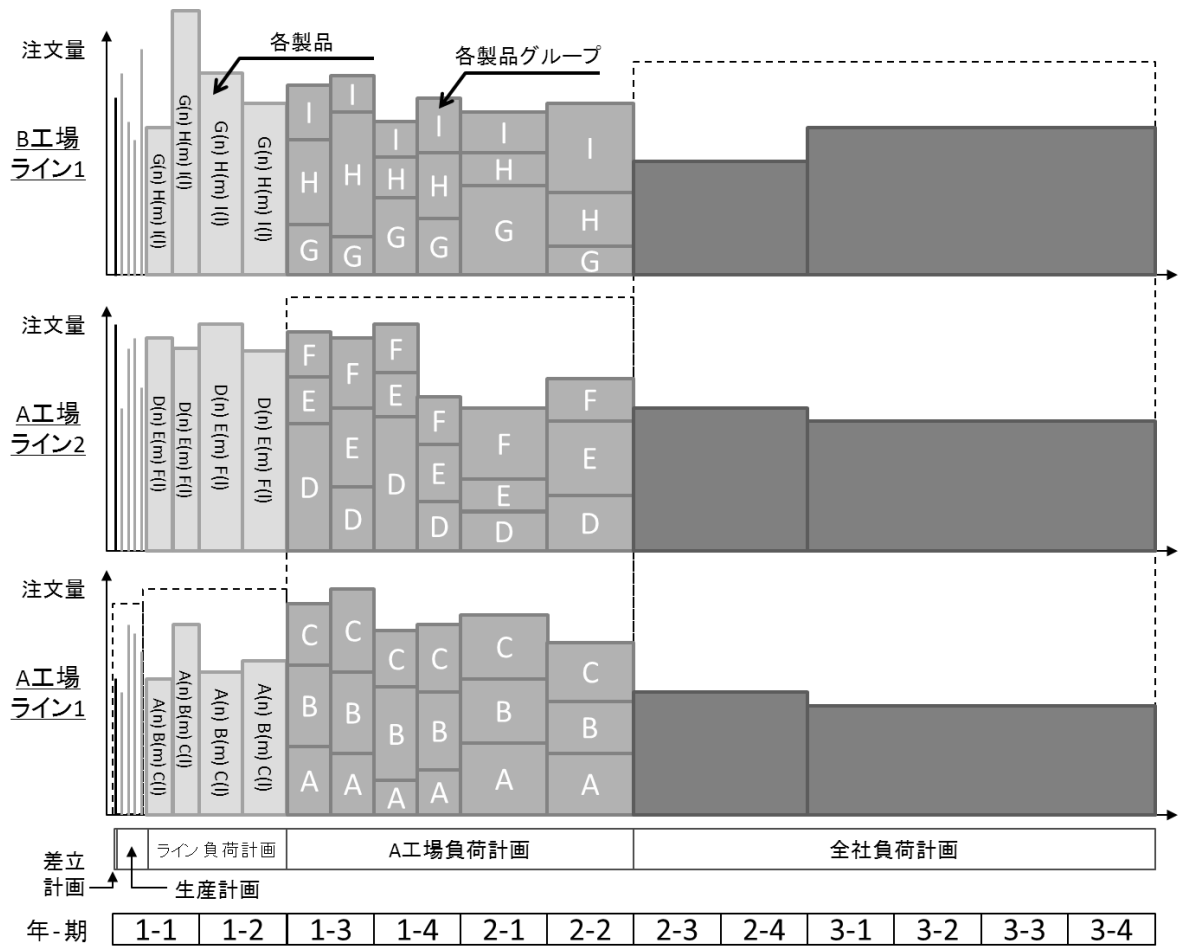


図 1-1 負荷計画・生産計画・差立計画

した。負荷計画の計画期間における注文情報は顧客から得られないため、計画期間の需要は想定する必要がある。この需要の想定において、需要を不確実なものと捉え、不確実性下での議論が多く行われているが、需要の変化のスピードが速く、変化の幅が大きく、これまでと異なることが生じる最近の状況において、その議論には限界がある。こうした状況に対して、特に外国の製造企業では、検討して議論すれば求めることができるのではないかと考えるのではなく、決めることであると考え、需要の変化に対して「どれだけ販売するか」を決め、それに「どのように対応するか」をマネージャーが決めている。しかし、日本の製造企業ではこれを明確にしていないのが実態である。代わりに「先の計画期間についても考えること」と計画担当者に指示することが多い。しかし、先のことは負荷計画で決めるものと考えれば、情報も権限もない計画担当者に対応を任せること自体が間違いとなる。指示を与えられた計画担当者としても、これまでの状況が今後も続くという前提のもと、多め少なめという程度の見通ししか立てられず、「今後も変化がなければ大丈夫です」と答えるしかない。

このような変化がないことを前提とした見通しを負荷計画とは呼べず、将来の変化への対応をマネージャーが明確にすることを先送りしていることになり、その対応は後手に回ってしまっている。

生産計画と差立計画について後述するが、マネージャーが負荷計画を明確にしない状況では、生産計画において唯一利用可能な情報が内示となるため、内示をもとに日や週ごとの製品や製品グループごとの生産量を生産計画表と呼ばれるものを用いて検討しなければならない。表 1-1 に生産計画表を例示する。横軸が各日付で縦軸が各製品で表されるような生産計画表に値を埋めていく作業はいかにも計画担当者の行う業務であるように思える。しかし、その内容が未確定情報をもとに、それが変更されることも想定した上での生産量の決定であることから、マネージャーが明確にするものであるため、これを計画担当者が代わりに行っていることは内部統制面で問題である。

表 1-1 製品別の生産計画表の例

製番	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日
製品1																									
製品2																									
製品3																									
製品4																									
製品5																									
製品6																									
製品7																									
製品8																									
合計																									
製品9																									
製品10																									
製品4																									
製品12																									
製品13																									
製品14																									
製品15																									
製品16																									
製品7																									
製品18																									
製品19																									
製品20																									
製品21																									
製品8																									
合計																									

1.2.4 方策範囲の実態

負荷計画を明確に示さないマネージャーから「先の計画期間についても考えること」という指示に加えて、生産計画の立案時には「どんな大きい注文にも対応すること」という指示が与えられることが多い。どれだけ大きい注文にどのように対応するかを負荷計画で明確にするはずが、それを先送りしてしまっているため、生産計画の段階で検討したとしても準備期間が短く、取りうる生産体制は限られることからタイミング的に遅い。

計画担当者が把握している過去の注文データから大きな変動のものを抽出し、その変動に対応するために、現時点の生産能力をフル活用する生産方策を検討したとして、その生産方策で必要となる在庫や保有することになる在庫をマネージャーに提示すると、品切と在庫はゼロが理想であるため、「品切と在庫を少なくする工夫をすること」という指示が与えられる。図 1-2 に品切ゼロから在庫ゼロまでの取りうる生産方策の範囲を示した。品切と在庫はトレードオフの関係であり、生産計画の立案

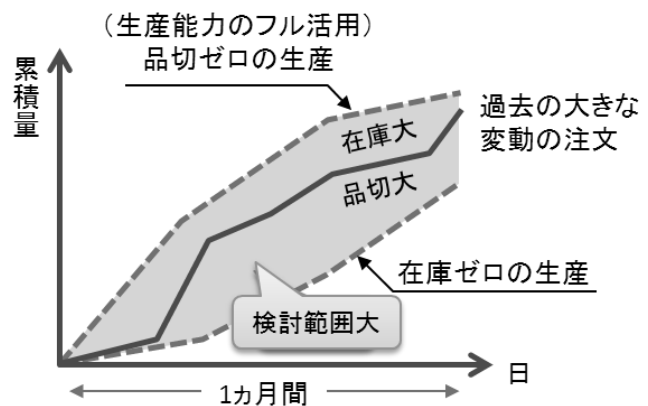
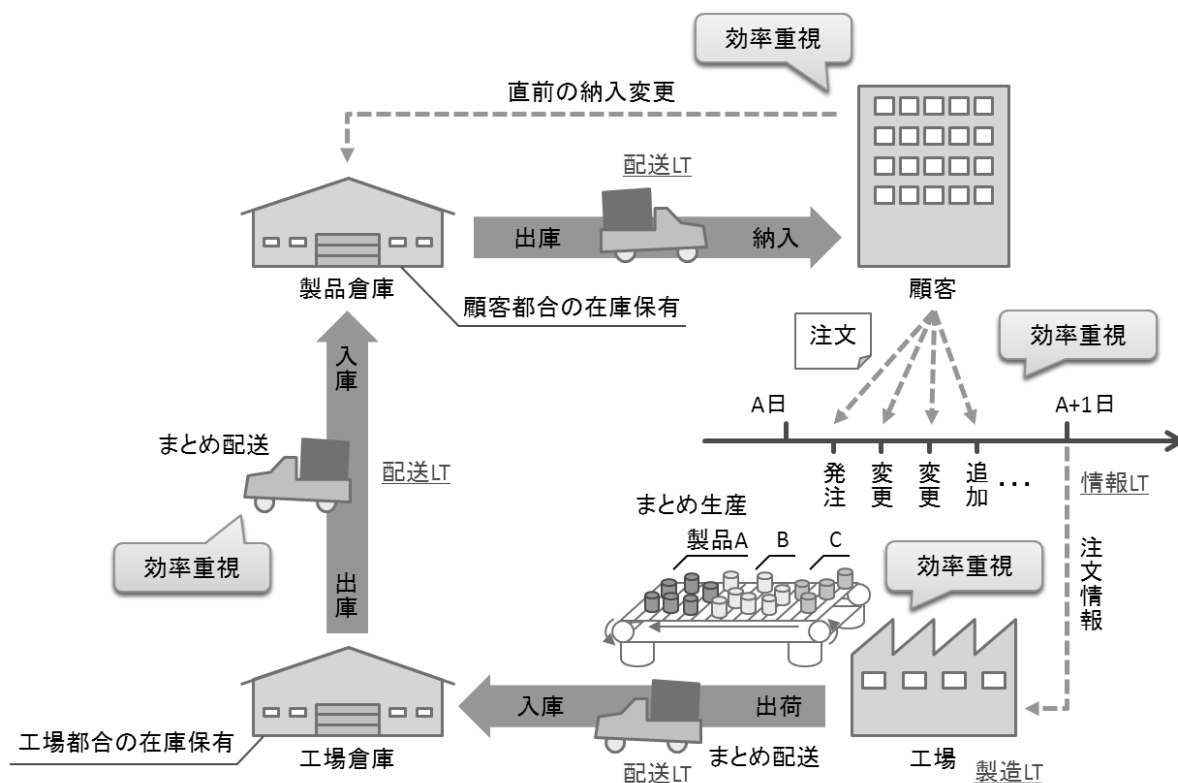


図 1-2 生産方策の取りうる範囲

時には注文が未確定で変動するため、品切と在庫をゼロとすることは難しい。マネージャーも難しいことはわかっているが、理想として指示し、工夫を求めざるを得なくなっている。負荷計画においては生産計画の前提として在庫で対応する注文の変動範囲や、生産計画の目標として品切と在庫の評価基準を明確にしなければならない。理想であるが達成しえない指示だけが与えられ、前提も目標も与えられない生産計画は適切な計画となりにくい。

前日から1週間前の時点では注文は確定していることが多い。確定した注文情報を用いて、生産計画をもとにしながら、設備や作業者への生産の割当や生産の順序などを差立計画で検討する。そして、この差立計画が製造現場への作業指示となる。差立計画において検討する内容が運用方法であることから“計画”というより“管理”の色合いが強く、これが“生産管理”として議論されている。確定した注文情報を扱うために、確定論的な割当・順序問題となる計画であるが、実態はそうにならないことがある。



は、工場から顧客への製品の流れの中にいくつかの倉庫が存在している。工場近くにある工場倉庫は、工場でのまとめ生産によって、生産したものをそのまま顧客へ出荷できないなどのため必要となる。その倉庫の在庫は工場の都合のための在庫である。顧客近くにある製品倉庫は、顧客からの変更される納入指示へ対応するなどのため必要となる。その倉庫の在庫は顧客の都合のための在庫である。どちらも物流効率を考えたまとめ配送をするために必要となる倉庫でもある。こうした生産物流構造は変動する顧客からの注文に“どのように対応するか”としてマネージャーが明確にするものである。しかし、生産や物流が行われている間に極端に言えば“自然”と運用されてきた生産物流構造となっていることが多く、たとえば生産や物流の効率が重視される形になっている。そして、これら倉庫を経由して顧客へ納入するため全体の生産 LT が長くなる。さらに、顧客からの受注情報の変更や追加が 1 日の中で入り乱れるため、それら変更や追加が収束する夜半に受注情報をバッチ処理することがふつうであり、これによって生じる情報 LT が生産 LT を長くする。この長くなった生産 LT によって、確定を用いた確定論的問題であるはずの差立計画が、確定を用いることができずに“計画”の色合いが強いものとなり、本来の運用方法を決める“管理”的な役割の差立計画ではなくなるため、計画担当者が立てる差立計画は適切な計画となりにくい。

1.2.6 生産計画表の実態

以上のように負荷計画から生産計画、差立計画へ展開していく立案プロセスが確立されていないために、負荷計画・生産計画・差立計画が“計画担当者の生産計画”と一括りにされていて、いろいろな側面や要素を考えながら試行錯誤を繰り返して生産計画表を作成している。図 1-4 にその生産計画表の運用方法を例示する。製品別の生産計画表には日ごとの注文量と生産量と在庫量を示している。直近 1 ヶ月の日ごとの生産量を決定する生産計画において、注文量は未確定であることが多く、製品別の生産計画表の注文量には唯一利用可能である内示を示している。確定では変化することがわかっている内示を用いて、マネージャーが明確に目標を示していない在庫の不足と過剰を考慮しながら、生産量を各製品で日ごとに決めることになる。生産ラインは複数製品の製造が可能であることが多く、ライン別の生産計画表には日ごとの各生産ラインの合計生産量を示している。現有の生産能力に対して合計生産量が大きすぎる場合や小さすぎる場合には、再度、製品別の生産計

画表に戻って生産量を決め直す。このようにそれぞれの生産計画表をいったりきたりして各生産ライン、各製品、各日の生産量を決めている。しかし、内示注文が確定注文と等しいと仮定して、目標と前提が与えられないままに作成した生産計画表は確度が低いものとなり、参考程度の扱いとなっていることが多い。その結果として、稼働率が下がりすぎないように、また反対に、作業負荷が高くなり過ぎないように生産量を調整するなどの生産現場視点の管理によって行われている実態が多い。このように利用されない計画、または計画のない生産活動となっているため、計画に基づいた生産活動となるように立案プロセスを変えていく必要がある。

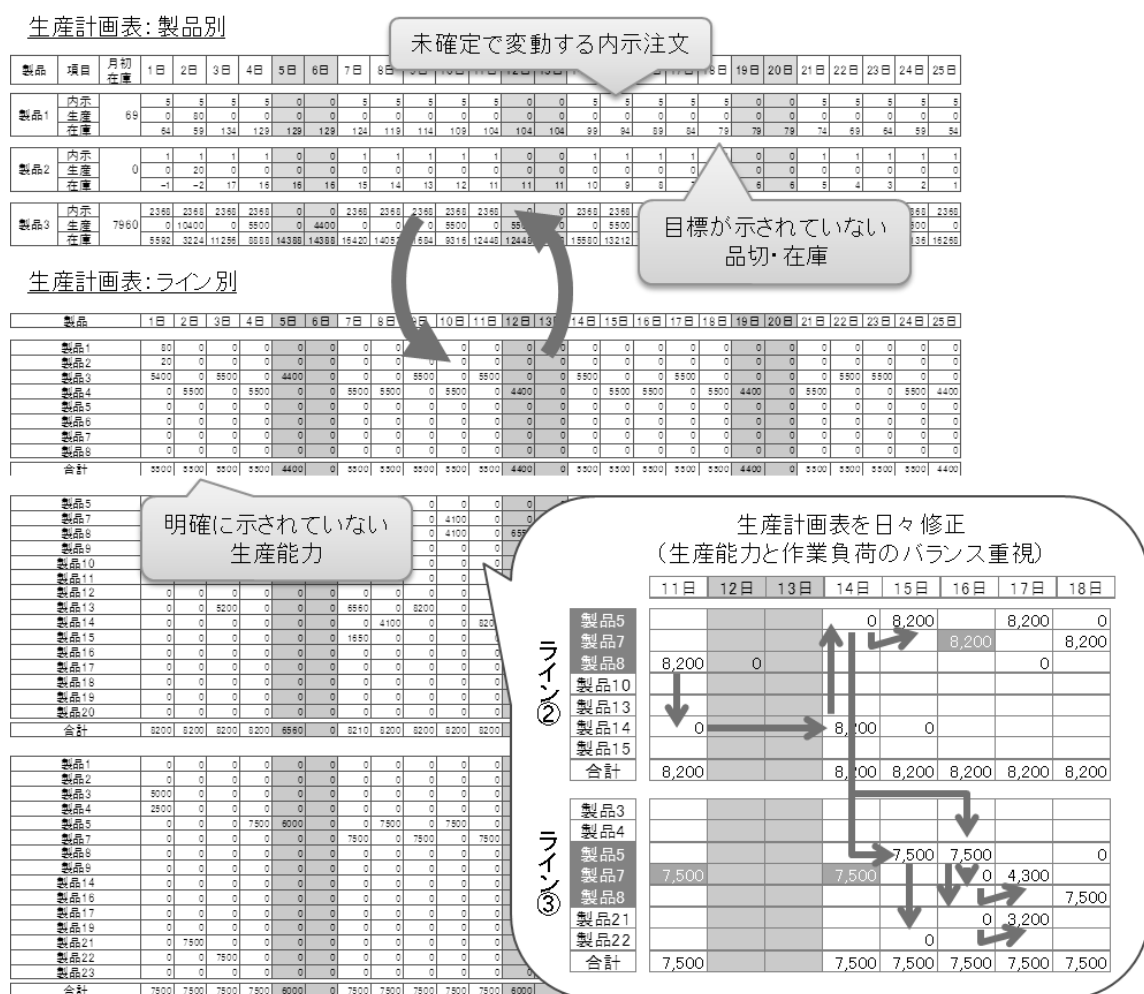


図 1-4 生産計画表の運用方法

1.2.7 生産計画の立案プロセスの問題

先の期間の需要の想定、品切と在庫の目標の設定、生産物流の運用の方法は計画担当者

の情報・権限を超えた課題であり、負荷計画でマネージャーが明確にすることになる。しかし、負荷計画・生産計画・差立計画が明確に分類されず、ひとくくりに“計画担当者の生産計画”と呼ばれ、負荷計画・生産計画・差立計画におけるいろいろな側面・要素を考えながら試行錯誤して作成した生産計画表も参考程度の利用にしかならず、日々の生産活動は計画のない管理によって行われている実態が多い。

これを3つのレベルの計画にあてはめると、計画担当者が作成する生産計画表でいろいろな側面や要素を検討することから、負荷計画と差立計画のない生産計画志向という実態になっている(図1-5)。

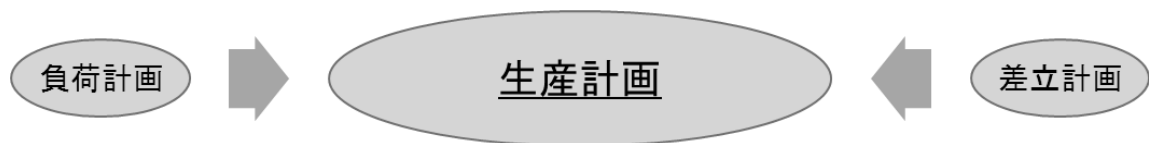


図1-5 生産計画志向

このように、負荷計画・生産計画・差立計画が明確に分類されないままの状況で、計画担当者が作成する生産計画表は参考程度の扱いとなり、Plan と Action のない管理と生産活動だけのDCサイクルになっている実態がある。

計画を立案・展開するプロセスがなく、計画のない管理ベースで作業指示している状況を問題構造[10]で考えれば、立案プロセスがなく、計画自体もないのが“現実”であって、プロセスありき、計画ありきの研究では“問題”の解決にはならず、そこで得られる手法を適用する場は少なくなる。また、マネージャーが負荷計画を明確にしていないことから、生産計画や差立計画における“目標”も設定されていない。したがって、現実と目標の間にある“問題”も漠然としているのが生産計画の問題構造である。

1.3 関連研究

1.3.1 数理的な研究

生産計画における数理的な研究として、三原と角倉[11]は2製品の1年間の需要を年度末に1回納入する状況において製造費と在庫保管費の合計を最小にする最適生産計画、郭他[12]は需要量が確率的に生じる1製品の多工程製造で各工程の在庫量に制約がある状況において製造・在庫保管・品切費用の合計を最小にする最適生産量、田村[13]は各期の需要が一定である複数製品を1ラインで品切なしで製造する状況において製造・在庫保管・

段取・残業費用の合計を最小にする最適生産計画の立案方法を提案している。他にも、費用最小化を目的関数とする研究として、スケジューリング[14]、[15]、発注回数[16]、在庫補充点[17]などが議論されている。

これらの製造費用の最小化は製造企業の目的の一つではあるが、その目的以前に製造企業には製品の供給責任があることから、どれだけの品切を認めるか、注文に対応するためにどのような生産体制とするかはマネージャーの意思決定問題である。これらの意思決定問題を一般化した上記の研究の最適解を見ると、年間の需要量の半分が品切となる生産量であったり[11]、生産しない日が生じたり[12]、一定の需要量に関わらず品切が生じたり[13]している。これらは、顧客との継続的な取引において供給責任のあるマネージャーの立場では考えない解であり、また製造現場の就業状況を一定にしたい計画担当者の立場では適用が難しい解である。

マネージャーと計画担当者にとって、ある時点で適用可能な最適解であったとしても、生産環境の変化に伴って、問題状況と解も変化する。状況が変化し続ける実態へ適用するのに、都度それに合った解法を導出する必要があるため、多くの時間と手間を要することも課題となる。このように、マネージャーと計画担当者の役割を区別せず、問題の構造が漠然としたままでは、特定の状況を想定して解かざるを得ない。そのような生産計画モデルの研究から得られた知見を実態へ適用することは難しく、参考としての適用に留まっているのが実態であると考ええる。

上記のように、これらの関連研究の知見の適用が限定的になっているのは、問題の所有者と問題の範囲を明確にするという、問題構造の整理が不足していることが原因と考える。

1.3.2 業務面での研究

①業務スパンの問題

業務スパンに関連した研究として、先の不確定さを排除する生産方式の研究と実践があり、その代表はかんばん方式[18–24]である。かんばん方式では、“売れたものを作る”ことを目指しており、先の生産計画なしで現時点での生産の仕掛けを決定していくという知見は有益であり、参考になる知見と考える。

業務スパンの問題における“もしも需要がわかれば”に関連して、需要予測法では多くの研究[25–28]があるが、決して“需要がわかる”ものではない。塩野[29]が、「需要予測

業務とは単なる当てはまりの良いモデルを構築する業務ではない」、「筆者の経験則では、発生都度モデル自体を作り直すのが現状であり、そのためには過去のデータが必要である」と指摘しており、業務システムの問題に関連して、「当初構築したモデルで使用しなかったデータでも保存する仕組みは構築しておく必要はある」と指摘している。

②業務プロセスの問題

業務プロセスに関連した研究として、井上と岩宮[30]が「ある製品や製品カテゴリに対してサプライチェーンパートナーが共同で事業計画を立案し、最終消費の需要予測を共同で作成、予測に合わせた製品補充を行う CPFR(Collaborative Planning Forecasting and Replenishment)」を展開している。光國[31]が「需要計画ベース(Push 方式)の SCM ツールと需要予測の精確度(精緻度と正確度)を高める手法が世界を席卷しているが、供給計画策定のための理論・手法と在庫計画策定のための理論・手法が混同されている」と指摘している。また、業務システムの問題も関連させた研究として、山本[32]が「コピー機消耗品の需給で物流・消費データが役立つ経営情報として活用できていない」問題を取り上げ、「需給モデル構築・需要推定モデル提案を通して、在庫削減と経営情報を活用した業務改善ができる」ことを示している。

③業務システムの問題

業務システムに関連した研究として、松井他[33]は「在庫の適正水準をオンラインに管理すること」の必要性、松井他[34]は「需給プランナーの体系や各ステップの解説および実行例を示し、需給戦略における理論」の必要性、佐藤他[35]は「適切な緩衝在庫を持つ、製造ラインの生産能力を状況に応じて変化させる、および、部品の共通化により製品構成を見直す」という方策について論じている。

これらの関連研究から得られる示唆は多いが、本論文における生産計画の立案プロセスの考察への直接的な応用は難しい。そこで、生産計画業務の改善という視点でのアプローチを試みて、生産計画の立案プロセスに関する方策を検討する必要があると考える。

1.3.3 マネジメント視点の研究

製造企業の経営環境において、以下の研究のようにマネージャーと計画担当者の役割の期待・分担の明確化が必要になってきている。

①PDCA

西洋から学んだ PDCA は“Plan”という目標をトップダウンで随時レベルアップして改革を志向するマネジメント・サイクル(図 1-6 左)であるが、日本で実践されている PDCA はボトムアップによる改善を志向する DC サイクル(図 1-6 右)である。「アメリカに追いつけ」[36]という Plan(目標)がある時は PDCA サイクルが機能していたが、その目標が達成されてからは、それに変わる新たな Plan(計画・目標)が明確になっていないことが多く、そのような Plan のない Do と Check だけの DC サイクルではレベルアップに結びつきにくい。

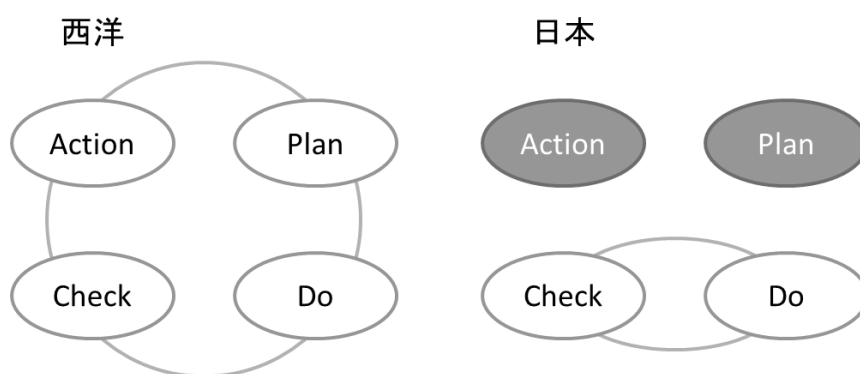


図 1-6 西洋と日本の PDCA サイクル

この“Plan なし”を示す理由として、日本の製造企業では“生産管理システム”はよく聞くが、“生産計画システム”はあまり聞かないことがあげられる。生産計画は“もののフロー”を伴わない“情報フロー”が対象であることから、まさに IT 活用が可能な業務であり、西洋では IT 活用で計画のレベルアップが行われているのに対して、Plan(生産計画)なしの日本では IT 活用は西洋に比べて進みが遅いと考える。

山本[37]は消耗品の需給問題を対象として、その問題を需給業務担当者に押付けたり、当たらない需要予測を用いたりする過去のアプローチに対して、需給業務を組織全体の問題として捉え、組織全員による現場・現物的な情報共有や分析を行うアプローチを示し、マネージャーと需給業務担当者の協業の必要性を論じている。

②TQC

TQC(Total Quality Control)展開による品質向上は日本の製造業を世界一にした源泉である。TQC を評価する研究では、全員参加による QC サークルが成功要因と説明されるこ

とが多いが、実はその裏には、トップの品質方針を上位から下位に方針展開して、品質改善の成果を下位から上位に報告していくというマネジメント構造による活動であったことが、TQC が成果をあげた要因の一つであったと考える。

すなわち、前述した PDCA サイクルが TQC では実施されていたのである。しかし、TQC における PDCA サイクルは審査時の形式的なものであったことは否めず、企業風土として定着しなかった。そのため、PDCA サイクルは TPM(Total Productive Maintenance)などで限定的に実践されることはあっても、製造企業の目標である QCD において品質(Q)と並ぶコスト(C)や納期(D)への展開にはつながらなかった。

岩崎[38]によるサンデンの TQC 活動の報告では、サンデン独自の TQC 活動を社長自ら定義し、活動開始を宣言していることに特徴があり、その社長方針に基づいて、経営幹部には改革、社員には改善を求め、業績向上に結びつく改革活動に展開することで、活動開始時点に 1%であった連結経常利益率が 3 年間の活動で目標の 5%を達成したと示されている。さらに、岩崎はマネージャーが全社課題を認識して各部門の方針を決定することが重要であると示しており、マネジメントと各レベルの管理者・担当者の役割期待を明確にすることの必要性を論じている。

③ヒューマンエラー・マネジメント

岡田[39]は“ヒューマンエラー・マネジメント”で、「ヒューマンエラーや PSF の分析・評価手法はあくまで手法であり、それらを実践しても、ヒューマンエラーを防止できない。これらの手法の結果をもとに、ヒューマンエラー対策の活動方針を策定・展開することで、はじめてヒューマンエラーを管理できる」と指摘し、経営的なエラー防止体制のことを“ヒューマンエラー・マネジメント・システム”と呼んでいる。

すなわち、分析・改善手法は管理手法の一部であると共に、担当者だけのヒューマンエラー防止活動には限界があり、目標という Plan を含めた PDCA サイクルを回すことを組織全体で展開するべきであることを指摘しており、マネージャーから担当者までの協業の必要性を論じている。

上記の 3 つの関連研究で考察してきたマネージャーと担当者の役割分担・協業を生産計画に当てはめてみれば、日本のこれまでの生産計画は計画担当者レベルの運用問題における改善アプローチであったが、生産環境の変化によって、計画担当者レベルの改善アプローチでは解けない問題状況になってきており、この“解けない”問題状況が計画担当者の

悩みになっていると考える。

1.3.4 生産計画の事例研究

生産計画による対応ではなく確定注文による生産を志向した研究[40]、月次計画ではなく、より短期的な週次計画による生産の研究[41]があり、確定注文や短期計画の示唆は活用できるが、これら計画方法変更におけるマネージャーの参画についての検討も必要である。生産計画業務を改善するために情報システムが果たす役割は大きく、導入した情報システムを有効に使って改善活動につなげる研究[42], [43]は参考になるが、情報システムの活用によって、どのような方向性で生産計画業務を改善していくかの検討も必要であろう。工数削減などの改善活動の結果として生産 LT を短縮した研究[44], [45]は興味ある研究であるが、本論文で考える確定注文での生産を可能とする生産 LT 短縮を目指してはいない。

以上の事例研究の知見は有益なものではあるが、事例研究ゆえに限定的な検討に留まっている。本論文で考えている、計画担当者とマネージャーの協業や負荷・生産・差立計画を通した計画といった全体的な視点から生産計画をとらえ、問題を解くよりも解消するといった視点での有益性は高くはない。

1.4 生産計画業務における仮説の設定

マネージャーと計画担当者の役割や負荷計画・生産計画・差立計画を区別せずに漠然とした“現実のまま”、さまざまな側面に関して言及しているに過ぎず、議論されている計画担当者の“生産計画問題”は“問題”として定義されているわけではない。そのため、生産計画問題を対象とした多くの研究では、特定の条件や状況を一般化して解かざるを得ず、得られた知見が実態に適用されることは少なくなっている。

1.2 と 1.3 の検討を踏まえて、本論文では、計画担当者の生産計画にすべてが盛り込まれた“生産計画志向”の問題構造を再考して、負荷計画において生産計画の前提となる対応範囲と生産計画の目標となる評価基準を決める“負荷計画志向”の問題と、顧客と工場都合による LT の改善と生産変動の抑制策による“差立計画志向”の問題を検討する。図 1-7 に負荷計画志向、生産計画志向、差立計画志向を示す。

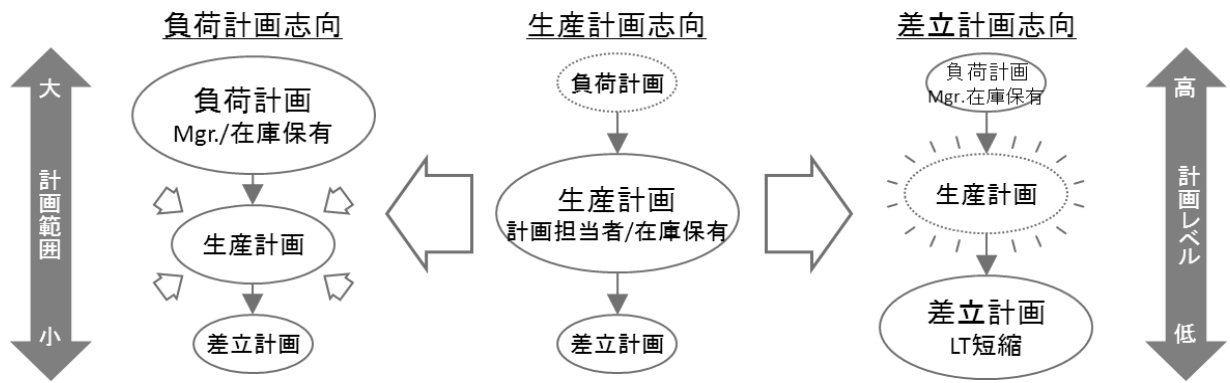


図 1-7 負荷計画志向・生産計画志向・差立計画志向

1.4.1 仮説 1：生産計画問題の縮小化（負荷計画志向）

生産方策を検討する生産計画の立案時に「品切と在庫はゼロに近づけること」と指示され、運用する在庫を最低にすることを求められるが、これは達成しえない指示であり目標とは呼べないものになっている。そこで、目標となる評価基準として「品切と在庫のどちらをどの程度重視するか」をマネージャーが決定することを検討する。

「どんな大きな注文にも対応すること」という指示は、負荷計画においてどの程度の注文変動に対応するかをマネージャーが決定しないための指示になっている。そこで、ある生産量の上下限を決めて、「上下限外の注文には在庫保有・運用で対応する」とマネージャーが決定することを検討する。

以上の 2 つによって、負荷計画をマネージャーが明確にすれば“評価基準を決め在庫保有を認めることで生産計画問題を縮小化できる”と考え、これを仮説 1 とする。

1.4.2 仮説 2：生産計画問題の解消（差立計画志向）

注文の変動に対応する生産物流構造をマネージャーが明確にしていなかったために、個別の効率などを重視することで生産 LT が長くなり、本来は確定情報による確定論的な割当・順序問題で“管理”であった差立計画が“計画”の要素を含んだものとなってしまう。そこで、生産 LT 短縮を図り、確定した注文情報をもとに差立計画を立てることを事例に基づき検討する。

内示ではなく確定をもとに日々の生産量を決めることができたとしても、日々の注文量は変動するため、その変動を抑えた生産量にする必要があることから、生産量を決める方式について検討する。

以上の 2 つによって、生産 LT を改善して、生産量の変動を抑える生産方式を工夫すれば“顧客・工場都合の LT 改善と生産量の抑制策で生産計画問題を解消できる”と考え、これを仮説 2 とする。

1.5 研究の目的と構成

上記の検討から、生産計画問題の構造や内容の整理が不足しているのが課題であると考ええる。多くの数理モデルを用いた関連研究では、いろいろな側面を含み、問題が漠然としている生産計画を数理的に解くために、研究におけるモデル化は特定の条件に基づくものにならざるを得ない。その解法から得られる知見を漠然としている生産計画に活用することは難しく、現場の計画担当者は混迷の中で生産の計画と管理を行わざるをえないのが実態と考える。

それらのモデル化と数理解を否定するわけではないが、モデル化以前に現在の生産計画が抱える問題の実態をより詳細に観察・分析して、解くべき生産計画問題、そして解き方について考えて、より実践的な問題を提案し、その解を求めていくことが必要であると考ええる。生産計画問題の基本である、マネージャーの意思決定問題と計画担当者の運用問題が区別されていないために、負荷計画から差立計画までが混在してしまっていて、適切に問題を設定できない状況がある。

これに対して、本論文では、

仮説 1 : 評価基準を決め在庫保有を認めることで生産計画問題を縮小化できる

仮説 2 : 顧客・工場都合の LT 改善と生産量の抑制策で生産計画問題を解消できる

という 2 つの仮説を設定し、実データとその実データを用いたモデルをできる範囲で一般化した上で、データとモデルを用いて、2 つの仮説を検証することによって、生産計画問題の新たな視点を見出し、生産計画の立案プロセスの改善例を提案することを本論文の目的とする。

本論文では、上記の研究目的を達成するために、以下の構成で検討した。

第 1 章では、研究の背景、生産計画業務の考察、関連研究、仮説の設定、研究目的について述べた。

第 2 章では、第 1 章の関連研究で引用した文献で用いられている数理解法のいくつか

について、本論文で例示的に扱う問題状況に適用して、それらの解法を適用する上での課題と、得られる最適解と知見の応用性を検討する。

第3章では、仮説1“評価基準を決め在庫保有を認めることで生産計画問題を縮小化できる”に関して、計画担当者の生産計画業務における問題状況をモデル化した上で、マネージャーの意思決定がされていない生産計画では計画想定範囲が大きく、意思決定された元での差立計画であれば計画想定範囲が縮小化されることを実験的に検証して、生産計画立案プロセスとして提案する。

第4章では、仮説2“顧客・工場都合のLT改善と生産量の抑制策で生産計画問題を解消できる”に関して、対象企業の生産計画業務の実態分析を通して、生産計画業務に関連する3つの問題点を抽出し、それらの問題点に対する改善案を示し、対象企業のデータを用いてその実行可能性を検証する。

第5章では、本論文の結論と今後の課題について述べる。

第2章 生産計画問題の数理的解法

本章では、1.3 の関連研究で引用した文献で用いられている数理的解法について、本論文で例示的に扱う 2 つの計画に適用する。2.1 から 2.4 が生産計画、2.5 が差立計画である。これらの解法を適用する上での課題と、得られる最適解と知見の応用性を検討する。

2.1 総当たり法の適用

計画担当者は生産計画において生産方策である残業の有無を決定する。その生産計画問題は組合せ論の問題と考えられる。各生産方策の評価値を総当たり計算して、最適値を示す生産方策を決定する方法を以下に示す。

2.1.1 想定する問題

本節では、問題状況を以下のように設定する(なお、2.2 から 2.4 でも同じ状況を想定する)。顧客からの日々に確定する通常受注量は D であるが、計画期間内のいずれかの週末に、生産能力では対応できない突発受注が通常受注に加わる。

日当り生産能力は通常受注量と同じ D とし、計画期間は W 週間とする。週ごとに残業の有無を決定し、残業すれば週当り $0.5D$ の生産追加となる。想定される突発受注に対応した在庫積み増しを行うために、生産計画の立案時に各週の残業の有無を決定するので、生産方策は 2^W パターンとなる。なお、月初在庫は 0 とする。

図 2-1 に計画期間が 4 週間($W=4$)とした場合の想定する突発受注を示す。各週の残業で週当り $0.5D$ の在庫を積み増すことができるので、残業で対応できる突発受注は右下の白三角の $0.5D * n$ ($n=1,2,3,4$) 以下となる。これら突発受注には計画担当者が立案する生産計画で対応する。月初在庫を 0 にしているため、左上のシェード三角の突発受注は $0.5D * n$ の残業による生産追加では必ず品切になる。これら突発受注の月初在庫による対応はマネジメントの対応範囲として、生産計画の対応範囲外とする。

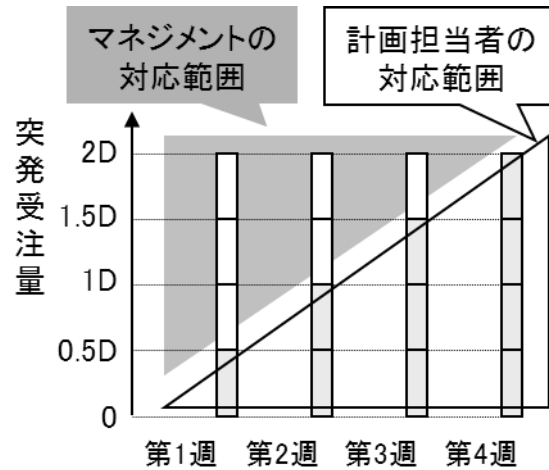


図 2-1 突発受注量と対応範囲

最大の突発受注に対して品切を回避するならば毎週残業をすればよいが、最大の突発受注がこなかった場合には在庫過多になる。逆に、在庫を回避しようとするれば残業を少なくすればよいが、残業による積み増し在庫以上の突発受注がくれば品切になる。このトレードオフが計画担当者の悩みとなる。

図 2-1 の右下の白三角は残業で積み増すことができる在庫でもあり、 n 週で $0.5D * n$ となる。この積み増し在庫に対応させて、想定する突発受注を $0.5D$ 刻みとすると $W(W+1)/2$ ケースある。これらに突発受注がこない 1 ケースを加えた $W(W+1)/2+1$ ケースのいずれかが起こる。

これら突発受注の $W(W+1)/2+1$ ケースに対して、前述した 2^W パターンの生産方策の中から一つを選択することが計画担当者の生産計画の問題となる。

2.1.2 生産方策の評価

各生産方策を以下の手順に従って評価する。

手順 1 : 各生産方策の在庫に関する評価(以下、在庫ロスと呼ぶ)を式(2.1)で求める。

$$I(i) = \sum_{k=1}^K \sum_{w=1}^W \left[\max \left\{ \sum_{n=1}^w P(i, n) - \sum_{n=1}^w D(k, n), 0 \right\} \right] \quad \text{式(2.1)}$$

$I(i)$: 生産方策 i における在庫ロス($i=1, 2, \dots, 2^W$)

$P(i, n)$: 生産方策 i における第 n 週の残業の有無

(残業有り : 1、残業なし : 0)($n=1, 2, \dots, W$)

$D(k, n)$: 突発受注 k に対して過不足のない生産方策における第 n 週の残業の有無
(残業有り : 1、残業なし : 0)($n=1,2,\dots,W$)

K : 想定する突発受注のケース数($K=W(W+1)/2+1$)

図 2-2 は第 3 週に灰色の 1D の突発受注がきた場合を示したものである。残業する週を Y、残業しない週を N で表す。この 1D の突発受注に対して、量と時期から過不足のない生産方策は NYYN(図 2-2 の点線)となる。評価する生産方策が YNNY(図 2-2 の実線)であれば、縦縞部分が在庫 1 となる。各突発受注に対する在庫を求め、それらを合計した値が在庫ロスとして式(2.1)で求められる。

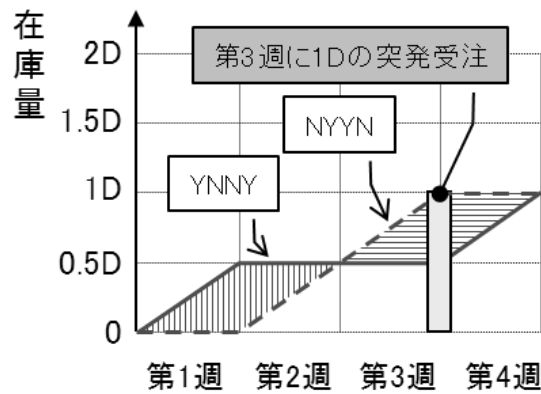


図 2-2 在庫と品切の計算方法

手順 2 : 各生産方策の品切に関する評価(以下、品切ロスと呼ぶ)を式(2.2)で求める。

$$S(i) = \sum_{k=1}^K \sum_{w=1}^W \left[\min \left\{ \sum_{n=1}^w P(i, n) - \sum_{n=1}^w D(k, n), 0 \right\} \right] * (-1) \quad \text{式(2.2)}$$

$S(i)$: 生産方策 i における品切ロス($i=1,2,\dots,2^W$)

図 2-2 の横縞部分が品切 1 となる。同様に各突発受注に対する品切を求め、それらを合計した値が品切ロスとして式(2.2)で求められる。

手順 3 : 在庫ロスと品切ロスのそれぞれに重み(在庫と品切に対する評価基準)を乗じて、各生産方策に関する評価(以下、方策ロスと呼ぶ)を式(2.3)で求める。

$$Z(i) = I(i) * \alpha + S(i) * (10 - \alpha) \quad \text{式(2.3)}$$

$Z(i)$: 生産方策 i における方策ロス($i=1,2,\dots,2^W$)

α : 在庫ロスの重み ($0.0 \leq \alpha \leq 10.0$)

$10 - \alpha$: 品切ロスの重み

2.1.3 総当たり法の適用結果

図 2-3 に $W=6$ とした場合の総当たり法による計算結果を示す。図 2-3 は左から $\alpha=9, 5, 1$ とし、方策ロスが最小値を示す生産方策を丸印で表している。 $\alpha=9$ では、最も残業が多く早い YYYYYY(グラフの左端の生産方策)において方策ロスが最大値の 2394 を示し、残業を少なく遅くするにしたがって方策ロスが小さくなる。そして、NNNNYN において方策ロスが最小値の 182 を示す。 $\alpha=1$ では、最も残業が少なく遅い NNNNNN(グラフの右端の生産方策)において方策ロスが最大値の 1764 を示し、残業を多く早くするにしたがって方策ロスが小さくなる。そして、YYYYNY において方策ロスは最小値の 252 を示す。 $\alpha=5$ では、グラフの中ほどにある NYNYNN と NNYYYN において方策ロスが最小値の 600 を示す。在庫ロスの重みが大きいほど、残業が少なく残業の時期が遅い生産方策が最適解となる。また、品切ロスの重みが大きいほど、残業が多く残業の時期が早い生産方策が最適解となる。

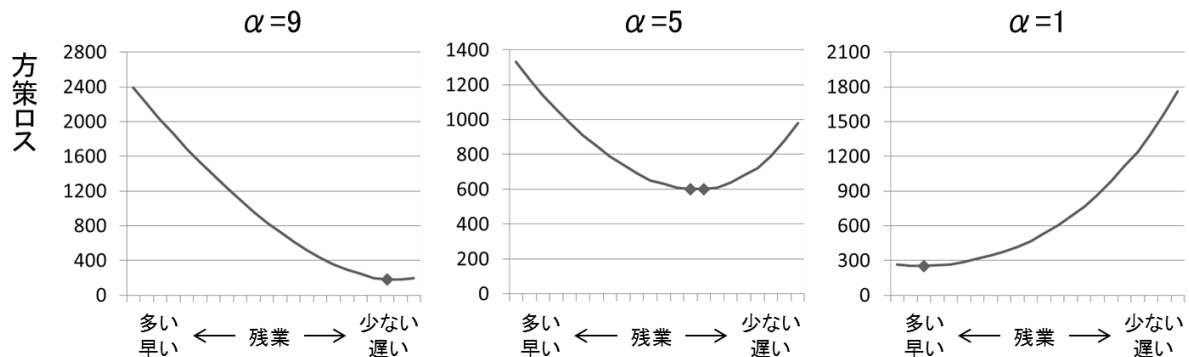


図 2-3 総当たり法の適用結果

総当たり法を適用することで、在庫・品切ロス进行评估した最適な生産方策の決定が可能である。このように、在庫・品切ロスを係数化する評価によって最適解を導く研究は多くあるが、それらの係数の算出方法を議論した研究は少ない。在庫や品切によって生じる費用やそれらの重みを実務的に評価する方法の検討は、今後の課題である。

2.2 分枝限定法の適用

組合せ問題において計算手順を低減する手法の一つに分枝限定法[46–50]がある。2.1.1で示した生産計画の問題に分枝限定法を適用した例を以下に示す。

2.2.1 分枝手続き

第 r 週までの残業の有無を決定したとき(部分解)のノード $N(r)$ からは、第 $r+1$ 週の残業の有無に対応した 2 個のノードが生じる。 W 週間の残業の有無を決定する問題では $N(W)$ で完全解が得られ、その中で最小値を示すノードの生産方策が最適解となる。

2.2.2 限定手続き

各ノードにおける評価値として方策ロスの下界を計算する。現段階で決定している残業の有無に対して、残りの週を全て残業なしとした式(2.4)を式(2.1)に代入して在庫ロスの下界を求める。残りの週を全て残業有りとした式(2.5)を式(2.2)に代入して品切ロスの下界を求める。そして、式(2.3)で方策ロスの下界を求める。

$$P(i, n) = 0 \quad (r + 1 \leq n \leq W) \quad \text{式(2.4)}$$

$$P(i, n) = 1 \quad (r + 1 \leq n \leq W) \quad \text{式(2.5)}$$

2.2.3 分枝限定アルゴリズム

以下の手順に従って最適な生産方策を求める。

手順 1 : $r=1$ として、 $N(1)$ を作成する。

手順 2 : 新しいノードについて、方策ロスの下界を計算する。

手順 3 : 未分岐のノードのうち、最小下界をもつノード N を選ぶ。ただし、 N が 2 つ以上ある場合には、 r 値の最大のものを選び、さらに同じ r 値ならば任意に選ぶ。

手順 4 : $r=W$ ならば、このノードに関する生産方策が最適解であり、下界が最小の方策ロスである。 $r=W$ でなければ N より分岐して 2 個の新しいノード $N(r+1)$ を作成し、 r を $r+1$ に置換して、手順 2 に戻る。

2.2.4 分枝限定法の適用結果

$W=6$ とした総当たり法では 64 パターンの生産方策において在庫ロスと品切ロスを求めるために 128 回の計算を行う。 $\alpha=5$ とした場合の分枝限定法では 58 回の計算で最適生産

方策を求めることが可能であるため、55%の計算手順の低減となった。

$\alpha=5$ における計算過程の最後の6回を図2-4に示し、各グラフには各ノードの方策ロスの下界を示す。 $W=6$ とした総当たり法と同様の結果となる、下界600を示すNYNYNNとNNYYNN(図2-4の下界の枠を二重線で示す)を最適生産方策として求めることができた。

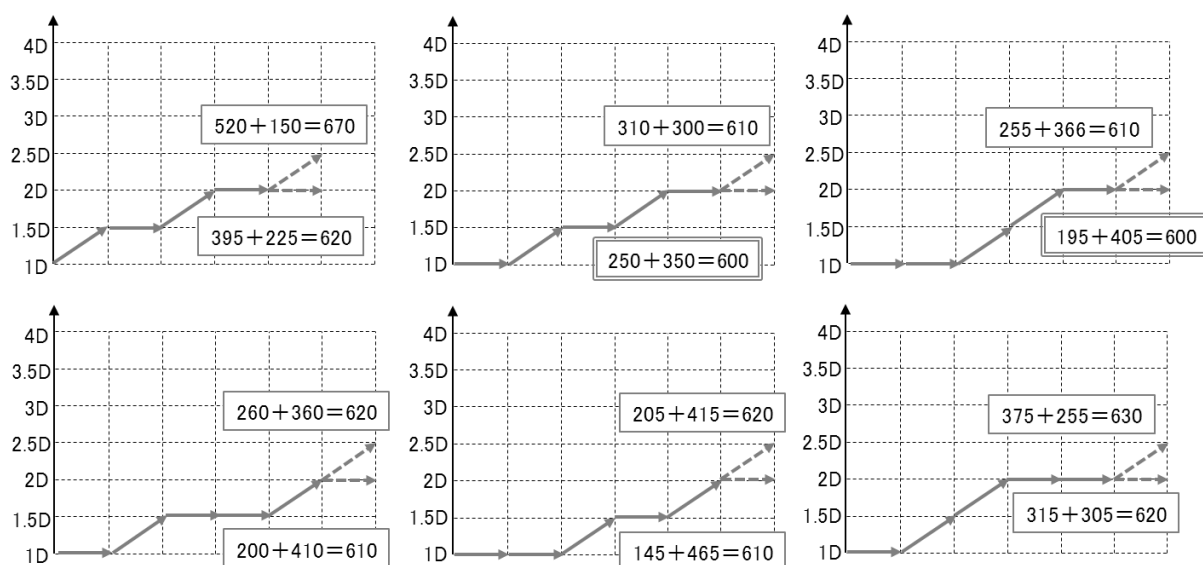


図2-4 分枝限定法の適用結果

計算手順を低減させるためには、計画期間の縮小が考えられる。翌月1ヵ月分の残業の有無を事前に決めることが一般的で、週ごとに翌週の残業の有無を決めることは実態に適していないが、計算手順の観点から計画期間の検討が必要になる。

2.3 遺伝的探索法の適用

大規模な組合せ問題を効率良く解くための方法に遺伝的探索法[51–54]がある。2.1.1で示した、1ヵ月間の各週の残業の有無を決定する問題は規模が小さいため、ここでは1ヵ月間の各日の残業の有無を決定する問題とする。それに応じて、想定する突発受注は0.1D刻みとし、月に一度いずれかの日に突発受注が発生するモデルとする。対応する突発受注の範囲は2.1.1と同様である。1ヵ月間の稼働日を20日とする。突発受注の211ケースに対して、1,048,576パターンの生産方策から一つを選択することが、遺伝的探索法を適用する生産計画の問題となる。

2.3.1 遺伝的探索アルゴリズム

以下の手順に従って遺伝的探索法を適用する。

手順 0：初期世代の設定

50 の個体をランダムに発生させる。各個体の染色体の遺伝子は各日の残業の有無で表現する。

手順 1：適応度の評価

各個体の生産計画への適応度は、在庫ロスの重みを $\alpha=7.5$ として方策ロスの値で評価する。

手順 2：選択と淘汰

その世代における適応度の上位 20 個体をエリートとして選択する。

手順 3：遺伝子操作 1(交叉)

各エリートから連続する 10 個の遺伝子をすべて抽出する。20 日間の残業の有無を決定する問題であるため、各個体で遺伝子は 20 個ある。各個体から抽出される連続 10 個の遺伝子は 11 パターンあり、エリート全体からは 220 パターンを抽出できる。220 パターンの最頻出遺伝子パターンを含む個体を次世代で発生させる。

手順 4：遺伝子操作 2(突然変異)

突然変異は世代が進むにつれて起こる収斂現象(一種の極小値へのトラップ現象)を防止するために行う。10 世代に 1 回突然変異を起こす。突然変異はエリートから抽出された最頻出遺伝子パターンをランダムに並べ替える操作によって行う。

2.3.2 遺伝的探索法の適用結果

図 2-5 に 250 世代繰り返した結果を示す。160 世代目における突然変異が結果に大きく影響し、それ以降において方策ロスは小さく安定した変化を示す。安定した変化を示す世代における方策ロスの平均値は 35122 であり、2.1 の総当たり法を用いて $W=20$ として計算した方策ロスの最小値は 34763 である。遺伝的探索法において最小値の 101%程度の適応度を示す生産方策を求めることができた。

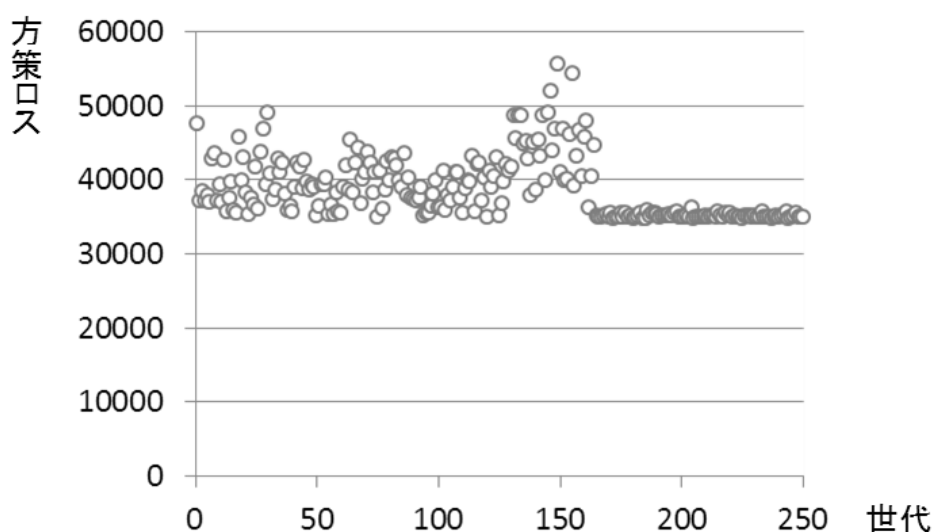


図 2-5 遺伝的探索法の適用結果

2.1.1 の生産計画問題の総当たり法による計算時間は 33.2 時間であるのに対して (EPSON MR4000 で Microsoft Excel-VBA を使用)、遺伝的探索法による 250 世代の計算時間は 38 分であるため、総当たり法の 2%程度の計算時間となる。

計算時間を低減させるためには、方策ロスによって残業で対処すべき突発受注の優先順位付けが必要になる。優先順位付けによって、最適生産方策の候補となるパターン数は少なくすることができる。計算時間低減の観点から、生産方策と突発受注の分析を行う必要がある。

2.4 動的計画法の適用

多段階決定問題において最適方策を求める手法の一つに動的計画法[55]がある。2.1.1 で示した生産計画問題に動的計画法を適用した例を以下に示す。ここでは残業をする場合に費用が発生するモデルとする。対応する突発受注の範囲は 2.1.1 と同様である。2.2.4 と同様に $W=6$ とする。

2.4.1 動的計画アルゴリズム

動的計画法のステップは週となり、週ごとに在庫ベクトル $X_n = (x_1, \dots, x_n)$ のもとに、残業ベクトル $O_n = (o_1, \dots, o_n)$ を決定する問題となる。第 n 週から第 W 週まで最適な生産方策のもとで生産を行ったときの総費用の期待値を $C_n(X_n)$ とすれば、次の動的計画法のアル

ゴリズムを導くことができる。また、突発受注ベクトルは $D_n = (d_1, \dots, d_n)$ である。

$$C_n(X_n) = \min_{O_n \in \Phi(X_{n+1})} \{I(X_n) * \alpha + S(X_n) * (10 - \alpha) + M(O_n) + \sum_{d_n=0}^{d_{max}} P_{d_n} C_{n+1}(X_n + O_n - D_n)\} \quad \text{式(2.6)}$$

ただし、

$$I(X_n) = \max\left\{\sum_{d_n=0}^{d_{max}} P_{d_n} (X_n + O_n - d_n), 0\right\} \quad \text{式(2.7)}$$

$$S(X_n) = \min\left\{\sum_{d_n=0}^{d_{max}} P_{d_n} (X_n + O_n - d_n), 0\right\} * (-1) \quad \text{式(2.8)}$$

$$\Phi(X_{n+1}) = \{O_n | x_{n+1} - x_n \geq o_n \geq 0\} \quad \text{式(2.9)}$$

$$M(O_w) = \{0, OC\} \quad \text{式(2.10)}$$

である。最適解に影響しないことから $C_{W+1}(X_{W+1}) = 0$ とする。

x_n : 第 n 週の在庫量

o_n : 第 n 週の残業生産量

d_n : 第 n 週の突発受注量

P_{d_n} : 受注が d_n となる確率

$I(X_n)$: X_n における在庫費用

$S(X_n)$: X_n における品切費用

$M(O_n)$: 残業費用関数

OC : 残業費用

2.4.2 動的計画法の適用結果

図 2-6 に $\alpha=5$ として $OC=2$ (在庫と品切のロスに掛ける重みの 20%)とした場合の計算結果を示す。各週の在庫量に対応する $C_n(X_n)$ を示し、各週の各在庫量において $C_n(X_n)$ が小さくなる残業の有無を灰色で示した。最適生産方策は下線で示す通り YNYNNN、YNNYNN、NYYNNN、NYNYNN となる。

在庫量		6	5	4	3	2	1	0
第6週 始め	残業無		0	0	0	0	0	0
	小計		11.4	9.3	8.6	9.3	11.4	15.0
	残業有		1	1	1	1	1	1
	小計		17.0	13.4	11.3	10.6	11.3	13.4
第5週 始め	残業無			0	0	0	0	0
	小計			18.5	16.1	16.8	20.5	25.9
	残業有			1	1	1	1	1
	小計			25.9	20.5	18.1	18.8	22.5
第4週 始め	残業無				0	0	0	0
	小計				23.1	22.8	25.8	32.5
	残業有				1	1	1	1
	小計				30.5	25.1	24.8	27.8

在庫量		6	5	4	3	2	1	0
第3週 始め	残業無					0	0	0
	小計					27.8	29.8	35.3
	残業有					1	1	1
	小計					32.6	29.8	31.8
第2週 始め	残業無						0	0
	小計						33.1	36.8
	残業有						1	1
	小計						34.8	35.1
第1週 始め	残業無							0
	小計							37.6
	残業有							1
	小計							37.6

図 2-6 動的計画法の適用結果

計算手順を低減させるためには、極端ではあるが、 x_n から x_{n+1} の変化において残業費用の発生がなければ、すべての組合せを計算する必要がなくなる。計算手順低減の観点から、残業によって発生する費用を最小化するなどの検討をする必要がある。

2.5 平準化と同期化の適用

本節では、差立計画における平準化と同期化に関する日々の生産量を定める 3 つの生産方式、カット生産、判定幅生産、カット+判定幅生産を考案する。本論文における平準化生産とは、日々の生産量を一定量にすることで、同期化生産とは、日々の生産量を顧客からの日々の受注量と等しくさせることとする。3 つの生産方式をシミュレーション的に検討し、平準化と同期化生産の適用性を評価する。詳細は付録 A に示すが、本節の検討は既存の手法ではなく、本研究で得られた知見の一つである。

2.5.1 分析対象ライン

図 2-7 に対象企業の自動車部品製造ラインにおける主要 7 製品 A～G のある月の日々の受注量を示す。図に示すように、7 製品は日々の受注の傾向から 2 つに分類できる。

図 2-7 左に示す 4 製品は受注量が小さく変動するもので、これらを日々変動製品と呼ぶ。日々変動製品の顧客の生産量は安定しており、顧客における部品の使用量が発注量となっているので、受注量が安定していると考ええる。図 2-7 右に示す 3 製品の受注量は通常一定値であるが、数日において 2 倍程度やゼロとなるもので、これらを突発変動製品と呼ぶ。

突発変動製品は、顧客での生産が理由もなく突発的に2倍もしくはゼロとなることは考えられないことから、海外からの一括部品要求や、輸送・出荷ロットサイズと看板収容数の差異によるまとめと考える。

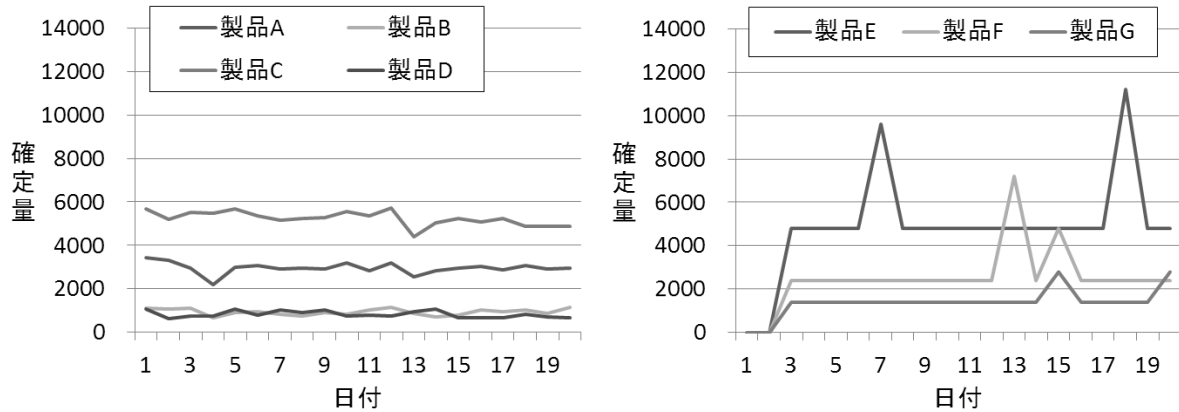


図 2-7 各製品の受注量(左：日々変動製品 右：突発変動製品)

2.5.2 生産方式の検討①：生産能力を考慮しない場合

以下 3 つの生産方式を考案し、それぞれについて検討する。3 つの生産方式は、それぞれにおいて設定したパラメータを変化させることで、平準化から同期化生産までを可能にしている。

①カット生産

日々変動する受注量に対して、受注量と受注量の月平均の差にある割合(以下、カット率と呼ぶ)を乗じた値を受注量から引いて生産量とする。式(2.11)で示すこの生産量決定ロジックをカット生産として検討する。

$$P(i, j) = F(i, j) - \left\{ F(i, j) - \sum_{n=1}^N F(i, n) / N \right\} * Z \quad \text{式(2.11)}$$

$P(i, j)$: 製品 i の j 日における生産量(生産日に完了して納入可能とする)

$F(i, j)$: 製品 i の j 日における受注量(受注日に納入する必要があるとする)

N : 1 ヶ月間の稼働日数

Z : カット率($0 \leq Z \leq 1$)

式(2.11)より、1 ヶ月間の合計生産量を求めると、

$$\sum_{j=1}^N P(i, j) = \sum_{j=1}^N F(i, j) \quad \text{式(2.12)}$$

となり、1 ヶ月の合計受注量と等しくなることから、カット生産は生産量を決定する基本ロジックと考える。

図 2-8 にカット率を 0%から 100%まで 20%刻みで変化させた場合の日々の生産量を示す。同期化生産に対応する、カット率が 0%に近いほど生産量は受注量と等しく、生産量の変動は大きくなる。また、平準化生産に対応する、カット率が 100%に近いほど生産量は平均受注量近くで一定となり、生産量の変動は小さくなる。

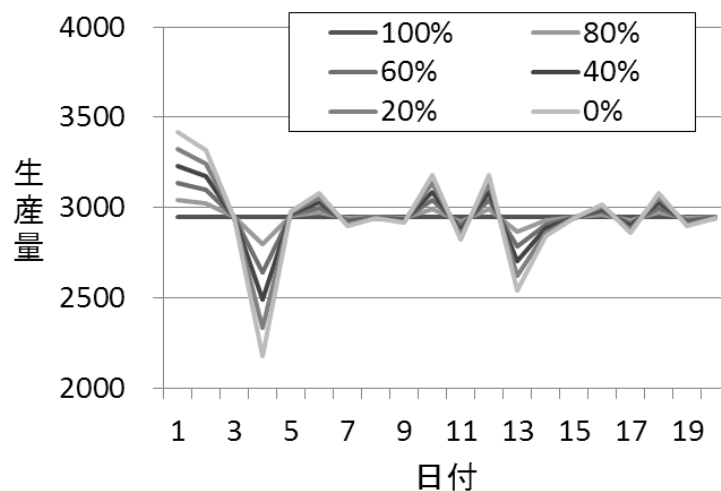


図 2-8 カット生産による生産量(日々変動製品 A)

②判定幅生産

図 2-8 に示すように、平均受注量(カット率 100%の生産量と同値)の 2980 に比べて 1 日目の受注量(カット率 0%の生産量と同値)は 3420 と大きいので、カット率 20%でも生産量は 3326 と大きい。このように、受注量の大きさによっては、実際に対応できないほどの大きなあるいは小さな生産量となる可能性がある。そこで、生産量をある範囲内に抑えるための生産量の決定ロジックを考案する。日々に追加可能な生産量を上限値に、削減可能な生産量を下限値に設定する。受注量が上下限の範囲内であれば受注量を、受注量が下限を下回れば下限値を、受注量が上限を上回れば上限値を生産量とする。式(2.13)から式(2.16)で示すこの生産量決定ロジックを判定幅生産として検討する。

$$P(i, j) = F(i, j) \quad A(i) * (1 - DZ) \leq F(i, j) \leq A(i) * (1 + UZ) \quad \text{式(2.13)}$$

$$P(i, j) = A(i) * (1 - DZ) \quad F(i, j) \leq A(i) * (1 - DZ) \quad \text{式(2.14)}$$

$$P(i, j) = A(i) * (1 + UZ) \quad A(i) * (1 + UZ) \leq F(i, j) \quad \text{式(2.15)}$$

ただし、

$$A(i) = \sum_{n=1}^N F(i, n) / N \quad \text{式(2.16)}$$

とする。

$A(i)$: 製品 i の平均受注量

DZ : 生産の削減が可能な平均受注量に対する割合(下限率と呼ぶ)

UZ : 生産の追加が可能な平均受注量に対する割合(上限率と呼ぶ)

上下限率は他職場の応援や残業などをもとに設定することを想定している。図 2-9 に上下限率を 0%から 20%まで 5%刻みで変化させた場合の日々の生産量を示す。1 日目と 2 日目の受注量は上下限率が 10%以下で上限を上回るために、どちらの生産量も等しくなっている。受注量の大きさに関わらず、生産量が実際に対応できない値になることはない。

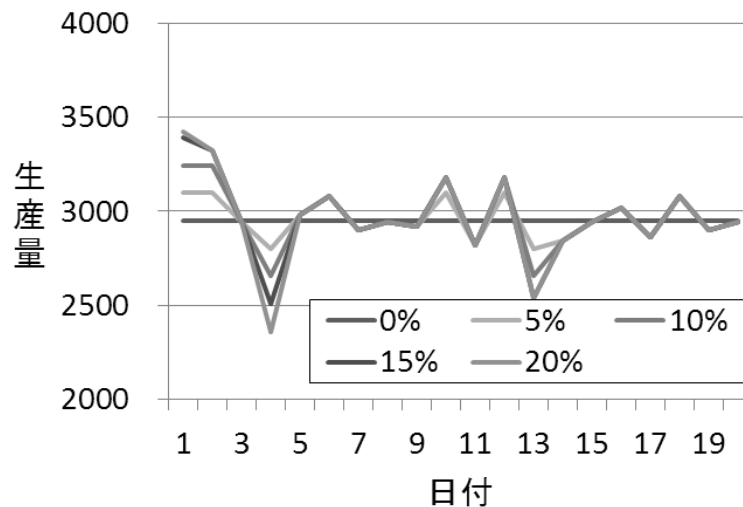


図 2-9 判定幅生産による生産量(日々変動製品 A)

③カット+判定幅生産

カット生産と判定幅生産はそれぞれ両極端のロジックであるので、それらを組み合わせた中間的な生産量の決定ロジックを考案する。判定幅生産の下限を下回る(式(2.14)の条件式)、もしくは上限を上回る(式(2.15)の条件式)受注量に対して、カット生産の式(2.11)を用いて生産量を決定するロジックをカット+判定幅生産として検討する。

図 2-10 に上下限率を 5%に固定して、カット率を 0%から 100%まで 20%刻みで変化さ

せた場合の日々の生産量を示す。5日目から9日目の生産量においては、カット率に関わらず等しくなっている。これらの日付の受注量が上下限を超えないために、生産量は受注量と等しくなる。

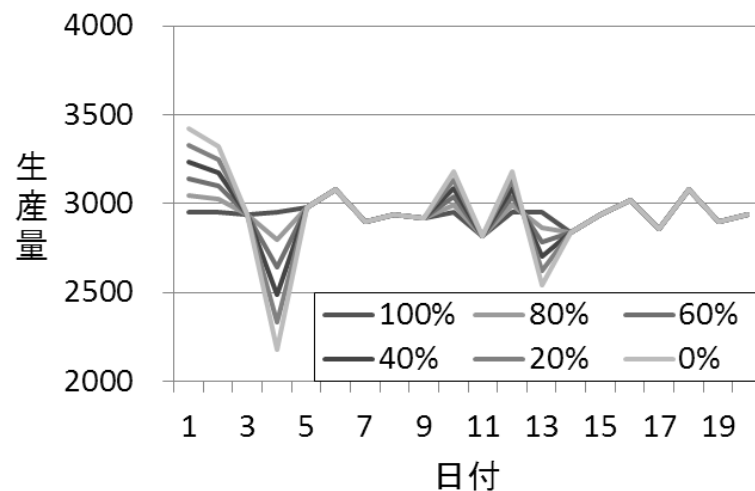


図 2-10 上下限率を 5%に固定した場合の
カット+判定幅生産による生産量(突発変動製品 A)

2.5.3 生産方式の検討②：生産能力を考慮する場合

2.5.2 では生産能力を考慮せずに個別製品の検討をしたが、対象の 7 製品は同一ラインで製造されるので、7 製品の合計生産量を生産能力以内にする必要がある。生産能力を考慮した上で、3 つの生産方式について検討する。

図 2-11 に 7 製品の合計受注量と平均受注量を示す。突発変動製品で生じる突発的な大小の受注量の影響が大きく、合計受注量が平均を大きく上回る日が 4 日間、大きく下回る日が 2 日間ある。

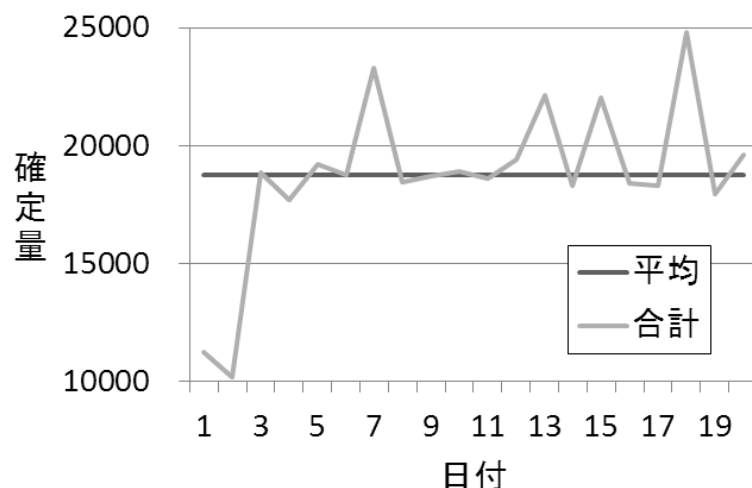


図 2-11 7 製品の確定量の合計とその平均

7 製品の合計生産量を生産能力以下にするため、2.5.2 で示した各日各製品の生産量 $P(i, j)$ を暫定的な生産量 $TP(i, j)$ として、暫定量の合計と生産能力の差を各製品の受注量の割合で分配する。生産能力と一致させる生産量決定ロジックを式(2.17)と式(2.18)に示す。

$$P(i, j) = TP(i, j) + \left\{ C - \sum_{m=1}^M TP(m, j) \right\} * \sum_{n=1}^N F(i, n) / \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N F(m, n) \quad \text{式(2.17)}$$

ただし、

$$C = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N F(m, n) / (M * N) \quad \text{式(2.18)}$$

とする。

$TP(i, j)$: 製品 i の j 日における暫定量

C : 1 日あたりの生産能力

M : 製品数

以下の生産方式の検討では、合計生産量を生産能力に一致させることによって、部品・製品在庫が不足して在庫保有が必要になると考え、部品・製品在庫の最大不足量を評価基準とする。部品の納入量は平均受注量で日々一定と仮定する。

①カット生産

部品在庫は式(2.11)と式(2.17)と式(2.18)より、以下の式(2.19)で与えられる。

$$PAI(i, j) = (1 - Z) \left\{ j * \frac{\sum_{n=1}^N F(i, n) \sum_{m=1}^M F(m, j)}{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M F(m, n)} - \sum_{n=1}^j F(i, n) \right\} \quad \text{式(2.19)}$$

$PAI(i, j)$: 製品 i の j 日における部品在庫

また、製品在庫は式(2.20)で与えられる。

$$PRI(i, j) = j * \sum_{n=1}^N F(i, n) * \left\{ \frac{1}{N} - (1 - Z) \frac{\sum_{m=1}^M F(m, j)}{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M F(m, n)} \right\} - Z * \sum_{n=1}^j F(i, n) \quad \text{式(2.20)}$$

$PRI(i, j)$: 製品 i の j 日における製品在庫

図 2-12 にカット率を 100%から 0%まで 20%刻みで変化させた場合の製品・部品在庫の最大不足量を示す。

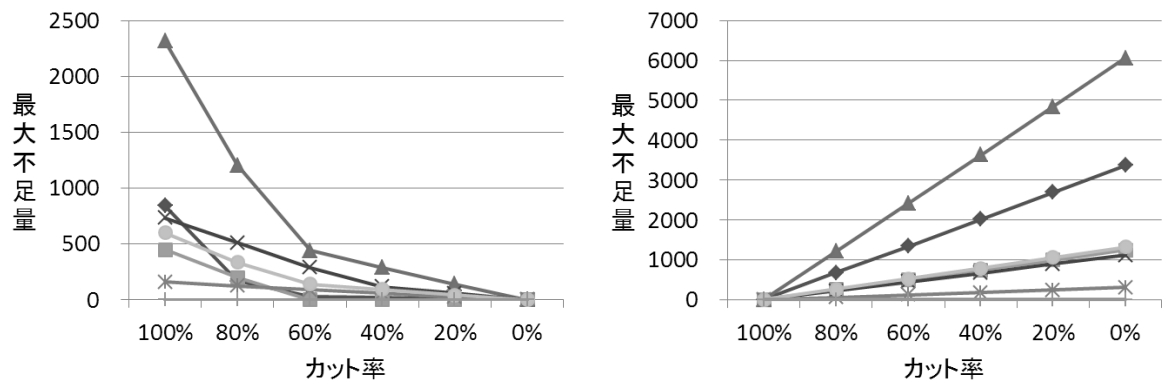


図 2-12 製品在庫(左)と部品在庫(右)の最大不足量

カット率が 100%に近いほど製品在庫の最大不足量は大きくなり、部品在庫の最大不足量は小さくなる。また、図 2-12 左に示すように製品在庫の最大不足量はカット率に対して比例的に減少しないが、図 2-12 右に示すように部品在庫の最大不足量はカット率に対して比例的に増加する。製品在庫は部品在庫と異なり、各カット率において同一日に不足量が最大とならないため、製品在庫の最大不足量の変化はカット率に比例しない(付録 A 参照)。

②判定幅生産

図 2-13 に上下限率を 0%から 20%まで 5%刻みで変化させた場合の製品在庫の最大不足

量を示す。製品在庫は生産能力を考慮しない判定幅生産の結果とほぼ同じ傾向を示す。しかし、突発変動製品 G だけが上下限率に関わらず常に製品在庫の不足量がゼロとなっている。製品 G の平均受注量は 2400、通常受注量は 2400、突発受注量が 0(1 日目と 2 日目)と 4800(15 日目と 20 日目)であることから、下限を下回る突発受注と下限との差が、上限を上回る突発受注と上限との差と等しく、それぞれが生じる日数も同じである。下限を下回る突発受注の後に上限を上回る突発受注があるため、例外的に製品 G においては製品在庫の不足量がゼロとなる。

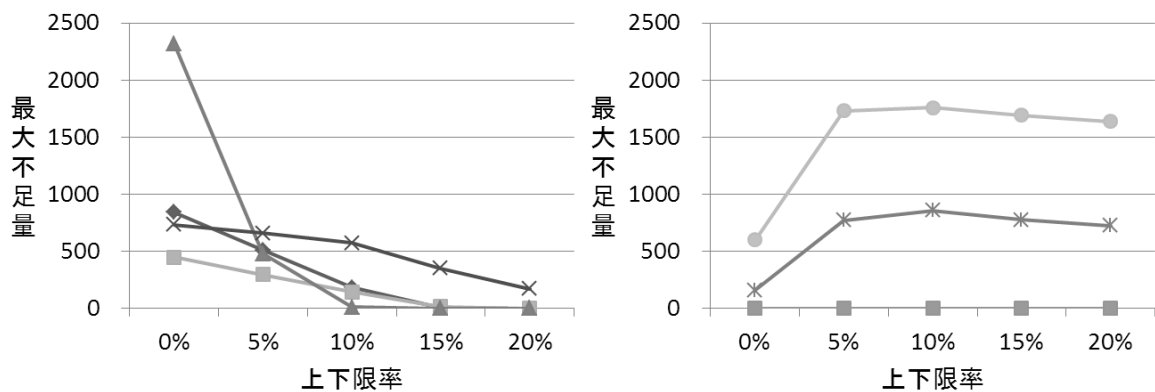


図 2-13 上下限率と製品在庫の最大不足量

(左：日々変動製品 右：突発変動製品)

部品在庫も同様に生産能力を考慮しない判定幅生産の結果とほぼ同じ傾向を示す(図 2-14)。突発変動製品 E と F では平均生産量が平均受注量よりも小さくなるため、生産能力に合わせた生産量での部品在庫の不足は生じにくい。一方、突発変動製品 G では平均生

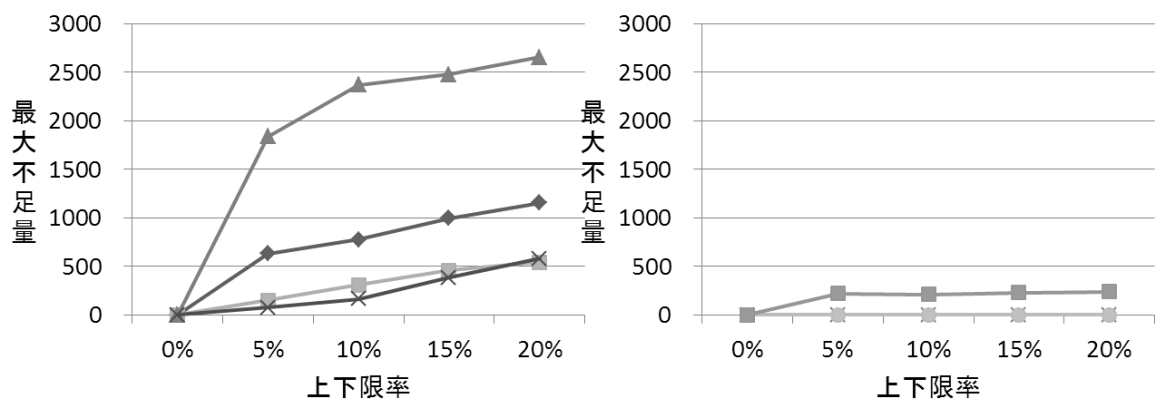


図 2-14 上下限率と部品在庫の最大不足量

(左：日々変動製品 右：突発変動製品)

産量が平均受注量と等しくなるため、生産能力に合わせた生産量で部品在庫が不足する結果となる。

③カット+判定幅生産

図 2-15 に上下限率を 5%として、カット率を 100%から 0%まで 20%刻みで変化させた場合の製品 A の部品在庫と製品在庫の最大不足量を示す。生産能力を考慮しないカット+判定幅生産と比較して、部品在庫の不足量が大きくなっている。1 日目と 2 日目の 7 製品の合計受注量は小さく、その合計生産量を生産能力に合わせると、各製品の 1 日目と 2 日目の生産量は受注量に比べて大きくなる。平均受注量よりも大きな生産量となり、部品在庫の不足量が大きくなっている。

生産量が受注量に比べて大きくなる傾向はカット率が小さくなるほど強くなるため、製品在庫はカット率 60%以下では製品在庫が不足しない結果となる。

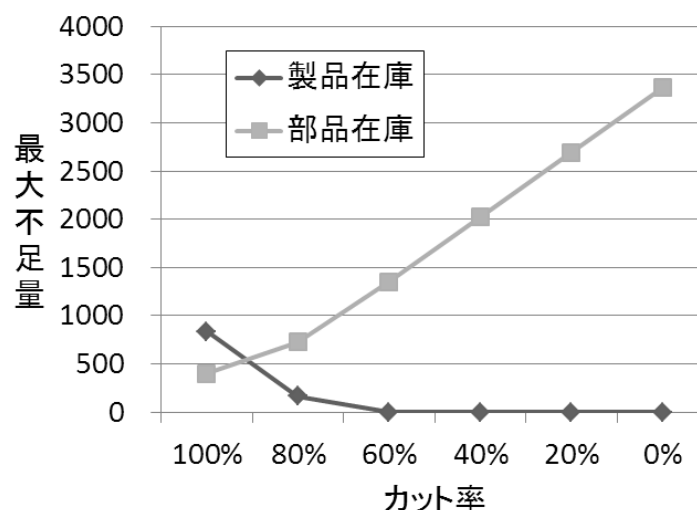


図 2-15 上下限率 5%における
カット率と在庫の最大不足量(日々変動製品 A)

2.5.4 平準化と同期化の適用結果

平準化と同期化生産に関して、生産量と在庫量を考慮したカット生産と判定幅生産と、それらの中間的なカット+判定幅生産をモデル化して、生産能力を考慮しない場合とした場合の生産方式の検討を行った。これらのモデル化によって、生産量と在庫量をシミュレーション的に分析できることを示した。

これらモデルを実際の運用に適用することを考えると、統計学の標準偏差 σ が未知の場合になる。受注量の変動幅、すなわち受注量の最大・最小がわからないのが実態であることから、さらなるモデルと分析の工夫が必要である。

2.6 まとめ

数理的解法について、検討する問題状況に適用した。1.3 で示したように、前提が与えられたもとでは数理的解法は最適解を示してくれるが、実用的な面から考えると、以下の3つの課題がある。

- ・ 各数理的解法の適用結果で述べたように、実務へ適用する上では、前提のさらなる検討が必要である
- ・ 問題状況はさまざまにかつ逐次的に変化するので、その都度定式化と解法が必要になる
- ・ 都度的な最適解の適用は、生産計画全体での生産能力や部品手配における一貫性を保つことを困難にする

上記の課題が残る状況では、計画担当者は数理的解法に関心があるが、それら知見の実際の生産計画へ適用することは少ない。

数理的解法が示唆する知見の直接的な応用は限定的ではあるが、数理的解法における前提や制約条件や目的関数の考察を通した問題状況の把握、言い換えれば問題設定における生産計画の問題点の把握によって、生産計画で考えるべき問題の構造や要因を明らかにすることが可能である。また、適切なマネジメント決定を行うためのポイントが明らかになるという間接的な知見の応用に価値があると考ええる。

第3章 生産計画問題の縮小化

本章では、仮説 1 “評価基準を決め在庫保有を認めることで生産計画問題を縮小化できる” の検証を試みる。まず、計画担当者の生産計画業務における問題状況を実企業の生産データを用いてモデル化し、計画想定範囲を考察する。次に、マネジメントが行う意思決定がされていない生産計画では計画想定範囲が大きく、意思決定された元での生産計画であれば計画想定範囲が縮小化されることをモデルを用いて実験的に検証する。この検証を通して、マネジメントと計画担当者の協業・分担によって、計画担当者の計画想定範囲を縮小化する方法を提案する。

最適解が存在する解空間を限定して効率的に最適解を求める研究として、鄭他[56]は加工時間の平均値と標準偏差が既知の複数製品を単一工程で製造する受注生産状況において、各製品の総滞留時間の期待値と分散を最小にする最適生産順序を提案している。また、川崎他[57]は加工時間と納期が既知で非確率的に変化する複数製品を単一工程で製造する受注生産状況において、各製品の平均滞留時間と最大納期遅れ時間を最小にする最適生産順序について、解空間を限定する解法を提案している。

これらの関連研究での解空間の縮小化は解が存在する範囲を探索する意味であるのに対して、解を限定するという意味での本章で取り扱う計画想定範囲の縮小化には、これらの研究の知見は参考にはなるが、応用するのは難しいと考える。

3.1 生産計画モデル

3.1.1 想定するモデル

関連研究で示した論文の扱っている生産計画、対象企業の生産計画およびその計画担当者の意見から生産計画には主に以下の注文変動、変動対応、評価基準の側面がある。図 3-1 に生産計画のそれぞれの側面における具体例を示す。

- ・ 注文変動：内示注文などの事前情報はあがるが、日々確定する注文は変動するものである。それらの変動には、傾向に規則性はあるがばらつく注文、通常とは異なる大小の時々の注文、多くはないが確率的に変化する注文などがある。
- ・ 変動対応：注文変動への対応には、工場やラインを増設して大きく生産量を変動させる、残業などの勤務体制を変更して生産能力を変動させる、生産の上下限を

決めてその範囲内で小さく変動させるなどがある。これらの対応にはそれぞれの準備にある期間が必要であるため、事前に計画に盛り込む必要がある。

- ・ 評価基準: 生産や在庫に関する評価基準がある。生産に関する評価基準としては、生産量を変動させることによって低くなる稼働率、異なる製品を生産するために生じるムダな切替作業の回数などがあり、在庫に関する評価基準としては、日々保有する在庫量の合計、日々生じる品切量の合計などがある。

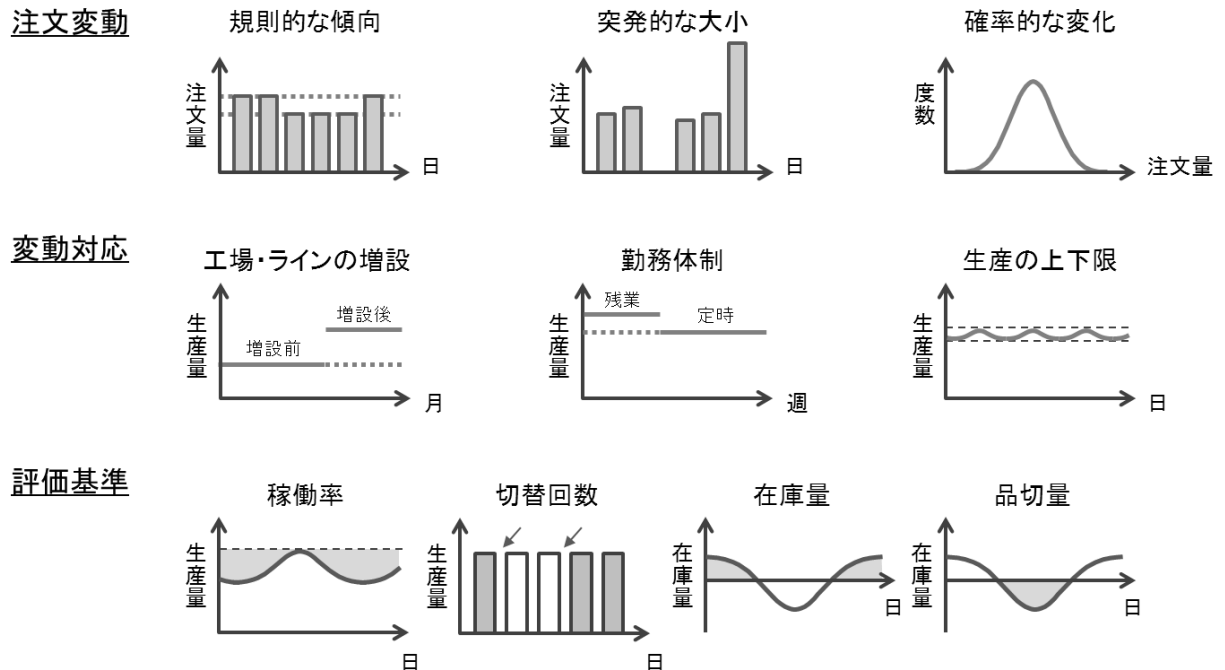


図 3-1 生産計画の一般的側面における具体例

ここでは、以上の生産計画の3つの側面に関して、注文変動は突発的に生じる大きな注文、変動対応は残業による在庫積み増し、評価基準は在庫量と品切量を想定した生産計画モデルを取り上げることにして、以下のように設定した。

日当り生産能力は通常受注量と同じ D とし、週の稼働日は5日間、計画期間は4週間とする。週ごとに残業の有無を決定し、残業すれば週当り $0.5D$ の生産能力を追加できる。想定される突発受注に対応した在庫積み増しを行うために、生産計画の立案時に各週の残業の有無を決定するので、生産方策は2の4乗で16パターンとなる。なお、月初在庫は0とする。

図 3-2 に想定する突発受注と計画担当者の対応範囲を示す。各週の残業で週当り $0.5D$ の在庫を積み増すことができるので、残業で対応できる突発受注は右下の白三角の $0.5D$

* $n(n=1,2,3,4)$ 以下となる。これら突発受注には計画担当者が立案する生産計画で対応する。月初在庫を0にしているため、左上のシェード三角の突発受注は $0.5D \cdot n$ の残業による生産追加では必ず品切になるものである。これら突発受注の月初在庫による対応はマネジメントの対応範囲として、生産計画の対応範囲外とする。

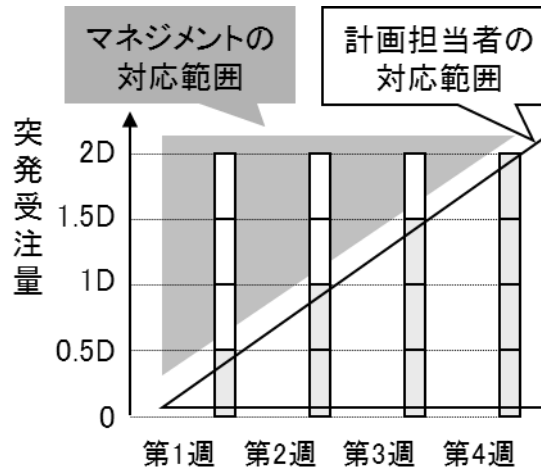


図 3-2 突発受注量と対応範囲

最大の突発受注に対して品切を回避するならば毎週残業をすればよいが、最大の突発受注がこなかった場合には在庫過多になる。逆に、在庫を回避しようとするれば残業を少なくすればよいが、残業による積み増し在庫以上の突発受注がくれば品切になる。このトレードオフが計画担当者の葛藤となる。

図 3-2 の右下の白三角は残業で積み増すことができる在庫でもあり、各週で $0.5D \cdot n$ となる。この積み増し在庫に対応させて、想定する突発受注を $0.5D$ 刻みとすると10ケースある。これらに突発受注がこない1ケースを加えた11ケースのいずれかが起こる。

これら突発受注の11ケースに対して、前述した16パターンの生産方策の中から一つを選択することが計画担当者の生産計画の問題となる。

3.1.2 生産方策の評価

各生産方策を以下の手順に従って評価する。

手順1：各生産方策の在庫に関する評価(以下、在庫ロスと呼ぶ)を式(3.1)で求める。

$$I(i) = \sum_{k=1}^{11} \sum_{w=1}^4 \left[\max \left\{ \sum_{n=1}^w P(i, n) - \sum_{n=1}^w D(k, n), 0 \right\} \right] \quad \text{式(3.1)}$$

$I(i)$: 生産方策 i における在庫ロス ($i=1,2,\dots,16$)

$P(i,n)$: 生産方策 i における第 n 週の残業の有無 (残業有り : 1、残業なし : 0) ($n=1,2,3,4$)

$D(k,n)$: 突発受注 k に対して過不足のない生産方策における第 n 週の残業の有無 (残業有り : 1、残業なし : 0) ($n=1,2,3,4$)

図 3-3 は第 3 週に灰色の 1D の突発受注がきた場合の在庫と品切の計算方法を示したものである。残業する週を Y、残業しない週を N で表す。この 1D の突発受注に対して、量と時期から過不足のない生産方策は NYYN(図 3-3 の点線)となる。評価する生産方策が YNNY(図 3-3 の実線)であれば、縦縞部分が在庫 1 となる。各突発受注に対する在庫を求め、それらを合計した値が在庫ロスとして式(3.1)で求められる。

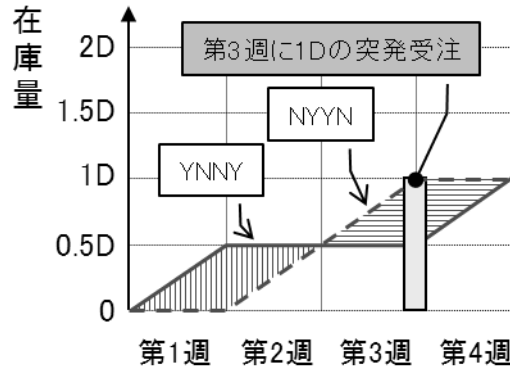


図 3-3 在庫と品切の計算方法

手順 2 : 各生産方策の品切に関する評価(以下、品切ロスと呼ぶ)を式(3.2)で求める。

$$S(i) = \sum_{k=1}^{11} \sum_{w=1}^4 \left[\min \left\{ \sum_{n=1}^w P(i,n) - \sum_{n=1}^w D(k,n), 0 \right\} \right] * (-1) \quad \text{式(3.2)}$$

$S(i)$: 生産方策 i における品切ロス ($i=1,2,\dots,16$)

図 3-3 の横縞部分が品切 1 となる。同様に各突発受注に対する品切を求め、それらを合計した値が品切ロスとして式(3.2)で求められる。

手順 3 : 在庫ロスと品切ロスのそれぞれに重み(在庫と品切に対する評価基準)を乗じて、各生産方策に関する評価(以下、方策ロスと呼ぶ)を式(3.3)で求める。

$$Z(i) = I(i) * \alpha + S(i) * (10 - \alpha) \quad \text{式(3.3)}$$

$Z(i)$: 生産方策 i における方策ロス ($i=1,2,\dots,16$)

α : 在庫ロスの重み ($0.0 \leq \alpha \leq 10.0$)

$10 - \alpha$: 品切ロスの重み

3.1.3 生産方策における不適格案

表 3-1 に各生産方策の各在庫ロスの重み α による方策ロスを示す。列に在庫ロスの重み α を 1 刻みとして、行に 16 パターンの生産方策を在庫ロスの降順に並べる。各在庫ロスの重み α において最小となる方策ロスを灰色で示す。在庫ロスの重み α に関わらず方策ロスが最小値を示さない生産方策の組合せが、表の①～⑤で示した 5 組ある。

表 3-1 生産方策と方策ロスの関係

		α	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
生産方策													
①	Y Y Y Y		600	540	480	420	360	300	240	180	120	60	0
	Y Y Y N		500	451	402	353	304	255	206	157	108	59	10
	Y Y N Y		410	372	334	296	258	220	182	144	106	68	30
	Y N Y Y		330	303	276	249	222	195	168	141	114	87	60
	Y Y N N		330	303	276	249	222	195	168	141	114	87	60
	N Y Y Y		260	244	228	212	196	180	164	148	132	116	100
	Y N Y N		250	234	218	202	186	170	154	138	122	106	90
	Y N N Y		190	185	180	175	170	165	160	155	150	145	140
	N Y Y N		180	175	170	165	160	155	150	145	140	135	130
	Y N N N		140	146	152	158	164	170	176	182	188	194	200
	N Y N Y		120	126	132	138	144	150	156	162	168	174	180
	N N Y Y		80	97	114	131	148	165	182	199	216	233	250
	N Y N N		70	87	104	121	138	155	172	189	206	223	240
	N N Y N		30	58	86	114	142	170	198	226	254	282	310
	N N N Y		10	49	88	127	166	205	244	283	322	361	400
	N N N N		0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500

これらは図 3-3 で示した 2 つの生産方策のように交叉する生産方策の組合せであり、図 3-4 にその一つの組合せ②の NYYY と YNYN を示す。NYYY と YNYN のように交叉する生産方策において、在庫と品切が両生産方策で等しくなる突発受注と、一方の生産方策においてどちらも大きくなる突発受注の 2 つがある。

前者は、第 3 週の $0.5D$ の突発受注のように、その突発受注に対して過不足のない生産方策(太い点線で示す)がすべての週で両生産方策(P_1 と P_2)を下回る場合(式(3.4))か、上回る場合(式(3.5))である。その突発受注に対する在庫と品切が両生産方策において等しくなる。

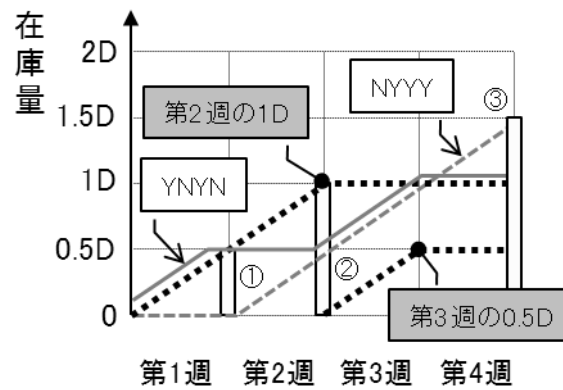


図 3-4 交叉する生産方策

$$\begin{cases} \sum_{n=1}^w D(k, n) \leq \sum_{n=1}^w P_1(i, n) \\ \sum_{n=1}^w D(k, n) \leq \sum_{n=1}^w P_2(i, n) \end{cases} \quad \text{式(3.4)}$$

$$\begin{cases} \sum_{n=1}^w D(k, n) \geq \sum_{n=1}^w P_1(i, n) \\ \sum_{n=1}^w D(k, n) \geq \sum_{n=1}^w P_2(i, n) \end{cases} \quad \text{式(3.5)}$$

後者は、第 2 週の 1D の突発受注のように、式(3.4)と式(3.5)を満たさない場合である。図 3-4 の例では、在庫と品切が一方の生産方策においてどちらも大きい 3 つの突発受注を①～③で示す。そのうち①と②では NYYY の在庫と品切が YNYN よりどちらも 1 大きく、③では NYYY の在庫と品切が YNYN よりどちらも 1 小さくなる。それらの合計で NYYY の在庫ロスと品切ロスが YNYN よりどちらも 1 大きくなる。

交叉する生産方策においては、各突発受注に対する在庫と品切が“両生産方策において等しい”、もしくは“一方の生産方策においてどちらも大きい”のどちらかである。したがって、それらの計の在庫ロスと品切ロスが一方の生産方策においてどちらも大きくなる。在庫ロスの重み α に関わらず方策ロスが他方の生産方策より大きくなるため、どちらかが不適格案となる。ただし、組合せ①は在庫ロスと品切ロスが等しいため、例外的にどちらか一方を不適格案の生産方策と考える。

図 3-5 に交叉しない生産方策の一つの組合せの YYYN と YYNY(表 3-1 の上から 2 番目

と3番目の生産方策)を示す。交叉しない生産方策において、在庫がどちらかの生産方策で大きく、品切が両生産方策で等しくなる突発受注と、その反対に品切がどちらかの生産方策で大きく、在庫が両生産方策で等しくなる突発受注の2つがある。

前者については、第2週の0.5Dの突発受注のように、その突発受注に対して過不足のない生産方策がすべての週で両生産方策を下回る場合(式(3.4))である。上に推移する生産方策YYYNは生産方策YYNYより在庫が大きくなり、品切は両生産方策で等しくなる。

後者については、第4週の2Dの突発受注のように、その突発受注に対して過不足のない生産方策がすべての週で両生産方策を上回る場合(式(3.5))である。下に推移する生産方策YYNYは生産方策YYYNより品切は大きくなり、在庫は両生産方策において等しくなる。

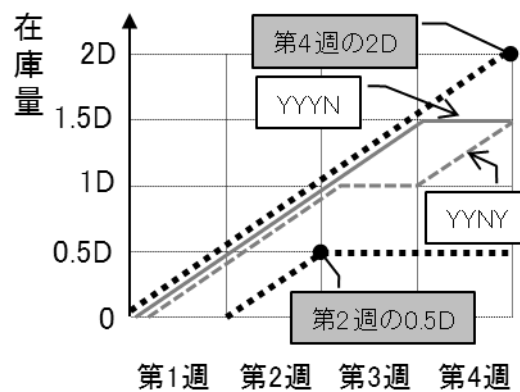


図 3-5 交叉しない生産方策

交叉しない生産方策においては、上に推移する生産方策において在庫ロスが大きく、下に推移する生産方策において品切ロスが大きくなる。在庫ロスの重み α によって方策ロスはどちらかの生産方策において最小値を示すことになるので、どちらも不適格案にならない。

3.1.4 突発受注の優先順位

交叉するNYYYとYNYNの生産方策は品切になる突発受注にも違いがある。NYYYは第1週の0.5Dの突発受注が品切になり、YNYNは第4週の1.5Dの突発受注が品切になる(図3-6)。NYYYの方策ロスがYNYNよりも小さくなることから、第4週の1.5Dの突発受注よりも第1週の0.5Dの突発受注が品切にならない生産方策とすべきことがわかる。これは品切を避けるべき突発受注の優先順位を示している。このような突発受注の優

先順位は表 3-1 で示した交叉する 5 組の生産方策において評価できる。ただし、第 3 週の 0.5D、1.5D、第 4 週の 0.5D、2D の突発受注は比較できず、優先順位付けできない。

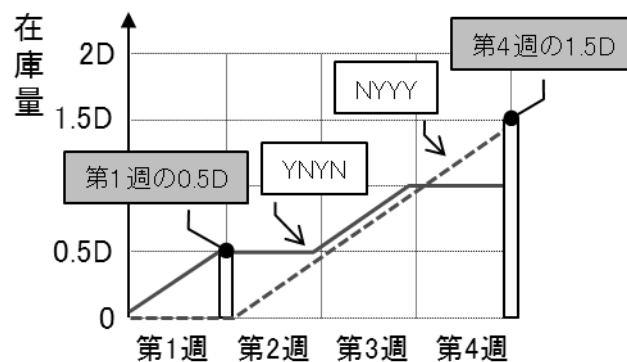


図 3-6 交叉しない生産方策の比較

表 3-2 に優先順位付けした突発受注を示す。第 1 週の 0.5D の突発受注(優先順位 4 番目)を品切とせずに、第 4 週の 1D の突発受注(優先順位 2 番目)を品切とする生産方策(YNNN)は不適格案になることを示している(表 3-1)。突発受注の優先順位を図 3-2 で考えてみれば、左上にある突発受注から右下にある突発受注に向かって優先順位が高くなっている。早い週の小さい突発受注(左下)と遅い週の大きい突発受注(右上)は同程度の優先順位と考えられるため、左下の突発受注のみの品切を避ける YNNN のような生産方策は不適格案であることを表している。言い換えれば、始めの週に残業して、それ以降は全く残業しないような“極端”な生産方策は選択するべきではないことを示している。

実際の生産計画業務においても“極端”な生産方策が選択されることは少なく、生産計画の立案の経験を有する計画担当者はこのような性質を認識していると考えられる。したがって、不適格案となる生産方策は計画想定範囲に入らないと仮定する。

表 3-2 突発受注の優先順位

優先順位	1	2	3	4	5	
週	第2週	第4週	第3週	第1週	第2週	第4週
量	0.5D	1D	1D	0.5D	1D	1.5D

3.2 モデルにおける計画担当者の問題

図 3-7 に計画想定範囲の説明を示す。縦軸には生産方策 16 パターンのうち、不適格案となる 5 パターンを除いた 11 パターンの生産方策を在庫ロスの大きい順(残業する週が多く早い順)に並べる。横軸には在庫ロスの重み α を 0.1 刻みで変化させた 101 通りのうち、

両極端の在庫をゼロとする“在庫評価($\alpha=10.0$)”、品切をゼロとする“品切評価($\alpha=0.0$)”、中間の在庫と品切の両方を回避したい“両方評価($\alpha=5.0$)”、それらの中間の在庫をある程度回避したい“セミ在庫評価($\alpha=7.4$)”と品切をある程度回避したい“セミ品切評価($\alpha=2.6$)”の 5 つの評価を示す。両極端の在庫評価($\alpha=10.0$)と品切評価($\alpha=0.0$)および両方評価($\alpha=5.0$)の設定から考えれば、それら中ほどのセミ在庫評価は $\alpha=7.5$ 、セミ品切評価は $\alpha=2.5$ とするべきである。しかし、 $\alpha=7.5$ では 1 つの生産方策で後述する 0 から 100 の間の方策ロスとなるために、在庫評価における選択と同じになる。この図 3-7 は生産方策の選択の考え方を概略的に検討することが狙いであることから、便宜的にセミ在庫評価を $\alpha=7.4$ として、対応するセミ品切評価は $\alpha=2.6$ とした。

		在庫評価	セミ在庫評価	両方評価	セミ品切評価	品切評価
在庫ロスの重み α		10.0	7.4	5.0	2.6	0.0
残業 多い 早い ↑ 生産体制(11パターン) ↓ 少ない 遅い	YYYY	600	444	300	156	0
	YYYN	500	373	2nd 255	137	10
	YYNY	410	311	220	129	1st 30
	YNYN	330	260	195	130	60
	YNNY	250	2nd 208	170	132	90
	NYYN	180	167	1st 155	143	2nd 130
	NYNY	2nd 120	136	150	164	180
	NYNN	70	114	155	196	240
	NNYN	30	1st 103	170	2nd 237	310
	NNNY	1st 10	111	2nd 205	299	400
	NNNN	0	130	250	370	500
	1stベスト	やや広い	広い	広い	広い	やや広い
	2ndベスト	片側	片側	両側	方側	片側
選択の困難度		中	低	高	低	中

501～600

401～500

301～400

201～300

101～200

0～100

図 3-7 計画想定範囲における各評価の特徴

方策ロスの最大値の 600 を 6 等分した 100 刻みで方策ロスを分類し、数値が小さいほど薄く、大きいほど濃く色分けした。計画担当者が各評価における方策ロスの値や色の境界

を明確に把握しているわけではないが、色の違いや分布程度は経験的に把握していると考ええる。したがって、図 3-7 の色分けは計画担当者が経験的に理解している 5 つの評価に対する各生産方策の評価値に近いと考えるもの(以下、評価マップと呼ぶ)である。

図 3-7 の各評価において、最も薄い色になる方策ロスの小さい生産方策を 1st ベスト、次に色の薄い生産方策を 2nd ベストとする。在庫評価($\alpha=10.0$)と品切評価($\alpha=0.0$)では 1st ベストがやや広く、セミ在庫評価($\alpha=7.4$)とセミ品切評価($\alpha=2.6$)では 1st ベストが広くなり、これらの 4 つの評価では共通して 2nd ベストは 1st ベストの片側にある。両方評価($\alpha=5.0$)は 1st ベストが広く、2nd ベストは 1st ベストの両側にある。

計画担当者は「できれば 1st ベストの中から選び、2nd ベストは避けたい」と考えるため、色分けの明確な境界を把握していない状況では、1st ベストが広いほど 2nd ベストを選択する可能性は低く 1st ベストを選択する可能性が高い。反対に 1st ベストが狭いほど 2nd ベストを選択する可能性が高い。

生産方策の選択には、1st ベストの広さだけではなく、2nd ベストの分布も関係する。「1st ベストにしたい」と考えるため、2nd ベストが片側にある場合には、図 3-7 の矢印で示すように 2nd ベストが分布しない側の生産方策にすることで、1st ベストを選択する可能性を高められる。しかし、図 3-7 のセミ在庫評価における 1st ベストの方策ロスを見ると、NNYN の 103 が最小で、それから矢印にそって下に行くと、NNNY : 111、NNNN:130 と大きくなるので、端では方策ロスが大きくなり、最適解から遠ざかる特徴がある。2nd ベストが両側にある両方評価の場合には、1st ベストの両端に 2nd ベストがあるので、1st ベストの中央を選択せざるを得ない。

評価マップにおける 1st ベストと 2nd ベストの分布状況によって、「できれば 1st ベストの中から選んで、2nd ベストは避ける」ための生産方策の選択の困難度は異なり、その困難度が計画担当者の悩みになっていると考える。

以上で検討した 5 つの評価については、品切がどれほど生じてもよい在庫評価と、在庫をどれほど保有してもよい品切評価は考慮する対象ではなく、在庫と品切の重みがちょうど同じ両方評価も普通では考慮しないことから、これら 3 つの評価は実態として適切となりにくい。実態としてはセミ在庫評価とセミ品切評価になると考える。

3.3 モデルにおけるマネジメントの意思決定

図 3-8 に在庫ロスの重み α を 101 通りすべてとした評価マップを示す。この評価マップが計画担当者に与えられている現状の計画想定範囲と考える。図 3-8 に示した計画想定範囲は 4 週間の生産方策で不適格案が 5 パターンあることから、現状の計画想定範囲は 11 に 101 を乗じた 1111 となる。

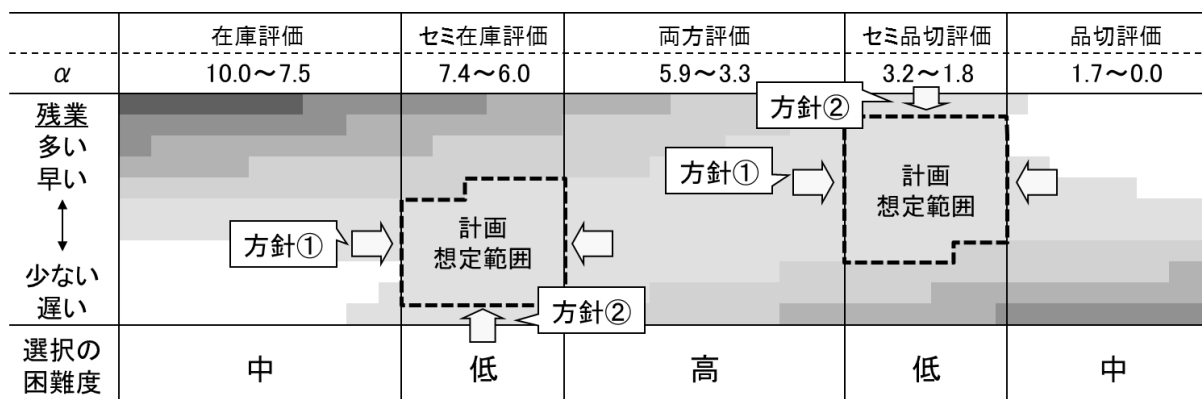


図 3-8 評価マップによる計画想定範囲の縮小化

評価マップにおけるマネジメントの意思決定とは、計画担当者の計画想定範囲を小さくすることである。この計画想定範囲を小さくする方針としては、①横軸における在庫ロスの重みの範囲縮小化と、②縦軸における生産方策の範囲縮小化の 2 つがある。

方針①の重みの範囲縮小化では、3.2 で述べた在庫ロスの重みの選択において、在庫評価と品切評価および両方評価は実態ではないことから、マネジメントが在庫を避けたいのであればセミ在庫評価、品切を避けたいのであればセミ品切評価が計画想定範囲となる。セミ在庫評価となる在庫ロスの重み α の範囲は 7.4 から 6.0、セミ品切評価となる α の範囲は 3.2 から 1.8 である。

方針②の生産方策の範囲縮小化では、方針①で選択されたセミ在庫評価とセミ品切評価が対象になる。3.2 で述べたようにセミ在庫評価とセミ品切評価では 2nd ベストが分布しない側の端にある生産方策は、方策ロスが最小値となる最適生産方策に比べて方策ロスが大きくなる。そこで、以下の 2 つの決定をマネジメントが行うことを考える。

- ・ セミ在庫評価においては、ある突発受注以下については生産下限で生産を行い、その差分は在庫積み増しとすることを認める
- ・ セミ品切評価においては、ある突発受注以上については生産上限で生産を行い、その差分は積み増した在庫、もしくは保有在庫で対応することを認める

このような生産の上下限をマネジメントが決定することによって、1st ベストの可能性を高めようとして最適解ではなくなることを回避することが可能になる。

方針①において、セミ在庫評価で在庫ロスの重み α を 7.4 から 6.0 に設定すると、計画想定範囲の広さは 99 となる。セミ品切評価で在庫ロスの重み α を 3.2 から 1.8 に設定すると、計画想定範囲は 115 となる。方針②において、セミ在庫評価では 4 週間における残業が 0 回となる 1 パターンを 11 パターンの生産方策から除くと、計画想定範囲は 84 となる。セミ品切評価では 4 週間における残業が 4 回となる 1 パターンを 11 パターンの生産方策から除くと、計画想定範囲は 100 となる。方針①と②によって縮小化した計画想定範囲を点線で図 3-8 に示す。

以上から、マネジメントの意思決定により計画担当者の計画想定範囲が縮小化されることがわかった。評価マップにおける広さをまとめると、方針①により、計画想定範囲はセミ在庫評価では 1111 から 99(91%減少)、セミ品切評価では 1111 から 115(90%減少)になり、さらに方針②により、それぞれ 99 から 84(92%減少)、115 から 100(91%減少)になる。計画想定範囲の値そのものに意味はないが、選択範囲は 1/10 程度になり、計画担当者の悩みも小さくなると考える。

従来の計画担当者の業務は、1.2 で示したように、負荷計画・生産計画・差立計画が分類されず“計画担当者の生産計画”と一括りにされていた。本章で提案する生産計画の立案プロセスはこれに代わるものである。図 3-9 上部に示すように、マネジメントが“方針①の在庫ロスの重みを意思決定することで在庫と品切の評価を決め”、“方針②の生産の上

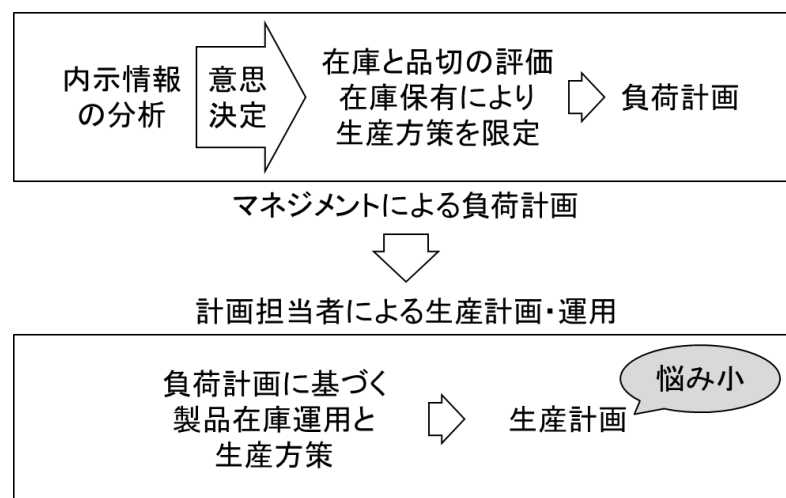


図 3-9 マネジメントと計画担当者による生産計画

下限設定による在庫保有によって生産方策を限定する”という意思決定を行う。そして、図 3-9 下部に示すように、計画担当者は、“負荷計画に基づいた在庫と生産方策を運用して、生産計画を立案する”ことが可能になり、計画担当者に与えられる計画想定範囲は小さくなる。

3.4 まとめ

関連研究の扱っている生産計画、対象企業の実績データ、計画担当者の意見から、生産計画モデルを設定した。このモデルを用いて以下の提案と検証を行った。

- ・ 計画担当者の計画想定範囲を縮小化するために、在庫と品切の評価基準である在庫ロスの重みの設定と、在庫対応する突発受注を明確にした生産方策の限定をマネジメント意思決定として提案した
- ・ 生産計画モデルに当てはめて検証した結果、マネジメントの意思決定がされていない生産計画では計画担当者の計画想定範囲が大きく、意思決定された元での生産計画であれば計画想定範囲が縮小化されることを実験的に示した。また、その範囲を 10%程度に縮小化できる可能性を示した

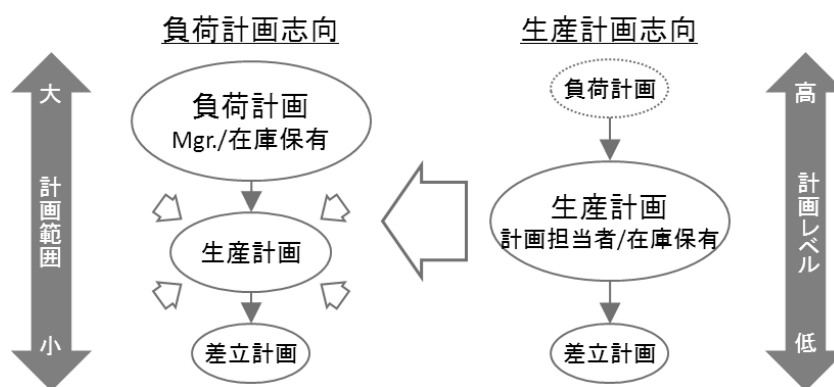


図 3-10 生産計画志向と負荷計画志向

提案した立案プロセスではマネジメントと計画担当者が協業して計画を立案することになる。想定した生産計画モデルでは、提案した生産計画立案方策における計画担当者の計画想定範囲は 10%程度に縮小化できたことから、図 3-10 に示す仮説 1 の“評価基準を決め在庫保有を認めることで生産計画問題を縮小化できる”を検証できた。

第4章 生産計画問題の解消

本章では、仮説 2 “顧客・工場都合の LT 改善と生産量の抑制策で生産計画問題を解消できる” の検証を試みる。まず、対象企業における生産計画業務の実態の分析を通して、生産計画業務に関連する問題点を抽出した。そして、それらの問題点に対してできるだけ汎用的な運用・改善方策を提案し、対象企業のデータを用いて実行可能性を示す。この検証を通して、生産計画の目標や条件を変えることによって、計画担当者の生産計画問題を解消する方法を提案する。

4.1 対象企業における生産計画業務

対象企業とした自動車用部品を製造している生産ラインでは、国内外の自動車部品メーカーから内示・確定注文(以下、内示・確定と呼ぶ)を受けて生産する。図 4-1 に対象企業の概要を示す。製品は約 70 種類あり、生産量は製品によって月 1,000 個～10 万個弱と多

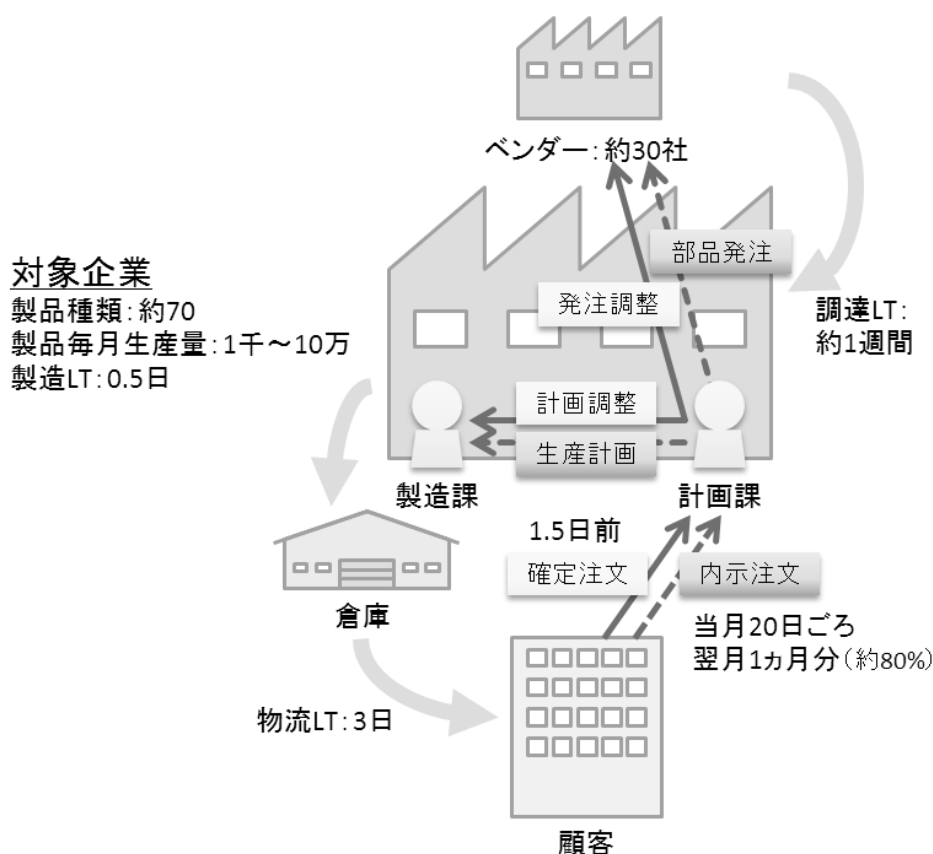


図 4-1 対象企業の概要

様である。約 20%の製品は翌月の注文すべてが前月に確定され、残りの約 80%は前月に翌月の内示を受け、日々のかんばんで確定される。製造 LT は 0.5 日間で、工場倉庫→センター倉庫→顧客の物流 LT は 3 日間である。部品ベンダーは約 30 社で、部品の調達 LT は約 1 週間である。

当月 20 日ごろに、翌月 1 ヶ月間の内示・確定に基づいて、計画担当者が生産計画を立案する。その計画を生産管理システムに入力すると部品展開され、部品展開の結果をベンダーに内示したうえで、部品調達 LT である 1 週間前に部品指示カード(注文書)が発行される。

4.2 生産計画業務における問題点

上記の対象企業の実業計画業務では、川瀬[10]の「現状システムの設計パラメータを変更して、システムの効率を向上させるようとするアプローチ」である改善問題的視点から以下の業務 LT、業務権限、業務範囲の 3 つが主な問題点であると考えられる。

4.2.1 業務 LT の問題

未確定の内示で月次の生産計画が立てられていることに問題があると考えられる。図 4-2 は対象企業の実業計画業務を概念的に示したものである。対象企業では図 4-2 上部の内示→[製品・部品在庫]→生産計画→部品発注が先行して行われる。これは、内示で翌月の日々の生産量と発注量が決められることを示している。その後、日々の注文が確定した時点で、下部の確定→[在庫運用]→計画調整→発注調整が日々行われる。これは上部で立てた計画と発注に対する生産と調達の差異調整を示している。生産計画のもとになる内示が確定と異なるために差異調整が必要となるが、1.2.5 に示すように生産と物流のそれぞれが効率のみを重視した構造となっているために、製造してから納入するまでの全体の生産 LT が長くなっていることにある。生産 LT が長くなっているために、確定を用いた生産量の決定では顧客から要求される納期に間に合わず、事前の実業計画が必要となる。事前の実業計画の立案時点では、唯一利用可能な情報が内示であるため、差異調整が必要となることがわかっているが、内示を用いて翌月 1 ヶ月間の生産計画を立てている。

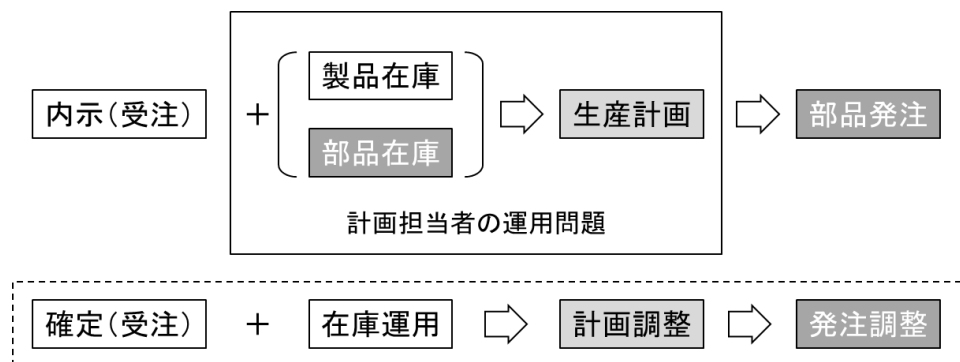


図 4-2 現在の生産計画の立案プロセス

内示に基づいて生産計画を立案することは、“内示”という情報を“注文情報”として利用することと考えれば、未確定の内示を確定的な注文として生産計画業務で用いることに問題の本質があることになる。これは対象企業だけでなく多くの企業でも行われている。問題とする根拠は、内示が本来は部品や材料などの先行手配を保証する指示情報で、製品の生産を指示する情報ではないが、生産計画の立案プロセスで確定的な注文として用いられることである。

先行研究[58]では、「事前に生産内示することにより、部品供給業者に生産準備を開始させ、短いリードタイムで部品納入を受けることができる日本の製造業の伝統的な情報共有のやり方」を分析して、一定間隔で提示される内示に基づく生産計画の立案方法が示されている。しかし、内示と確定の情報の違いや内示と確定の差による調整は論じておらず、この研究での内示の扱いも問題とする根拠の一つである。

4.2.2 業務権限の問題

本来マネジメントが意思決定する在庫量について、運用問題として計画担当者が決定していることが問題であると考え。図 4-2 上部の括弧は、計画担当者が製品・部品在庫の保有量を決定していることを示している。差異調整を補うために“見込製品オーダー”を発行して製品在庫を保有し、“見込部品オーダー”を発行して部品在庫を保有している。これは、未確定情報に基づく意思決定問題であるため、本来はマネジメントの業務である。しかし、生産計画と呼ばれ計画担当者が決定してしまっている。図 4-2 下部は日々決定されるため、差立計画と考える。しかし、この差立計画においても計画担当者が事前に決めた生産と調達調整を決定している。

マネジメントによる意思決定に基づく生産・差立計画が、計画担当者の業務となる。このように、意思決定の責任転嫁が起こっていることに問題の本質がある。この計画担当者による意思決定は対象企業だけでなく多くの企業でも行われている。問題とする根拠は、最近話題になっている内部統制[59]で指摘されているマネジメントと計画担当者の業務・責任分担の曖昧さであり、対象企業の生産計画業務を熟知している計画担当者が、本来マネジメントが決定する製品・部品の見込オーダーの発行という意思決定をしてしまっていることである。

人見[60]は、資源制約を満たす範囲で利益を最大化する問題として“生産計画”に関する記述をした後、生産能力を決定する“負荷計画”、発注点発注方式などを紹介した“在庫計画”、そして“生産予測”などの生産計画の各業務における問題をトピック的に紹介している。しかし、計画のプロセスや責任分担には触れておらず、生産計画のプロセス・責任分担に言及した先行研究が少ないことも問題とする根拠の一つである。

4.2.3 業務範囲の問題

日々立てる差立計画が生産計画を修正する業務となり、先の注文を考慮しない日々の対応になっていることが問題であると考え。図 4-2 下部では、確定が大きい場合に在庫が不足して品切が生じることを避けるために、内示に基づいて立てられた生産計画を修正する。そして、修正した計画通りに生産できるように作業者や設備を調整し、部品在庫が不足する場合には部品ベンダーへの納入を調整する。確定が小さい場合に在庫が増加して過剰に保有することを避けるために、生産計画を修正し、生産や納入を調整する。これらは日々決定されることから差立計画となる。本来、生産計画で決められた日々の生産量を達成するために、差立計画で設備や作業者ごとの加工順番や段取作業のやりくりなどを決める。しかし、差立計画が生産計画の修正業務となっているために、確定が大きいもしくは小さい場合にのみ行われている。その結果、在庫不足と過剰在庫への日々の対応となり、先の注文を考慮しない決定になってしまっている。

生産計画の決定を差立計画で修正しているために、計画を展開するプロセスが上位計画の修正となっていることに問題の本質がある。これは対象企業だけではなく多くの企業でも行われている。問題とする根拠は、計画を展開する場合には上位計画の決定に基づいて下位計画を立てるプロセスになるが、生産計画と差立計画の両方を計画担当者が担当して

いるために、計画を展開するプロセスがあいまいなっていることである。

並木と古川[61]は、生産計画を中日程計画、差立計画を小日程計画とした上で、中日程計画を修正して翌週または翌日の作業分配を決定するとしている。また、人見他[62]は、生産計画を基準生産計画、差立計画を日程計画とした上で、日程計画の立案時に基準生産計画が実行不可能なものであれば基準生産計画を修正するとしている。このように、上位計画を修正することが基本構成であるとした記述があることも問題とする根拠の一つである。

4.3 方策の提案

4.2 で示した、①未確定の“内示で月次生産計画が立てられる”、②本来マネジメントの意思決定問題である在庫オーダーを、運用問題として“計画担当者が意思決定している”、③差立計画が“生産計画の修正業務になっている”という 3 つの問題点に対して、情報視点と経営視点から 6 つの改善方策を検討する。以下では、問題点①に対して方策ⅠとⅡ、問題点②に対して方策ⅢとⅣ、問題点③に対して方策ⅤとⅥを提案する。

4.3.1 方策Ⅰ：LT 短縮

部品がそろっていて顧客注文の製品を即座に生産して納入できれば、生産計画問題がない状況になる。部品の調達と製品の生産・物流に時間がかかり LT が存在することから、LT 分だけ先の未確定情報での行動が必要になるために、生産計画問題が生じる。生産計画問題を解消するために、まず LT 短縮を図ることが必要と考えるべきである。

部品調達ではベンダーでの生産・物流 LT、製品生産では自社の生産・物流 LT があり、生産技術・製造工法・生産管理などの改善でこれまで LT 短縮はされてきた。しかし、生産管理システムには夜間バッチや人手の例外処理などがあるために、“情報 LT”と呼べる LT があり、その情報 LT の短縮には改善の余地が大きいと考える。

4.3.2 方策Ⅱ：受注分析

受注の傾向は顧客や製品ごとに異なり、その傾向は変化するので、常時的に受注を分析する必要がある。ところが、多くの生産管理システムには、受注を分析する機能が含まれていない。

一般的な生産管理システムは図 4-3 の点線枠内のように、データ処理と情報処理が一体化されている。しかし、情報とは個々の意思決定で変わるものであるため、データ処理と情報処理を分離して[63]、意思決定ごとに異なる情報処理システムにすることを考える。

生産計画では製品別日別のデータが情報になるが、受注の分析では顧客別製品別のデータが情報になる。受注を分析するために、生産情報 D/B から顧客別日別に集約する情報処理システムが必要になると考える。

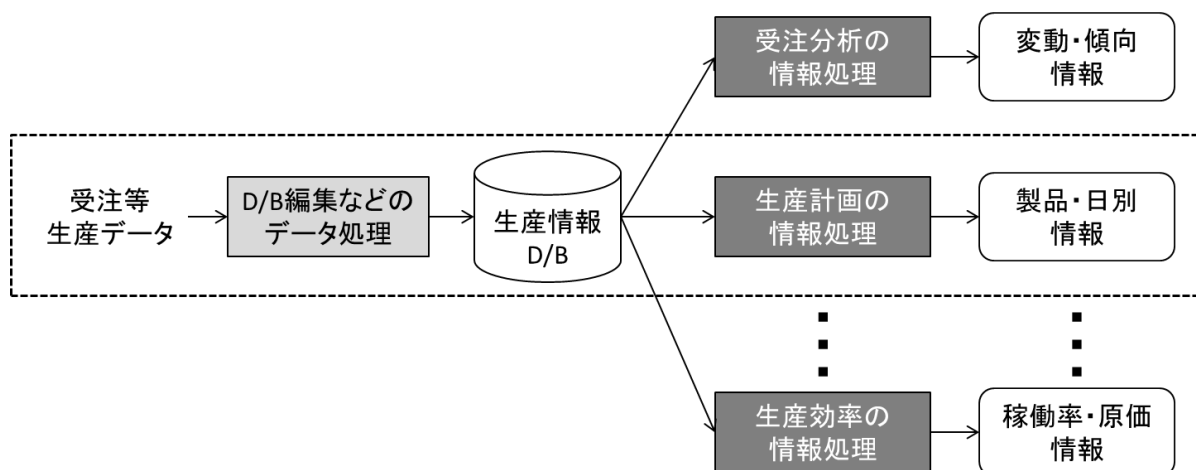


図 4-3 データ処理と情報処理

4.3.3 方策Ⅲ：内示フローと確定フロー

過去においては注文変動による内示と確定の差は小さく、ある程度の作り貯めも許されたため、内示による生産計画で確定の変動に対応可能であった。しかし、最近は注文変動が比較的大きく、作り貯めのムダが許されないために、内示による生産計画では対応できなくなりつつあり、直近の確定に基づいた生産が求められている。

図 4-2 に対応させた提案する生産計画業務を図 4-4 に示す。主体は図 4-4 下部の確定によるワークフローであり、確定に在庫運用を加味して差立計画を立て、ベンダーに部品納入を指示する。

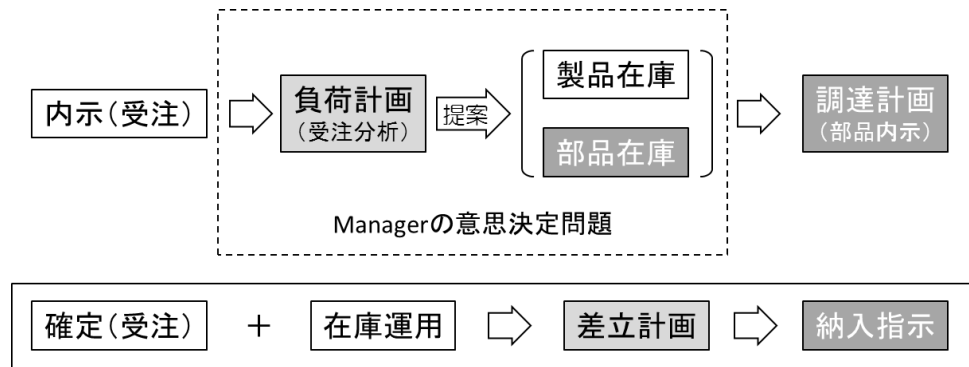


図 4-4 提案する生産計画の立案プロセス

この確定に基づいた生産を可能にする在庫保有を検討するため、上部の内示によるワークフローが付随的に処理される。この内示のワークフローは、内示を用いて行う方策Ⅱの受注分析から負荷計画を立て、その負荷計画に基づいた在庫の検討結果(方策Ⅳ)をマネジメントに提案して意思決定を仰ぎ、その結果をベンダーに調達計画(部品内示)として提示する業務になる。詳細については負荷計画を方策Ⅳで述べ、差立計画を方策Ⅴで述べる。

図 4-2 で生産計画に用いられていた内示は、図 4-4 の負荷計画では変動幅情報として扱うために、方策Ⅱで述べたように、内示と確定を分析して変動幅が見える化する情報処理システムが必要となる。

4.3.4 方策Ⅳ：負荷計画

提案する図 4-4 と現状の図 4-2 における違いの基本は、内示中心から確定中心の生産計画業務への変更である。日々の確定が変動することから、生産能力以上の変動には製品在庫で対応し、生産能力内であっても部品の調達計画を上回る大きな変動には部品在庫で対応する必要がある。したがって、製品・部品在庫の決定が必要であり、この負荷計画の見通しを与えるのが内示となる。

確定中心の生産計画業務への変更に伴って、計画担当者が暗黙知的に行っていた製品・部品在庫の決定をマネジメントの意思決定問題として明示する。変動対応に必要な在庫コストは、これまで生産コストとして内在化されていた。提案する生産計画業務では、注文の変動幅を明らかにしたうえで、その変動に対応するために必要な製品・部品在庫を算出する。そして、“顧客の注文変動に対応するためには、これだけの在庫保有が必要であり、それだけのサービス・コストをかけても対応しますか？”と、在庫を運用するコスト

とサービスレベルのバランスをとる意思決定問題としてマネジメントに算出した結果を提示する。

4.3.5 方策Ⅴ：差立計画

現状の生産計画の主な問題は、全体の生産 LT が長くなるために翌月の日々の生産量を未確定な内示で決めなければならないことにある。未確定な内示で先の日々の生産量を決めるために、内示と確定の差に対応する日々の計画調整が必要になる。その結果、変動対応が“日々決まる確定に対して、製品生産や部品調達の調整ができるか”という問題に変わってしまった。

図 4-2 の現状の生産計画の立案プロセスにおける計画調整は、方策Ⅲ・Ⅳによって図 4-4 のワークフローになる。図 4-4 上部の内示処理は“負荷計画”的な意味になり、製品・部品在庫の検討・提案と部品内示を行うだけになる。したがって、内示で生産と調達を決めないことにより、業務 LT の問題を解決することができる。

負荷計画で決められる製品・部品在庫と当日の確定から差立計画を立てる。この差立計画に基づいてベンダーへ部品在庫の減少分を日々に納入指示する。製品在庫については、合計の確定量が生産能力以下であれば生産を追加し、生産能力以上であれば製品在庫を引き当てることになる。

4.3.6 方策Ⅵ：在庫保有の分担

注文の変動に対応するために、対象企業では製品・部品在庫を保有することで在庫コストが増える。これらすべてを対象企業のコストとするのではなく、対象企業とベンダーで分担することも考えられる。

この分担を示した図 4-5 の点線枠が対象企業において製品・部品在庫を保有することを意味している。ベンダーへの部品の注文と納入の詳細には触れないが、預託在庫・VMI(Vender Managed Inventory)といった方式で対象企業の代わりにベンダーが部品在庫を持つ方式がある。この方式であれば、対象企業における在庫保有の範囲は実線枠となり、在庫コストを分担することになる。この関係は対象企業と顧客でも同じことになる。

在庫コストを分担するためには図 4-5 上部に示した“ものの流れ”に対応する“情報の流れ”に関する課題もある。情報システムの開発によって、その運用環境はリアルタイム

化が進んでいる。しかし、それらの情報を処理する生産管理システムが以前からのバッチ的なものであるために、情報処理に数日の情報 LT がかかるといった実態がある。それらの処理を早めることも検討すべきと考える。

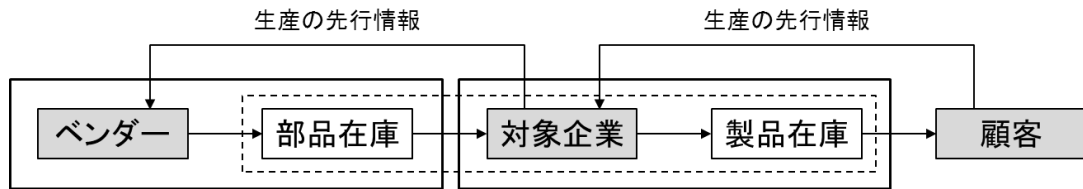


図 4-5 コストの分担と情報の流れ

4.3.7 方策のまとめ

上記で考察してきた 6 つの方策の特徴は、経営や情報といったマネジメントの視点を絡めたことにある。これまでの生産計画業務ではボトムアップ志向で現場・現物的に計画担当者レベルが問題解決してきた。6 つのそれぞれの方策自体は新規性があるものではないが、これまで不足していたマネジメントの視点による方策として提案している。各方策を情報視点と経営視点に分類したものを以下に示す。

- 情報視点の方策
 - ・ 方策Ⅰ(LT 短縮)では、生産・物流 LT よりも、“情報 LT”である情報処理・伝達のスピードアップを考える
 - ・ 方策Ⅱ(受注分析)では、内示・確定などの受注データが見える化して、誰でも何処でも内示・確定を分析できる環境を考える
 - ・ 方策Ⅲ(内示フローと確定フロー)では、未確定な内示は参考として扱い、方策Ⅰの情報処理のスピードアップにより、直近の確定を用いた計画を考える
- 経営視点の方策
 - ・ 方策Ⅳ(負荷計画)では、計画担当者の問題になっていた在庫の保有量の決定をマネジメント問題として明示化することを考える
 - ・ 方策Ⅴ(差立計画)では、方策Ⅲでの確定による日々の計画を計画担当者の差立計画にして、既定とされている内示による月度の計画をマネジメントの負荷計画とすることを考える
 - ・ 方策Ⅵ(在庫保有の分担)では、対象企業内だけの生産・在庫問題ではなく、サプラ

イチェーンの経営問題としてとらえ、在庫の責任分担や先行情報の活用を考える
この新規性に関しては、SCOR[64]の Best Practice の多くが既存の日本発の手法であり、
その既存手法を適用することに重点が置かれていることと合い通じるのではないかと考える。
る。

4.4 改善案の検証

4.3 で述べた方策の実際の状況への適用には工夫が必要となる。ここでは、これらの方策に基づいた改善案を対象企業へ適用することを想定し、考慮する点や工夫する点について検討する。そして、対象企業の状況やデータを用いた簡単な数値検証により、改善案のフィージビリティについて検討する。

4.4.1 業務 LT の問題に対する改善案

顧客への製品納入が看板方式で行われている注文(全体の約 80%)の各 LT を図 4-6 に示す。図 4-6 上部の表の最終行に示すように、以下の 4 つの LT がある。

- ・ 生産 LT(2 日) : n 日に受注し、翌日($n+1$ 日)に生産を仕掛け、翌々日($n+2$ 日)に出荷する
- ・ 配送 LT(1 日) : $n+2$ 日に工場から出荷し、翌日($n+3$ 日)に倉庫に到着する
- ・ 倉庫 LT(1 日) : $n+3$ 日に倉庫で出荷準備し、翌日($n+4$ 日)に顧客に納入する
- ・ 納入 LT(1.5 日) : 納入は 1 日 2 回で 1.5 日先(3 回先の納入)の看板を引き取る

図 4-6 のすべての処理はある日の朝に行われて、1 日 1 回の処理になっている。 n 日の受注は夜間バッチで処理され、その生産仕掛は翌朝($n+1$ 日)になる。実際の生産の正味 LT は 0.5 日であるが、翌日のいずれの時間に生産されるか未定で完成は翌日最終となる。出荷は翌々日($n+2$ 日)になるので、生産 LT は 2 日となっている。配送 LT は出荷から入庫であり、トラック輸送にかかる正味 LT である。倉庫 LT は入庫から納入であり、倉庫作業に時間はかからないが、納入の準備作業の指示が朝一番($n+3$ 日)に出され、翌朝($n+4$ 日)に納入されるので LT は 1 日となっている。

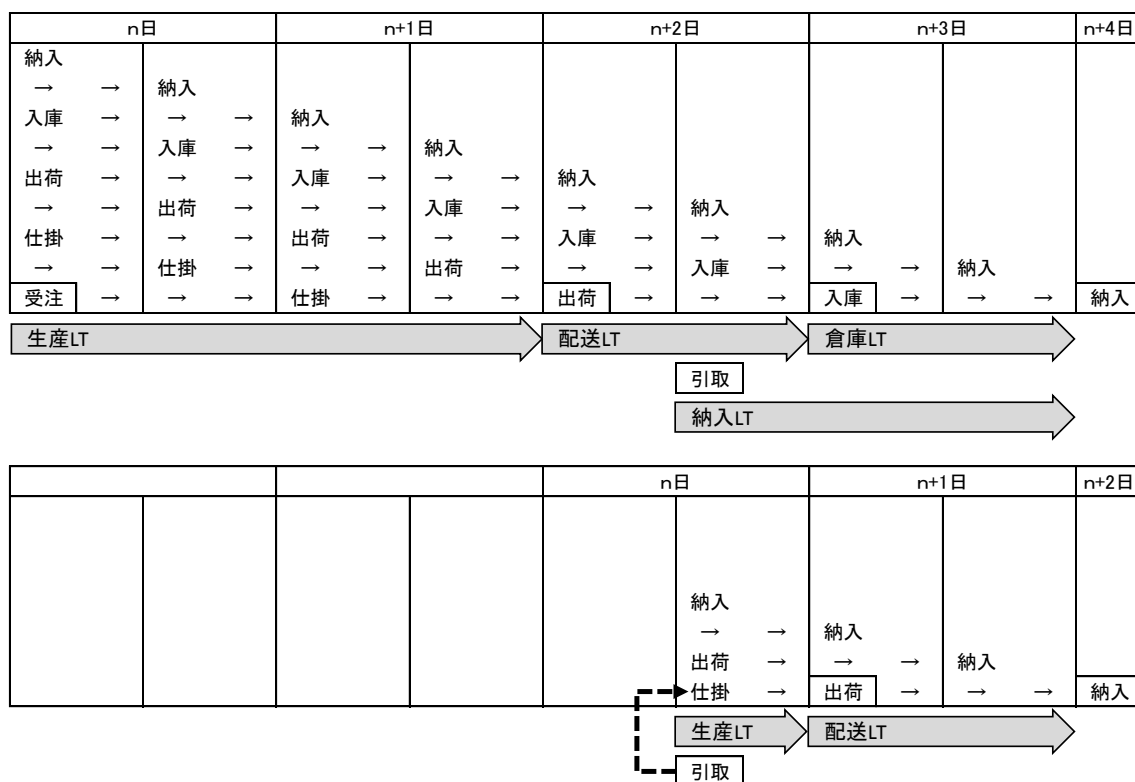


図 4-6 かんばん方式による納入の LT

このかんばん運用では、毎朝の指示や、情報システムの処理タイミングに合わせた 1 日単位の仕事になっている。これに対して、図 4-6 下部に示すように、以下の 2 つの LT 短縮を考える。

- ・ かんばん引取のデータ処理と生産仕掛のタイミングを早める：引き取ったかんばん情報を工場に即座に配信して、n 日の 2 直開始時に生産を仕掛ければ、正味生産 LT0.5 日で n+1 日中に完成するので、生産 LT を 2 日から 0.5 日に短縮できる
- ・ 入庫後の出荷準備を即座に行う：納入かんばんに応じた生産と出荷の荷姿にすれば、入庫後の即納入が可能であり、倉庫 LT を 0 日にできる

これにより、n 日の 2 直に引き取ったかんばんによる生産仕掛で“売れたものを作る”という本来のかんばん運用を実現化できる。さらに、倉庫 LT に対応した製品在庫をゼロにできる。

この LT 改善のポイントは、納入に先立って受け取る顧客のかんばん情報を生かして、正味 LT1.5 日(生産 LT0.5 日+配送 LT1 日)での生産と納入を行うことである。これは方策 VI(在庫保有の分担)で示した、生産の先行情報を上流の顧客から下流の対象企業に流して、受注情報をタイミングよく活用することにも対応している。

4.4.2 業務権限の問題に対する改善案

製品と部品の在庫量の決定に用いる基本データは過去の確定と計画時の内示であり、それらの変動幅が在庫量の目安になる。対象企業の顧客の生産は、ある生産能力内である程度一定の自動車メーカーの注文に応じたものである。そのような顧客からの日々の注文は確率的に変動するものではなく、月の総量がメーカー需要を反映したうえで、あるパターンにしたがって変動している。実態における多くの生産計画問題では、その変動幅は一定の範囲になることが普通である。

図 4-7 は対象企業のある製品のある月度の注文の累積線である。上の実線が計画時点(1 月末ごろ)の内示累積線で、その傾きは土・日を除いた内示の平均である。総量的な視点で累積線全体を見れば、多少の変動はあるが直線的になっている。

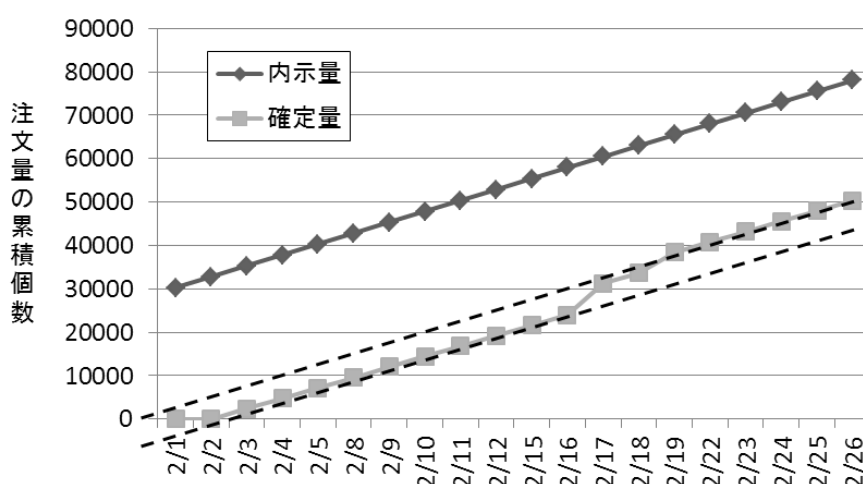


図 4-7 注文量の変動幅

確定累積線(下の実線)は傾きによって 3 種類に分類できる。1 日から 2 日までの傾き 0 のパターン、3 日から 16 日まで、17 日から 18 日まで、19 日から 26 日までに見られる平均的な傾きのパターン、16 日から 17 日までと 18 日から 19 日までに見られる大きな傾きのパターンである。このことは、確定量が正規分布などに従うのではなく、数種類のパターンになることを示している。また、確定累積の平均線を上下して確定累積線の幅に合わせた 2 つの上下限線(点線)で見ると変動幅は 7,000 個弱である。これが製品・部品の在庫量の目安になる。内示累積線は実際の月初在庫を起点としており、内示と確定の累積線の間が製品の運用在庫になる。在庫の目安となる 7,000 個と比較して実際の在庫は 27,000 個

から 34,000 個と多い。1.2.1 と 4.2.2 で述べたように在庫と品切のリスクはマネジメントが検討する内容であるが、計画担当者が運用在庫を決定しており、在庫と品切のリスクに基づいた決定にはなっていない。それぞれのリスクの設定次第では実際に保有している 30,000 個程度の在庫量が適切な値と判断できる可能性もあるが、目安となる 7,000 個に比べて実際の在庫量は 4 倍から 5 倍と大きい。計画担当者が品切を避けることのみを重視して在庫を多く保有する生産計画としている結果であり、これはマネジメントからそれぞれのリスクを考慮した明確な目標が示されていない実態を表している。注文の変動に対応するための在庫量を決定するには、在庫リスクと品切リスクを設定する必要があるが、累積線を用いた簡単な分析でその目安となる値を把握することが可能である。

さらに、内示累積線の傾きと確定累積線の傾きがほぼ一致していることから、月度の内示総量はおおむね確定総量と同じになる。対象企業では、ほとんどの製品の各月度において、内示総量が確定総量と近い値を示した。前述してきた業務 LT の問題の“未確定な内示で翌月の日々の生産量を決めている”ことと関連して考えれば、日々の内示は確定と異なるため生産計画に用いることができないが、月度の内示総量は翌月生産の負荷計画には用いることができる。

図 4-7 に示した分析で注文の傾向や変動を読み取れるために、この受注分析による在庫検討をサポートする情報システムの機能を実装することで、計画担当者の運用問題となっている在庫量の決定(図 4-2)を、マネジメントの意思決定問題(図 4-4)へ替えることにつながっていく。

図 4-7 の内示・確定累積線が“滑らか”であるのは、対象企業→顧客→自動車メーカーというサプライチェーンがかんばんによる直結的な需給関係だからであるが、もちろん SCM 研究で論じられる非直結的な需給関係も少なくはない。個々企業の意思決定や運用が SCM のブルウィップ効果で注文の変動を発生させている状況では、それら変動への対応策を研究することも必要だが、一方では問題の見方を変えて、対象企業のようなサプライチェーンの直結化を目指す改善を考えるアプローチもありうる。

4.4.3 業務範囲の問題に対する改善案

4.4.1 と 4.4.2 から、対象企業における確定をもとにした日々の生産量の決定と、受注の変動に対応するための保有する在庫量の決定について、以下のことがわかる。

- ・ 4.4.1 の情報 LT 短縮によって、未確定な内示で翌月の日々の生産量を決める生産計画から、日々の確定によって日々の生産量を決める差立計画に替えることができる
- ・ 4.4.2 の受注分析による受注の変動幅が小さいことは、上記した日々の差立計画による対応が可能であることを示唆している。また、受注分析で示した余分な在庫を確定による差立計画で減少させることができる

そこで、ここでは方策Ⅴと方策Ⅲを含めたフィージビリティを検証する。数理モデルの知見を参考にして、日々の確定で日々の差立計画を立てる手順を設定し、対象企業の確定データに基づいて計画を展開し、製品と部品の在庫量を算定・評価する。この評価は対象企業のある月度の数製品の確定データを対象とした極めて限定的なもので、参考程度の評価であり、詳細な評価は今後の研究課題とする。

①生産情報

図 4-8 は対象企業の生産概要を示すように図 4-5 を書き直したものである。図 4-8 上部に示すように、以下のような運用が考えられる。

- ・ 顧客から対象企業への情報: 前月末情報として当月の内示が、日々情報として日々の確定がくる。内示は当月総量を示すもので、内示の平均は確定と異なるが、内示総量が確定総量とほぼ同じ(数%の誤差程度)であることから、当月の確定平均の推定値として使用可能である

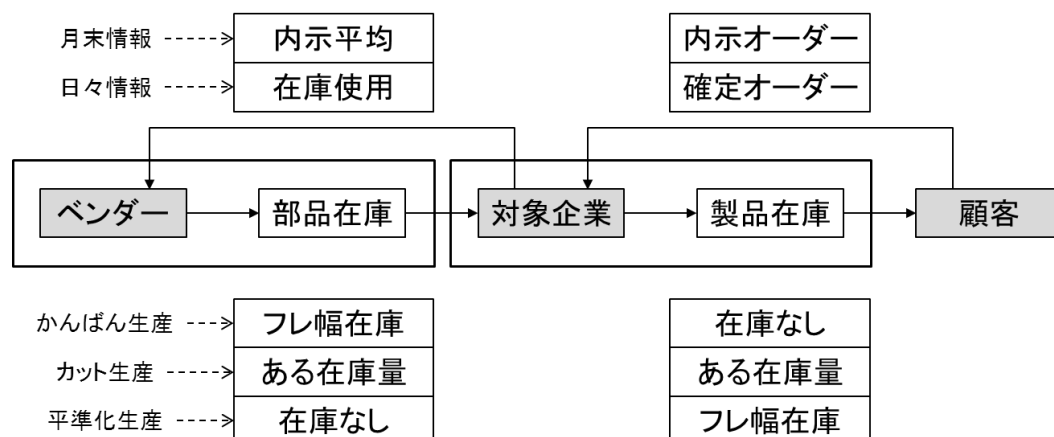


図 4-8 対象企業における提案する生産方式の概要

- ・ 対象企業からベンダーへの情報：前月末情報として顧客からの当月内示すなわち当月確定平均の推定値がいく。また、日々情報として日々の対象企業の生産量すなわち部品在庫からの使用量がいく

なお、ベンダーにおいては、前月までの受注情報から対象企業での使用量の変動幅を推定し、その変動幅に対応する月初在庫を持つことを想定する。また、ベンダーでの生産は当月の内示平均で日々一定量を生産して、対象企業の部品在庫を補充することを想定する。これは VMI(Vender Managed Inventory)方式による部品供給となる。

②生産方式

図 4-8 下部に、生産方式の両端となるかんばん生産と平準化生産を示している。それぞれ以下の特徴を持つ。

- ・ かんばん方式による生産では日々の生産量が注文変動と等しくなるので、生産能力を考慮する必要がある。対象企業の製品在庫はゼロとなるがベンダーの部品在庫は確定の変動幅一杯となる
- ・ 逆に平準化生産では日々の生産量が一定で生産能力の心配はない。ベンダーの部品在庫はゼロとなるが対象企業の製品在庫は確定の変動幅一杯となる

ただし、前述したように、かんばん方式による生産では最大確定注文の生産能力が必要となるが、その生産能力は小さな確定注文では余剰になる。また、平準化生産では生産能力に問題はないが、対象企業で顧客注文の変動幅一杯の製品在庫を持つことになる。したがって、いずれも実行案としては難しい面がある。

これらの両端の生産方式の中間案として、“生産変動(これは在庫量でもある)を抑制するために、大きな確定はある率でカットする”、“大きな確定のカットによって生産量が少なくなるので、小さな確定は逆にある率でアップする”という 2 つの対応を考える。すなわち、大小の確定の変動をある率でカットして、生産変動を抑制する生産方式である(以下、この率をカット率、生産方式をカット生産と呼ぶ)。

このカット生産においては、ベンダーも対象企業も在庫を持つことになる。カット率が大きくなると平準化生産に近づき、ベンダーの部品在庫は減少して対象企業の製品在庫は増加する。逆にカット率が小さくなるとかんばん生産に近づき、ベンダーの部品在庫は増加して対象企業の製品在庫は減少する。このカット生産を、4.4.2 の受注分析における上

下限線の変動幅に対応させてみれば、カット率を大きくすることは変動幅を小さくすることを意味する。

③差立計画の数値検証

ここでは対象企業データを用いて、カット生産のフィージビリティを検証する。差立計画において日々製品ごとの生産量を式(4.1)で求める。

$$P_{ij} = D_{ij} - (D_{ij} - \bar{D}_i) * Z \quad \text{式(4.1)}$$

D_{ij} : 製品 i の j 日の確定量

$\bar{D}_i$: 製品 i の内示平均

Z : カット率 ($0.0 \leq \alpha \leq 1.0$)

P_{ij} : 製品 i の j 日の生産量

式(4.1)では、上記したように、あるカット率で日々製品ごとの大小の確定量をカットしているが、その大小の基準となるのが、製品ごとの内示平均である。4.4.2 で述べたように、“月度の内示総量はほぼ確定総量と一致しており、翌月生産の負荷計画には使えそう”であることから、内示総量の平均である内示平均を基準とする。これは②で述べた“大きな確定のカットによる生産量減少を補うために、小さな確定は逆にアップする”ことであり、このアップによって、図 4-7 のように月度内のどこかで起こる大きな確定に対応するための在庫を確保することになる。

カット率に関連した研究としては俵の研究[65–67]があり、生産量と製品在庫の分散の合計を最小にする率について言及している。しかし、この研究では正規分布的な需要を想定しているため、その時点以前の注文による計画調整を検討しており、図 4-7 の受注パターンのように、その時点以降で発生する大きな注文変動には対応することは考えていない。

対象企業の一つの生産ラインで生産されている 7 製品を対象とし、カット率を 10% から 90% まで 10% 刻みで変化させて、ある月度の確定データを用いて生産量を算定した。これらのどのカット率で製品・部品在庫を比較するかについては、カット生産が生産変動を抑える目的であることから、生産能力を基準とすることとした。図 4-9 にカット率ごとの 7 製品合計の最大生産量と現状の生産ラインの生産能力を示す。その結果、カット率が 70% 以上であれば、この生産ラインの現状における日ごとの生産能力に収まることがわかった。

俵の研究[65]での最適なカット率は 38.2%であるが、図 4-7 の受注パターンは俵が想定する平均的な受注分布を超えた変動であり、カット率 38.2%では現状の生産能力を超えてしまう。

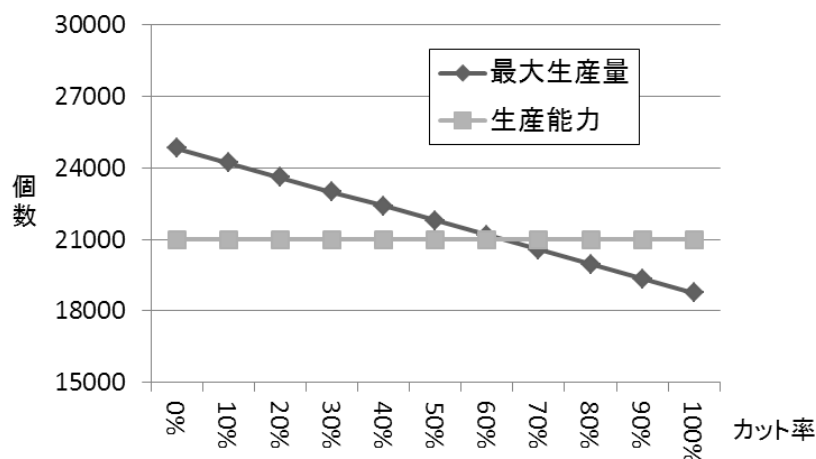


図 4-9 7 製品合計の最大生産量と現状の生産能力

対象企業での現行の生産計画業務と本論文の計画・生産方式は異なるので、算定結果を単純に比較できないが、概数的に比較する。図 4-10 にカット率ごとの在庫不足を生じさせない製品と部品の安全在庫日数を示す。カット率 70%で必要になる安全在庫日数を算定すると製品在庫は 0.24 日、部品在庫は 0.10 日であり、合計しても 0.34 日である。対象企業の同月度における 7 製品の平均在庫保有日数(4.4.1 で示した LT 改善分は除く)は 2.55 日であり、算定した合計在庫日数 0.34 日と比べると、カット生産では 13%程度の在庫で差立計画による運用が可能ということになる。4.4.2 で示したように、実態では多くの在庫を保有していることの裏づけにもなる。

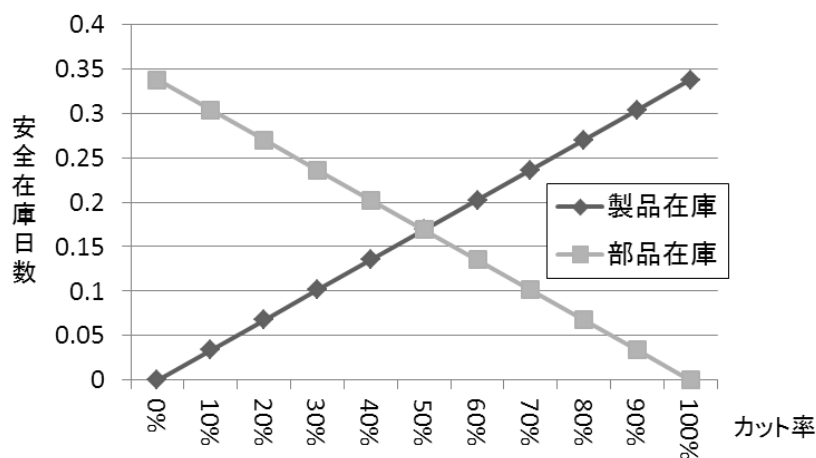


図 4-10 製品と部品の安全在庫日数

4.5 改善案のシミュレーション

提案した改善案を用いて、対象企業の実データでシミュレーションを行い、改善案の有効性について検討する。

モデルの分析では 2010 年 2 月のデータを用いているので、それ以降の 2010 年 3 月から 2010 年 11 月の 9 ヶ月の実データを用いる。4.4.2 と 4.4.3 の改善案で述べた在庫量とカット率については、前月の変動幅と等しい在庫量を保有することとして、カット率は 70% と 50% でシミュレーションを行った。表 4-1 にカット率を 70% としたシミュレーション結果を、表 4-2 に実際の在庫日数を示す。

表 4-1 シミュレーション結果（カット率 70%）

	製品A	製品B	製品C	製品D	製品E	製品F	製品G
在庫平均	11788	1036	10396	1172	1589	5968	1123
確定平均	3673	2698	3663	1408	4651	1613	938
在庫日数	3.2	0.4	2.8	0.8	0.3	3.7	1.2
品切合計	0	0	943	2426	102	148	0

表 4-2 実際の在庫日数

	製品A	製品B	製品C	製品D	製品E	製品F	製品G
在庫日数	4.8	5.1	5.8	3.5	3.8	4.3	3.7

提案した改善案を用いた場合における主要 7 製品の在庫日数の平均は 1.8 日になる。実際の在庫日数の平均は 4.4 日であることから、提案した改善案によって保有する在庫量を削減できることがわかる。提案した改善案では品切が生じているが、日ごとに合計した品切量は最大でも 525 個であるため、在庫日数が 0.03 日程度(525 個を 7 製品の合計確定量の平均の 18,645 個で割った値)の在庫量を増やすことで品切は生じなくなる。

表 4-3 にカット率を 50% とした結果を示す。カット率 50% では生産量の変動が大きくなるため、在庫日数の平均は 1.7 日とカット率が 70% の場合に比べて小さくなり、生じる品切の合計は 5 個とほとんどゼロになっている。

表 4-3 シミュレーション結果（カット率 50%）

	製品A	製品B	製品C	製品D	製品E	製品F	製品G
在庫平均	11070	1052	9816	1170	1640	5680	1090
確定平均	3673	2698	3663	1408	4651	1613	938
在庫日数	3.0	0.4	2.7	0.8	0.4	3.5	1.2
品切合計	0	0	0	5	0	0	0

以上の2つのカット率のシミュレーションにおいて、在庫・品切が実際に比較して少なくなったことから改善案の有効性が検証されたと考える。

4.6 まとめ

対象企業における生産計画業務を分析した結果、“内示で月次生産計画が立てられる”、“計画担当者が意思決定している”、“差立計画が生産計画の修正業務になっている”という3つの問題を抽出することができた。そして、これらの3つの問題を生産計画業務の改善問題としてとらえ、生産計画業務の考察を通して改善するという視点で以下の提案と検証を行った。

- ・ 生産計画業務での上記の問題点を改善するために、LT 短縮、受注分析、内示フローと確定フロー、負荷計画、差立計画、在庫保有の分担という6つの側面からの方策を例示的に提案した
- ・ 6つの方策を対象企業の生産計画業務に当てはめて、受注情報の活用を主とする3つの具体的な改善案を対象企業の状況や実データで検証した。ある月度の数値例を用いた検証の結果、生産計画を立てずに差立計画を日々立てる立案プロセスが運用可能であることを示した。また、ある月度の数値例で在庫レベルを13%程度に削減できる可能性を示した

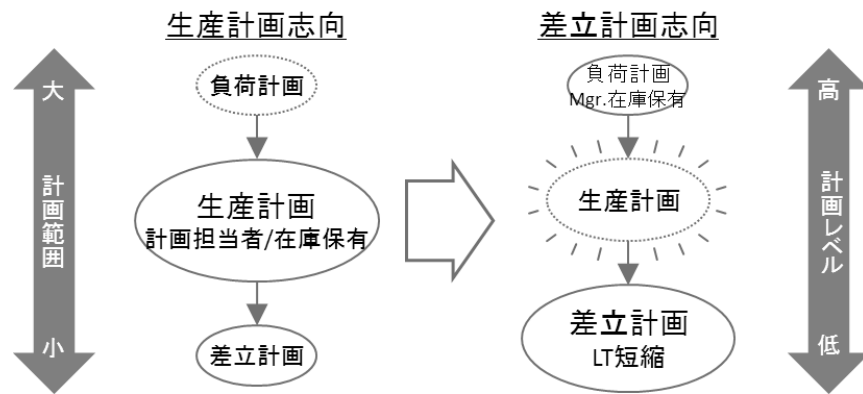


図 4-11 生産計画志向と差立計画志向

提案した 6 つの方策の特徴は、経営や情報といったマネジメントの視点を絡めたことである。これまでの生産計画業務ではボトムアップ志向で現場・現物的に計画担当者レベルで問題解決しており、“パズルの”になっていた。6 つのそれぞれの方策自体は新規性のあるものではないが、これまで不足していたマネジメントの視点による方策として提案した。ボトムアップ志向という問題を抱える多くの企業の生産計画に適用できる可能性があり、マネジメントと計画担当者が協業する生産計画の立案プロセスの一例を示すことができた。提案した方策により、生産計画を立てずに差立計画で日々の生産量を決定する運用が可能となることから、図 4-11 に示す仮説 2 の“顧客・工場都合の LT 改善と生産量の抑制策で生産計画問題を解消できる”を検証できた。ただし、方策の検証は対象企業 1 社に適用した限定的なものであり、より広い汎用性を検証するための複数企業における方策の評価は今後の課題であると考えている。

第5章 結論と今後の課題

5.1 結論

マネジメントと計画担当者の役割や負荷計画・生産計画・差立計画を区別せずに漠然とした“現実のまま”、さまざまな側面に関して言及しているに過ぎず、議論されている計画担当者の“生産計画問題”は“問題”として定義されているわけではない。そのため、生産計画問題を対象とした多くの研究では、特定の条件や状況を一般化して解かざるを得ず、得られた知見が実態に適用されることは少なくなっている。

本論文では、現状の生産計画業務が抱える問題状況の考察から、解くべき問題とその解き方について考え、より実践的な問題を提案し、その解を求めることを考えた。具体的には、マネジメントの意思決定問題と計画担当者の運用決定問題が区別されていないために、負荷計画から差立計画までが混在してしまっている状況に対して、以下の2つの仮説を立てた。

仮説1：評価基準を決め在庫保有を認めることで生産計画問題を縮小化できる

仮説2：顧客・工場都合のLT改善と生産量の抑制策で生産計画問題を解消できる

これらの2つの仮説に対して、実データとその実データに基づくモデルを用いて検証することを研究目的とした。

仮説1の“評価基準を決め在庫保有を認めることで生産計画問題を縮小化できる”に関して、関連研究の扱っている生産計画、対象企業の生産計画および計画担当者の意見から、生産計画モデルを設定した。このモデルを用いて以下の提案と検証を行った。

- ・ 計画担当者の計画想定範囲を縮小化するために、在庫と品切の評価基準である在庫ロスの重みの設定と、在庫対応する突発受注を明確にした生産方策の限定をマネジメント意思決定として提案した
- ・ 生産計画モデルに当てはめて検証した結果、マネジメントの意思決定がされていない生産計画では計画担当者の計画想定範囲が大きく、意思決定された元での生産計画であれば計画想定範囲が縮小化されることを実験的に示した。また、その範囲を10%程度に縮小化できる可能性を示した

この提案した方策であれば、マネジメントと計画担当者が協業・分担した生産の計画と管理になるために、計画担当者一人が抱えていた悩みを低減できると考える。本論文で用

いたモデルにおいては、提案した方策によって計画担当者の計画想定範囲を現状の 10%程度に縮小化できた。これらの分析と実験的考察によって、“マネジメントが在庫ロスの重みと在庫保有を設定して生産方策を限定するという意思決定を行い、計画担当者が限定された方策の中で生産計画を立案して生産進捗を管理する”という生産計画の立案プロセスを提案した。この提案した方策はそれ自体に新規性のあるものではないが、マネジメントの参画と計画担当者との協業の一例を示せたと考える。

仮説 2 の“顧客・工場都合の LT 改善と生産量の抑制策で生産計画問題を解消できる”に関して、対象企業における生産計画業務を分析した結果、“内示で月次生産計画が立てられる”、“計画担当者が意思決定している”、“差立計画が生産計画の修正業務になっている”という 3 つの問題を抽出することができた。そして、これらの 3 つの問題を生産計画業務の改善問題としてとらえ、生産計画業務の考察を通して改善するという視点で以下の提案と検証を行った。

- ・ 生産計画業務を改善するために、3 つの問題に対して、LT 短縮、受注分析、内示フローと確定フロー、負荷計画、差立計画、在庫保有の分担という 6 つの方策を例示的に提案した
- ・ 6 つの方策を対象企業の生産計画業務に当てはめて、受注情報の活用を主とする 3 つの具体的な改善案を対象企業の状況や実データで検証した。ある月度の数値例を用いた検証の結果、生産計画を立てずに差立計画を日々立てる立案プロセスが運用可能であることを示した。また、ある月度の数値例で在庫レベルを 13%程度に削減できる可能性を示した

多くの企業はボトムアップ志向の現場・現物的な担当者レベルの問題解決で、“パズルの”な生産計画問題を抱えている。提案した 6 つの方策はそれ自体に新規性のあるものではないが、マネジメントの参画、受注情報の活用、生産計画業務の改善といった面から考察した方策で、多くの企業の実務に適用できる可能性があり、生産計画問題を解消する新たな方策の一例を示せたと考える。

多くの関連研究における生産計画問題の問題設定や前提条件が実態から乖離しているために、別の問題の捉え方をする必要があったと考えた。本論文では、生産計画問題を数理的に解くことよりも、その問題設定や前提条件を再考するという視点で、仮説 1 の“評価基準を決め在庫保有を認めることで生産計画問題を縮小化できる”と、仮説 2 の“顧客・工

場都合の LT 改善と生産量の抑制策で生産計画問題を解消できる”の提案と検証を行った。その結果、生産計画業務における現実的で新しい生産計画問題の視点から、生産計画問題を縮小化・解消して生産計画を展開・運用する方策を提案できたと考える。

5.2 今後の課題

仮説の検証にあたり、データやモデルの一般化を試みているが、対象企業のデータに基づいたものであることは否めない。より広い汎用性を検証するために、複数企業に適用し、提案した方策を評価することが今後の課題であると考ええる。

また、生産計画業務における多くの具体的な計画展開プロセスの検討、具体的な計画運用方策の検討、現実的に設定された生産計画問題の数理的な解法、計画担当者の悩みの測定と評価などを考える。

参考文献

- [1] E. F. Beckenbach, Modern mathematics for the engineer. McGraw-Hill, 1956.
- [2] P. A. P. Moran, The Theory of Storage. Methuen, 1959.
- [3] 人見勝人, 中島勝, 吉田照彦, 小島敏彦, GTによる生産管理システム. 日刊工業新聞社, 1981.
- [4] 古川光, おはなし IE. 日本規格協会, 1986.
- [5] 円川隆夫, 黒田充, 福田好朗, 生産管理の事典. 朝倉書店, 1999.
- [6] 朝尾正, 長坂一徳, 森健一, 平林直樹, 生産管理. 共立出版, 2001.
- [7] 藤本隆宏, 生産マネジメント入門〈1〉生産システム編. オーム社, 2001.
- [8] 石川和幸, 図解 生産管理のすべてがわかる本 基本的しくみから導入・改善まで. 日本実業出版社, 2010.
- [9] 中根甚一郎, 総合化 MRP システム—設計と導入. 日刊工業新聞社, 1984.
- [10] 川瀬武志, IE 問題の解決. 日刊工業新聞社, 1995.
- [11] 三原一郎, 角倉敏彦, “2 種の製品の需要に定時生産で応じる場合の生産計画: 季節変動の激しい需要をもつ複数製品に対する生産計画(第 1 報),” 日本経営工学会誌, vol. 37, no. 5, pp. 303–310, 1986.
- [12] 郭煒竝, 圓川隆夫, 秋庭雅夫, “生産リードタイムを考慮した確率的多段階生産: 在庫モデルに関する研究,” 日本経営工学会誌, vol. 37, no. 6, pp. 353–358, 1987.
- [13] 田村隆善, “ロット生産における中・短期の生産計画,” 日本機械学会論文集. C 編, vol. 52, no. 484, pp. 3353–3359, 1986.

- [14] 三沢英貴, 金指正和, “多目的遺伝的アルゴリズムによる段ボール箱製造スケジューリング問題の解法,” 日本経営工学会論文誌, vol. 56, no. 2, pp. 74–83, 2005.
- [15] 小林稔, 村松健児, “順序依存型段取りを伴う動的ロットサイズスケジューリングモデルとその解法,” 日本経営工学会論文誌, vol. 57, no. 4, pp. 289–302, 2006.
- [16] 吉川伸一, 田中正敏, 田畑吉雄, “離散 EOQ モデルにおける発注回数問題の最適解法アルゴリズム,” 日本経営工学会論文誌, vol. 57, no. 1, pp. 32–38, 2006.
- [17] 岩瀬雅治, 大野勝久, “一般分布に従う生産能力と製品需要を持つ受注生産在庫システムの解析,” 日本経営工学会論文誌, vol. 59, no. 1, pp. 21–33, 2008.
- [18] 石垣綾, 平川保博, “多段階生産工程のためのかんばんループ構造の一般化,” 日本経営工学会論文誌, vol. 56, no. 2, pp. 84–91, 2005.
- [19] 高橋勝彦, “かんばん方式の研究と課題,” 日本経営工学会論文誌, vol. 57, no. 2, pp. 89–100, 2006.
- [20] T.-M. KIM, “Just-in-time manufacturing system: a periodic pull system,” International Journal of Production Research, vol. 23, no. 3, pp. 553–562, 1985.
- [21] O. KIMURA, H. TERADA, “Design and analysis of Pull System, a method of multi-stage production control,” International Journal of Production Research, vol. 19, no. 3, pp. 241–253, 1981.
- [22] Y. SUGIMORI, K. KUSUNOKI, F. CHO, S. UCHIKAWA, “Toyota production system and Kanban system Materialization of just-in-time and respect-for-human system,” International Journal of Production Research, vol. 15, no. 6, pp. 553–564, 1977.
- [23] 宮崎茂次, 西山徳幸, “トヨタ生産システム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.

- [24] 柳川佳也, 宮崎茂次, “不良品による定期引取りかんばん方式運用法への影響,” 日本経営工学会誌, vol. 42, no. 6, pp. 440–444, 1992.
- [25] 河合亜矢子, 佐藤亮, “サプライチェーン・マネジメントにおける生産計画情報システム統合について,” 経営情報学会誌, vol. 16, no. 2, pp. 21–44, 2007.
- [26] 水山元, 鎌田瑛介, “予測市場システムに基づく衆知集約型需要予測法の研究,” 日本経営工学会論文誌, vol. 59, no. 4, pp. 330–341, 2008.
- [27] 和田周作, 上野俊夫, 三林洋介, “需要要因を考慮した統合予測モデルの構築,” 日本経営工学会論文誌, vol. 51, no. 5, pp. 445–451, 2000.
- [28] S. G. Harrell, E. D. Taylor, “Modeling the product life cycle for consumer durables,” *Journal of Marketing*, vol. 45, no. 4, pp. 68–75, 1981.
- [29] 塩野直志, “需要予測における OR の役割: 適用事例をもとに(<特集>需要予測),” *オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学*, vol. 55, no. 4, pp. 227–232, 2010.
- [30] 井上高成, 岩宮珠樹, “北米薄型テレビ事業における需要予測の一事例(<特集>需要予測),” *オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学*, vol. 55, no. 4, pp. 233–237, 2010.
- [31] 光國光七郎, 経営視点で学ぶグローバルSCM時代の在庫理論—カップリングポイント在庫計画理論. コロナ社, 2005.
- [32] 山本伸幸, “物流・消費の経営情報を活用した消耗品需給に関する研究,” 経営情報学会誌, vol. 17, no. 4, pp. 1–12, 2009.
- [33] 松井正之, 内山広樹, 藤川裕晃, “オンデマンドSCMにおける在庫変動の流動数図法による管理法,” 日本経営工学会論文誌, vol. 56, no. 2, pp. 139–145, 2005.
- [34] 松井正之, 高橋義久, 王崢, “需給マネージャーの支援プランナー構築と理論,” 日本経営工学会論文誌, vol. 57, no. 2, pp. 120–131, 2006.

- [35] 佐藤正一, 堀川三好, 金沢孝, 菅原光政, “需要に季節変動がある場合の生産システムに関する研究,” 日本経営工学会論文誌, vol. 56, no. 2, pp. 65–73, 2005.
- [36] E. F. Vogel, Japan As Number One. Harvard University Press, 1979.
- [37] 山本信幸, “コピー機消耗品需給における需要と在庫の変化対応策に関する研究.” 慶應義塾大学理工学研究科, 2011.
- [38] 岩崎正俊, “トップ主導のマネジメント教育による幹部人材の育成,” 品質, vol. 29, no. 3, pp. 14–21, 1999.
- [39] 岡田有策, ヒューマンファクターズ概論 - 人間と機械の調和を目指して. 慶應義塾大学出版会, 2005.
- [40] 原口紀昭, “高感度にすばやく対応できる生産方式の追求,” IE レビュー, vol. 52, no. 2, pp. 31–36, 2011.
- [41] 小杉將夫, 安田一司, 宮崎宏, “営業の情報鮮度向上で進化する販売と生産の同期化,” IE レビュー, vol. 52, no. 2, pp. 13–18, 2011.
- [42] 仁井明, “柔軟性の高い生産管理システムによる製販連携と‘個客’対応,” 工場管理, vol. 50, no. 9, pp. 53–57, 2004.
- [43] 綿貫純二, “ERP 導入を契機にセル生産、カンバン方式を全面展開,” 工場管理, vol. 50, no. 9, pp. 43–47, 2004.
- [44] 雪田幹博, “成果を上げるための「集中の仕組み」,” IE レビュー, vol. 53, no. 3, pp. 29–35, 2012.
- [45] 中村誠治, “リードタイム短縮・コスト削減への取り組み,” IE レビュー, vol. 53, no. 4, pp. 27–32, 2012.
- [46] 人見勝人, 新・生産管理工学 - 理論・アルゴリズム・例解. コロナ社, 1997.

- [47] 堀康裕, 十代田三知男, “最適スケジュールの特徴を利用したロットスケジューリング方式: ロット生産システムにおける生産指示方式の研究,” 日本経営工学会誌, vol. 45, no. 2, pp. 85–97, 1994.
- [48] 浅野誠, 太田宏, “連続方式をとる多機械 2 段工程のスケジューリング,” 日本経営工学会誌, vol. 46, no. 5, pp. 379–386, 1995.
- [49] 横山雅夫, “組立作業を伴う複合フロー・ショップ・スケジューリングに関する一研究,” 日本経営工学会論文誌, vol. 49, no. 1, pp. 17–23, 1998.
- [50] 森川克己, 中村信人, “ジョブショップの生産計画とスケジューリングに対する最適化アプローチ,” 日本経営工学会論文誌, vol. 51, no. 3, pp. 168–176, 2000.
- [51] 金指正和, 三谷崇, “ジョブのロット分割を考慮したフローショップ・スケジューリング問題の解法,” 日本経営工学会論文誌, vol. 53, no. 3, pp. 241–249, 2002.
- [52] 江口透, 與田光伸, “遺伝的アルゴリズムと優先規則を融合したスケジューリング: GA の逐次適用による最適化,” 生産システム部門講演会講演論文集, vol. 2008, pp. 25–26, 2008.
- [53] 江口透, 大場史憲, 小崎慎太郎, “遺伝的アルゴリズムと優先規則の融合による動的スケジューリング,” 日本機械学会論文集. C 編, vol. 71, no. 703, pp. 1047–1053, 2005.
- [54] 江口透, 大場史憲, 小崎慎太郎, 村山長, “定期的最適化とリアルタイムスケジューリングの融合による処理時間の不確実性を考慮した動的スケジューリング,” 日本機械学会論文集. C 編, vol. 72, no. 717, pp. 1630–1637, 2006.
- [55] 浪平博人, “長期最適生産計画作成システム,” オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, vol. 31, no. 12, pp. 751–756, 1986.

- [56] 鄭庸植, 長沢啓行, 西山徳幸, “総滞留時間の期待値と分散を最小化する 2 目的単一工程スケジューリング: 加工時間分布を考慮した多目的スケジューリング(第 1 報),” 日本経営工学会誌, vol. 41, no. 4, pp. 263–269, 1990.
- [57] 川崎正秀, 森澤和子, 長沢啓行, “シナリオを想定した非劣スケジュール集合の生成法,” 日本経営工学会論文誌, vol. 54, no. 2, pp. 104–112, 2003.
- [58] 上野信行, 矢後諒智, 川崎雅也, 奥原浩之, “内示情報を用いた生産計画,” 経営情報学会全国秋季発表大会予稿集, pp. 1–4, 2009.
- [59] あずさ監査法人 IT 監査部, 内部統制を高める IT 統制と監査の実務 Q&A. 中央経済社, 2010.
- [60] 人見勝人, 生産システム論—現代生産の技術とマネジメント. 同文館, 1990.
- [61] 並木高矣, 古川光, 工程管理. 森北出版, 1967.
- [62] 人見勝人, 中島勝, 吉村允孝, 吉田照彦, コンピュータによる設計・生産・管理—CAD・CAM・CAP. 共立出版, 1984.
- [63] 金沢孝, 松本俊之, 現場改善志向の生産情報システム. 日刊工業新聞社, 2003.
- [64] Supply-Chain Council, Supply-Chain Operations Reference-model 7.0 Overview Booklet. 2005.
- [65] 俵信彦, “発注量変動の制御に関する研究: 定期発注方式の研究,” 日本経営工学会誌, vol. 40, no. 3, pp. 155–161, 1989.
- [66] 俵信彦, 増井忠幸, 鈴木晴久, “制御パラメータをもつ定期発注方式による発注量・在庫量分散の解析,” 日本経営工学会誌, vol. 40, no. 6, pp. 414–420, 1990.
- [67] 俵信彦, 増井忠幸, 鈴木晴久, “Z変換による G型定期発注方式の解析: 定期発注方式の研究,” 日本経営工学会誌, vol. 41, no. 4, pp. 275–282, 1990.

付録A 平準化と同期化の検討

日々確定する客先からの注文量をもとに日々の生産量を決定する、平準化と同期化に関する3つの生産方策を考案して、それら生産方策と関連する生産条件が製品・部品在庫に与える影響をシミュレーション的に考察して、平準化と同期化に関する検討を行う。

A.1 分析対象ライン

分析対象の自動車部品製造ラインにおける生産量の多い上位7製品のある月の日々の確定量を図A-1に示す。日々の確定量を見ると、図に示すように7製品は2つに分けることができる。

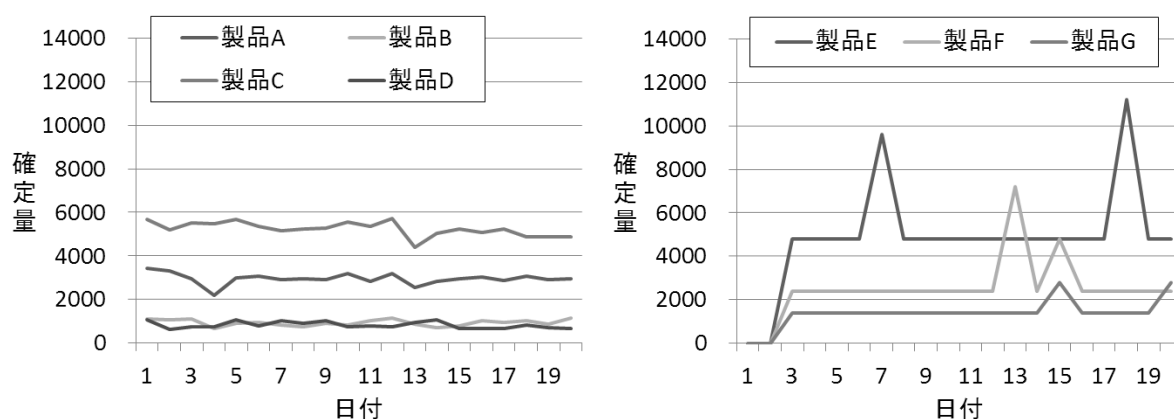


図 A-1 各製品の確定量 (左：日々変動製品 右：突発変動製品)

図A-1左に示す4製品は日々の確定量が小さく変動するもので、これらを日々変動製品と呼ぶ。日々変動製品は客先での一定ペース生産に必要な部品の使用量が確定量となっていると予想される。図A-1右に示す3製品の確定量は通常一定値であるが、数日において2倍程度やゼロとなるもので、これらを突発変動製品と呼ぶ。突発変動製品は、客先での通常の部品の使用量がほぼ一定で、数日において使用量が突発的に2倍もしくはゼロとなることになるが、分析対象が自動車部品であることを考慮すれば、そのような客先での部品の使用状況は考えにくい。突発変動が生じる理由としては、輸送・出荷ロットサイズなどのかんばん収容数が大きく、それに応じて確定量もロットサイズ単位が大きくなり、そのロットサイズと平均使用量の差を埋めるために、数日において突発的に確定量が2倍もしくはゼロとなることが想定される。

A.2 生産方式の検討

A.2.1 カット生産

同期化生産のように生産量を確定量と等しくすれば、製品在庫の変動はなくなるが生産量の変動が最大となり、平準化生産のように生産量を確定量の月平均とすれば、生産量の変動はなくなるが製品在庫の変動が最大となる。日々変動する確定量に対して、トレードオフの関係にある生産量の変動と製品在庫の変動を制御することが生産量決定ロジックの課題となる。生産量と製品在庫の変動をコントロールする基本ロジックとしてカット生産を考える。

カット生産では、日々変動する確定量に対して、確定量と確定量の月平均の差に、ある割合(以下カット率と呼ぶ)を乗じた値を確定量から引いて生産量とする(式(A.1))。

$$P(i,j) = F(i,j) - \left\{ F(i,j) - \sum_{n=1}^N F(i,n) / N \right\} * Z \quad \text{式(A.1)}$$

$P(i,j)$: 製品 i の j 日における生産量 (生産日に完了して納入可能とする)

$F(i,j)$: 製品 i の j 日における確定量 (確定日に納入する必要があるとする)

N : 1 カ月の稼働日数

Z : カット率 ($0 \leq Z \leq 1$)

カット率と日々の生産量を示した図 A-2 左を見ると、同期化生産に対応する、カット率が 0%に近いほど生産量は確定量と等しく、生産量変動は大きくなり、平準化生産に対応する、カット率が 100%に近いほど生産量は平均確定量近くで一定となり、生産量変動は小さくなる。

実際の運用では注文が未確定であることから、式(A.1)で用いる平均確定量は想定される確定量の平均値となる。未確定情報である内示などから日々の確定量の変動を想定することは難しいが、月平均としては内示などの未確定情報も利用可能な値を示していることが多く、カット生産の計算には平均確定量ではなく平均内示量などを用いることにする。

カット率による日々の製品在庫量を図 A-2 右に示す。月初在庫はゼロとして計算した。カット率が 0%に近いほど在庫量変動は小さくなり、カット率が 100%に近いほど在庫量変動は大きくなる。

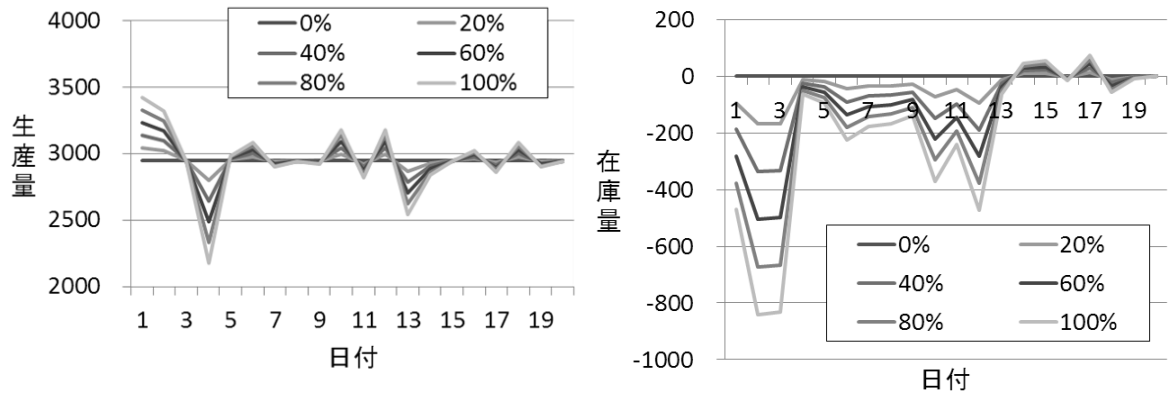


図 A-2 カット生産による生産量(左)と製品在庫(右)
(日々変動製品 A)

生産量が部品の使用量になるため、生産量の変動が大きくなるほど、部品在庫量の変動は大きくなる。ベンダーからの部品納入量を一定の平均確定量と仮定して、生産量と製品在庫量の変動を比較する代わりに、部品在庫と製品在庫の最大不足量を比較する。図 A-2 右に示すように製品在庫はカット率が大きいほど大きなマイナスとなる。日々変動製品 A におけるカット率と在庫の最大不足量の関係を示した図 A-3 左を見ると、製品在庫と部品在庫の最大不足量はカット率によって対称的に変化することがわかる。

突発変動製品 E におけるカット率と在庫の最大不足量の関係を示した図 A-3 右を見ると、左の日々変動製品 A と同様の傾向であるため、カット生産は生産量と製品在庫量の変動をコントロールするロジックになっている。

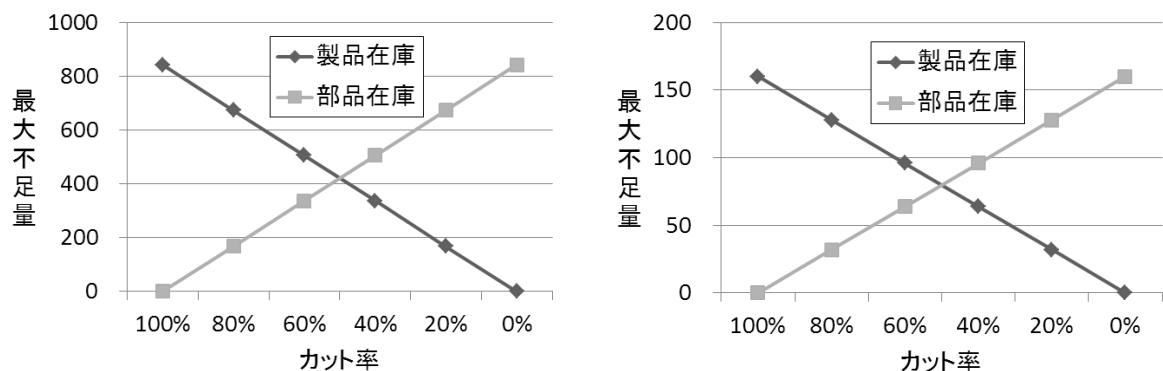


図 A-3 カット率と在庫の最大不足量
(左：日々変動製品 A 右：突発変動製品 E)

式(A.1)より製品 i における j 日目の製品在庫は式(A.2)で与えられる。

$$PRI(i, j) = \left\{ j * \sum_{n=1}^N F(i, n) / N - \sum_{n=1}^j F(i, n) \right\} * Z \quad \text{式(A.2)}$$

$PRI(i, j)$: 製品 i における j 日目の製品在庫

a 日目の製品在庫が b 日目の製品在庫よりも小さければ、

$$\begin{aligned} & \left\{ a * \sum_{n=1}^N F(i, n) / N - \sum_{n=1}^a F(i, n) \right\} * Z \\ & < \left\{ b * \sum_{n=1}^N F(i, n) / N - \sum_{n=1}^b F(i, n) \right\} * Z \end{aligned} \quad \text{式(A.3)}$$

が成り立つ。カット率 Z が正の値であることを考えれば、式(A.3)より各日の製品在庫の大小関係はカット率によらないので、製品在庫が最も不足する日はカット率に関わらず等しくなる。図 A-2 右でカット率に関わらず 2 日目が最も少ない製品在庫であることから、図 A-3 左は 2 日目における各カット率の製品在庫の不足量を表している。

式(A.2)の製品 i における j 日目の製品在庫はカット率 Z の 1 次式であることから、各製品で製品在庫が最も不足する日の製品在庫はカット率に比例するので、各カット率の製品在庫の最大不足量は図 A-3 で示したように直線的な変化となる。

同様に、製品 i における j 日目の部品在庫は、ベンダーからの部品納入量を平均確定量で日々一定と仮定しているため、式(A.4)で与えられる。

$$PAI(i, j) = \left\{ j * \sum_{n=1}^N F(i, n) / N - \sum_{n=1}^j F(i, n) \right\} * (1 - Z) \quad \text{式(A.4)}$$

$PAI(i, j)$: 製品 i における j 日目の部品在庫

a 日目の部品在庫が b 日目の部品在庫よりも小さければ、

$$\begin{aligned} & \left\{ a * \sum_{n=1}^N F(i, n) / N - \sum_{n=1}^a F(i, n) \right\} * (1 - Z) \\ & < \left\{ b * \frac{\sum_{n=1}^N F(i, n)}{N} - \sum_{n=1}^b F(i, n) \right\} * (1 - Z) \end{aligned} \quad \text{式(A.5)}$$

が成り立つ。式(A.5)より各日の部品在庫の大小関係はカット率によらず、式(A.4)より各日の部品在庫はカット率に比例することから、製品在庫と同様に各カット率における部品在

庫の最大不足量は図 A-3 で示したように直線的な変化となる。

ベンダーからの部品納入量を一定と仮定することは、ベンダーが平準化生産に相当するカット率 100%で生産・納入することを意味しており、製品在庫と部品在庫の両方を保有して客先からの確定量変動に対応することになるため、ベンダーにおけるカット率を100%から下げて保有する部品在庫量を減らすことも考えられる。

ベンダーでカット率を変化させて生産・納入を行う場合のカット率と在庫の最大不足量の関係を図 A-4 に示す。部品在庫の各線はベンダーにおけるカット率による部品在庫を示している。カット率を小さくするほど部品在庫の最大不足量が小さくなり、その変化はカット率に比例している。

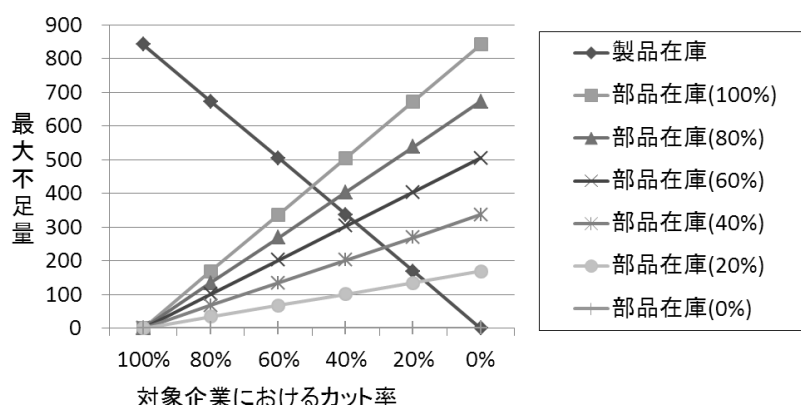


図 A-4 カット率と在庫の最大不足量(ベンダーでカット生産)

ここでは生産量と在庫量の変動をコントロールするロジックの検討を目的としており、在庫変動を最小にするパラメータの決定などは対象外であるが、カット生産における在庫変動の評価を俵[65]と同じく分散で表すと、図 A-5 左より 50%あたりで在庫分散の和は最小となることがわかる。

一方、在庫変動の評価を標準偏差で表すと、図 A-5 右に示すようにカット率に関わらず標準偏差の和は一定となるため、在庫変動の和を最小にする最適カット率は存在しない。本論文の対象外になるが、評価尺度が最適解に影響することから、最適解における評価尺度の定め方については検討すべき余地がある。

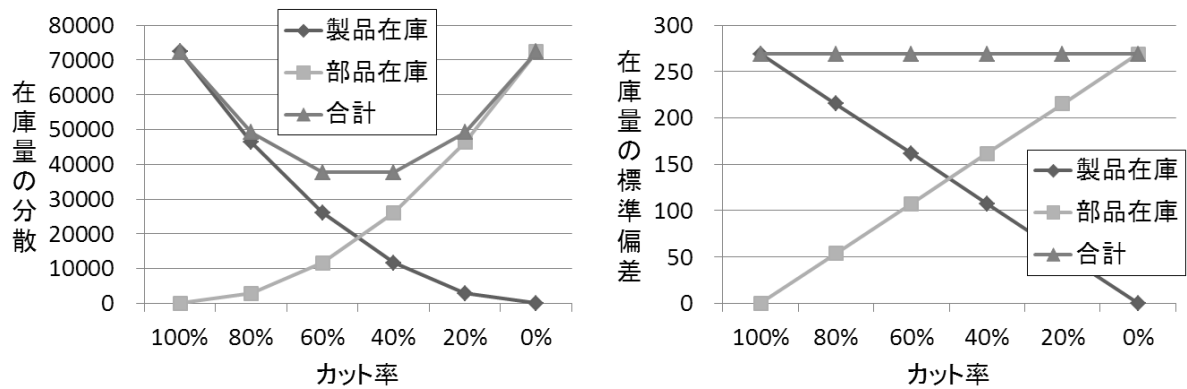


図 A-5 カット率と在庫量の分散(左)と標準偏差(右)

A.2.2 判定幅生産

生産量決定ロジックにおいて生産量と製品在庫の変動をコントロールする基本ロジックがカット生産にあることを上で示した。図 A-2 左で示した例では、製品 A で平均確定量の 2980 に比べて 4 日目の確定量は 2180 と小さく、カット率 20% では生産量が 2334 と計算される。このように生産量はカット率を用いて計算するが、確定量によっては対応できないほどの大きなあるいは小さな生産量となる可能性がある。

そこで、実際の運用に合わせたロジックとして判定幅生産を考える。判定幅生産は、日々に追加可能な生産量を上限値に、削減可能な生産量を下限値に設定して、確定量が上下限の間であれば確定量を、確定量が下限を下回れば下限値を、確定量が上限を上回れば上限値を生産量とする、式(A.6)から式(A.8)で示す生産量決定ロジックである。

$$P(i, j) = F(i, j) \quad A(i) * (1 - DZ) \leq F(i, j) \leq A(i) * (1 + UZ) \quad \text{式(A.6)}$$

$$P(i, j) = A(i) * (1 - DZ) \quad F(i, j) \leq A(i) * (1 - DZ) \quad \text{式(A.7)}$$

$$P(i, j) = A(i) * (1 + UZ) \quad A(i) * (1 + UZ) \leq F(i, j) \quad \text{式(A.8)}$$

ただし

$$A(i) = \sum_{n=1}^N F(i, n) / N \quad \text{式(A.9)}$$

とする。

$A(i)$: 製品 i の平均確定量

DZ : 生産の削減が可能な平均確定量に対する割合(下限率と呼ぶ)

UZ : 生産の追加が可能な平均確定量に対する割合(上限率と呼ぶ)

上下限値は他職場の応援や残業などを想定していて、それら上下限を超える確定量に対

しては対応不可能として上下限值で生産する。上下限の範囲が広がるほど、生産量は確定量と等しくなるため生産量変動は大きくなり、上下限の範囲が狭くなるほど生産量は月平均に近くなるため生産量変動は小さくなる。上下限率と日々の生産量の関係を示した図 A-6 左を見ると、上下限率が 0%に近いほど(平準化生産になるほど)生産量変動は小さくなり、上下限率が 20%に近いほど(同期化生産になるほど)生産量変動は大きくなる。カット生産とは異なり、上下限率 10%以下で 1 日目と 2 日目の生産量が等しくなっている。1 日目と 2 日目の確定量はそれぞれ 3420 と 3320 であり、上下限率が 10%より小さい値ではどちらの確定量も上限を超えるため、生産量は上限値となる。上下限を超えるような実際の運用で対応できない確定量に対して、生産量を上下限率で設定した値にすることが可能となるため、実際の運用に合ったロジックと考える。

同様に上下限率と日々の製品在庫量の関係を図 A-6 右に示す。月初在庫はゼロとして計算した。上下限率が 20%に近いほど在庫量変動は小さくなり、上下限率が 0%に近いほど在庫量変動は大きくなる。カット生産では在庫が最も不足する日はカット率に関わらず等しくなったが、判定幅生産では上下限率によって日々の在庫量の変化も異なるため、在庫量が最も小さくなる日は上下限率によって異なる(図 A-6 右の製品 A では 20%と 15%で 1 日目から 3 日目、10%と 5%で 2 日目と 3 日目、0%で 2 日目に製品在庫が最も小さくなる)。

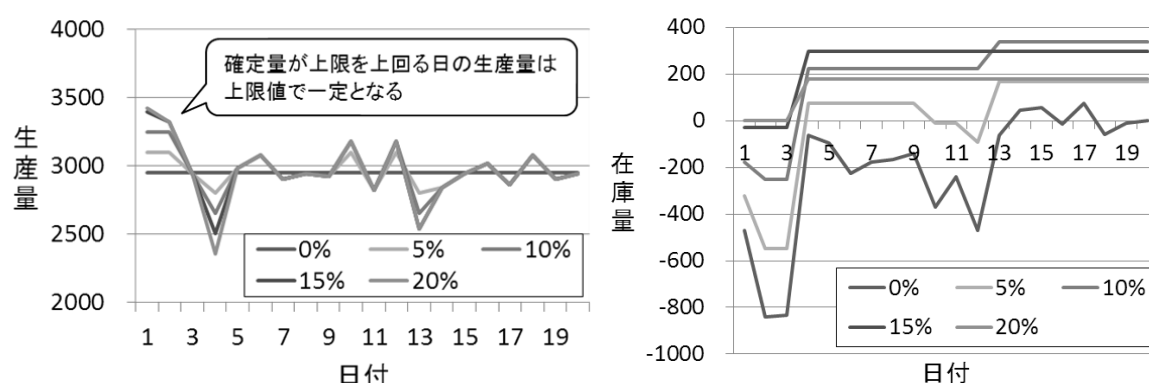


図 A-6 判定幅生産による生産量(左)と製品在庫量(右)
(日々変動製品 A)

カット生産と同様に、上下限率と在庫の最大不足量の関係を示した図 A-7 左を見ると、製品在庫と部品在庫の最大不足量を合計した値が上下限率によって異なる値を示しているため、カット生産(図 A-3)と異なり、製品在庫と部品在庫の変化が上下限率にしたがって対象的に変化しないことがわかる。

突発変動製品における上下限率と在庫の最大不足量の関係を示した図 A-7 右を見ると、日々変動製品(図 A-7 左)とは異なる傾向を示している。上下限率を大きくするにつれて生産量変動が大きくなり、製品在庫の最大不足量は小さく、部品在庫の最大不足量は大きくなることが予想されるが、図 A-7 右に示す突発変動製品 E においては上下限率が大きいほど製品在庫の最大不足量が大きくなっている。

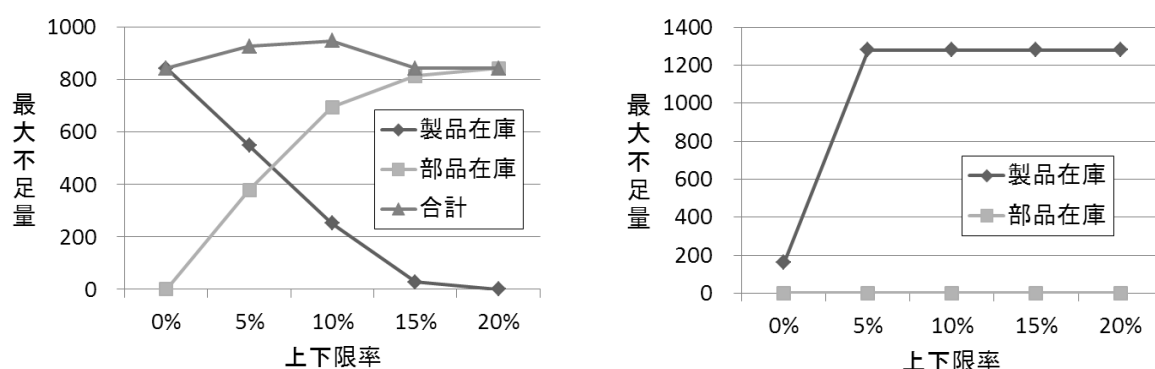


図 A-7 上下限率と在庫の最大不足量
(左：日々変動製品 A 右：突発変動製品 E)

製品 E の各日の確定量と、各上下限率における各日の生産量と製品在庫を表 A-1 に示す。表 A-1 中の灰色部分は上限を上回るもしくは下限を下回る確定量であるため、上下限率で設定された生産量を示している。表 A-1 右の製品在庫の同じ箇所を灰色で示した。上下限率が 0% では、全ての日で生産量は確定平均量と等しくなり、20 日の製品在庫は月初在庫と等しくゼロになる。

製品 E の平均確定量は 4880 であるため、上限率が 5% 増えるにしたがって上限は 244(4880 の 5%) ずつ増える。上下限率が 5% の場合には確定量が 4636 から 5124 の範囲内であれば、生産量は確定量と等しくなるため、表 A-1 左に示す確定量が 4800 となる日(白色部分)において、生産量は確定量と等しくなるので、製品在庫の増減がなく、生産量が確定量と異なる灰色部分で製品在庫が増減する。上下限率が 5% 以上では、生産量が上限もしくは下限となる日が等しく、確定量が下限を下回る日数は 2 日で、上限を上回る日数も 2 日である。上限率と下限率を等しく設定しているため上限と下限の平均確定量との差は等しいため、確定量が下限を下回る日数と上限を上回る日数が等しければ、合計生産量は上下限率に関わらず一定となる。製品 E では上下限率が 5% から 20% において、合計生産量は 96320 で等しくなるが、下限を下回る確定量と下限の差が、上限を上回る確定量と上

限の差より小さいため、合計生産量が合計確定量よりも小さくなる。表 A-1 左の灰色部分の合計確定量は 20800 で、上下限率が 5% から 20% における表 A-1 中の灰色部分の合計生産量はいずれも 19520 (平均確定量の 4 日分) となるため、合計生産量は合計確定量よりもその差の 1280 小さくなり、最大不足量は 1280 で等しくなっている。

表 A-1 各日の確定量(左)と各上下限率における
各日の生産量(中)と製品在庫(右) (突発変動製品 E)

		0%	5%	10%	15%	20%	0%	5%	10%	15%	20%
1日	0	4880	4636	4392	4148	3904	4880	4636	4392	4148	3904
2日	0	4880	4636	4392	4148	3904	9760	9272	8784	8296	7808
3日	4800	4880	4800	4800	4800	4800	9840	9272	8784	8296	7808
4日	4800	4880	4800	4800	4800	4800	9920	9272	8784	8296	7808
5日	4800	4880	4800	4800	4800	4800	10000	9272	8784	8296	7808
6日	4800	4880	4800	4800	4800	4800	10080	9272	8784	8296	7808
7日	9600	4880	5124	5368	5612	5856	5360	4796	4552	4308	4064
8日	4800	4880	4800	4800	4800	4800	5440	4796	4552	4308	4064
9日	4800	4880	4800	4800	4800	4800	5520	4796	4552	4308	4064
10日	4800	4880	4800	4800	4800	4800	5600	4796	4552	4308	4064
11日	4800	4880	4800	4800	4800	4800	5680	4796	4552	4308	4064
12日	4800	4880	4800	4800	4800	4800	5760	4796	4552	4308	4064
13日	4800	4880	4800	4800	4800	4800	5840	4796	4552	4308	4064
14日	4800	4880	4800	4800	4800	4800	5920	4796	4552	4308	4064
15日	4800	4880	4800	4800	4800	4800	6000	4796	4552	4308	4064
16日	4800	4880	4800	4800	4800	4800	6080	4796	4552	4308	4064
17日	4800	4880	4800	4800	4800	4800	6160	4796	4552	4308	4064
18日	11200	4880	5124	5368	5612	5856	-160	-1280	-1280	-1280	-1280
19日	4800	4880	4800	4800	4800	4800	-80	-1280	-1280	-1280	-1280
20日	4800	4880	4800	4800	4800	4800	0	-1280	-1280	-1280	-1280

カット生産に対して判定幅生産では、生産量を設定した範囲内にすることが可能であるため、実際の運用に合う。しかし、製品在庫は各日の確定量の順番やその大きさに影響されるため、上下限率を大きくするにしたがって、最大不足量が小さくなる製品もあれば、大きくなる製品もあり、製品在庫の制御は難しい。

A.2.3 カット+判定幅生産

生産量と製品在庫の変動をコントロールするロジックのカット生産を実際の運用に合わせたロジックとした判定幅生産について上記した。それぞれ両極端のロジックであるので、それらを組み合わせた中間的な生産量決定ロジックとして、判定幅生産の下限を下回る(式(A.7)の条件式)、もしくは上限を上回る(式(A.8)の条件式)確定量に対して、カット生産の式(A.1)を用いて生産量を決定するロジックをカット+判定幅生産として検討する。

上下限率を 5% に固定して、カット率と日々の生産量の関係を示した図 A-8 左を見ると、

確定量が上下限の範囲内となる日において生産量は確定量と等しくなっている。

カット率を50%に固定して、上下限率と日々の生産量の関係を示した図A-8右を見ると、カット率を固定しているため、各日の生産量は確定量かカット率50%で計算された値のどちらかになる。1日目では上下限率15%まで確定量が上限を上回るため生産量はカット率50%で計算され、20%以上で上下限の範囲内となり生産量は確定量と等しくなる。

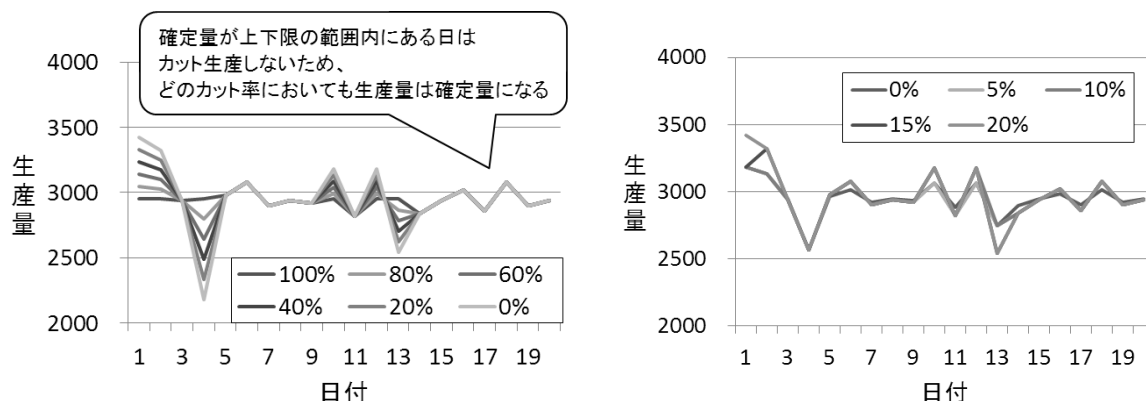


図 A-8 カット+判定幅生産による生産量(日々変動製品 A)

(左：上下限率 5% 右：カット率 50%)

上下限率を5%に固定して、カット率と在庫の最大不足量の関係を示した図A-9左を見ると、上下限率を固定しているため、カット生産(図A-3)と近い結果になっているが、カット率100%で部品在庫の不足量はゼロとならない。確定量が平均確定量から±5%以内であれば生産量は確定量となるため、カット率が100%でも生産量と部品納入量の間に差が生じ、部品在庫が不足する結果となっている。

カット率を50%に固定して、上下限率と在庫の最大不足量の関係を示した図A-9右を見ると、製品在庫の最大不足量は0%から10%まで一定になっている。

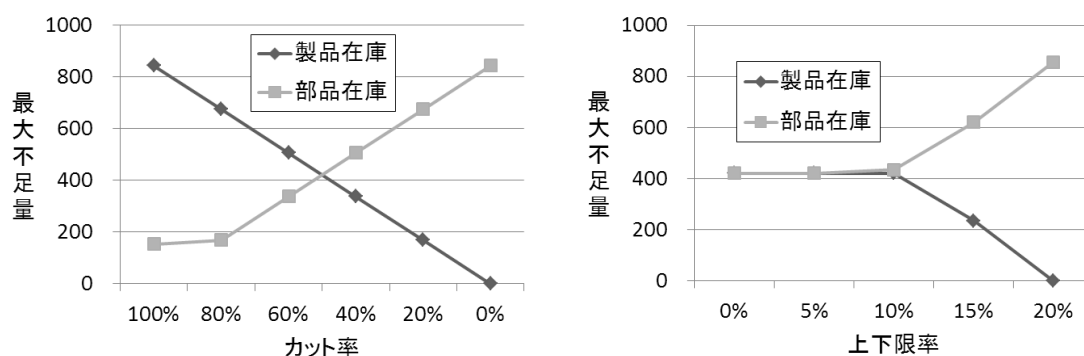


図 A-9 カット+判定幅生産による在庫の最大不足量(日々変動製品 A)

(左：上下限率 5% 右：カット率 50%)

カット率を 50%とした時の製品 A の各上下限率における各日の生産量と製品在庫を表 A-2 に示す。表 A-2 左の灰色部分は上限を上回るもしくは下限を下回る確定量であるため、カット率 50%で設定された生産量を示している。表 A-2 右の灰色部分は各上下限率において製品在庫の不足量が最大となった日であり、いずれも 2 日目(灰色部分)である。0%から 10%までの製品在庫の不足量は 421 で同じになる。そこで 0%から 10%までを見ると、1 日目と 2 日目の確定量が 10%の下限を下回り、1 日目と 2 日目の生産量が等しいため、2 日目までの製品在庫も等しいので、製品在庫の最大不足量は等しくなる。15%では 2 日目の生産量が下限を上回り、20%では 1 日目の生産量が上限を下回るので、2 日目までの製品在庫が等しくならず、最大不足量も等しくならない。

表 A-2 カット率 50%の各上下限率における
各日の生産量(左)と製品在庫(右) (日々変動製品 A)

	0%	5%	10%	15%	20%	0%	5%	10%	15%	20%
1日	3185	3185	3185	3185	3420	-236	-236	-236	-236	0
2日	3135	3135	3135	3320	3320	-421	-421	-421	-236	0
3日	2945	2940	2940	2940	2940	-417	-421	-421	-236	0
4日	2565	2565	2565	2565	2565	-32	-37	-37	149	385
5日	2965	2980	2980	2980	2980	-48	-37	-37	149	385
6日	3015	3080	3080	3080	3080	-113	-37	-37	149	385
7日	2925	2900	2900	2900	2900	-89	-37	-37	149	385
8日	2945	2940	2940	2940	2940	-84	-37	-37	149	385
9日	2935	2920	2920	2920	2920	-70	-37	-37	149	385
10日	3065	3065	3180	3180	3180	-185	-152	-37	149	385
11日	2885	2820	2820	2820	2820	-121	-152	-37	149	385
12日	3065	3065	3180	3180	3180	-236	-268	-37	149	385
13日	2745	2745	2745	2540	2540	-32	-63	168	149	385
14日	2895	2840	2840	2840	2840	23	-63	168	149	385
15日	2945	2940	2940	2940	2940	28	-63	168	149	385
16日	2985	3020	3020	3020	3020	-8	-63	168	149	385
17日	2905	2860	2860	2860	2860	37	-63	168	149	385
18日	3015	3080	3080	3080	3080	-29	-63	168	149	385
19日	2925	2900	2900	2900	2900	-5	-63	168	149	385
20日	2945	2940	2940	2940	2940	0	-63	168	149	385

カット生産では、日々変動製品の変動が小さい確定量の場合に生産量がカット率で計算された値となり、判定幅生産では、突発変動製品の変動が大きい確定量の場合に上下限率で計算された生産量となる。カット+判定幅生産では、実際の運用で問題とならない変動の小さい確定量の場合には生産量を確定量と等しくし、実際の運用で問題となる変動の大きい確定量の場合にはカット率によって生産量を計算するため、実際の運用に合ったロジックであり、生産量と在庫量の変動をコントロールすることが可能なロジックになっている。

A.3 生産能力を考慮した生産方式の検討

上記したカット生産・判定幅生産・カット+判定幅生産では生産量の計算に他の製品の確定量を用いていないが、対象の 7 製品は同一ラインで製造され、図 A-1 に示したように突発変動製品は大きな確定量が生じるので、7 製品の合計生産量を生産能力以内にすることがある。

7 製品の合計確定量と平均確定量を示した図 A-10 を見ると、突発変動製品で生じる突発的な大小の確定量によって合計確定量が平均を大きく上回る日が 4 日、大きく下回る日が 2 日あることがわかる。

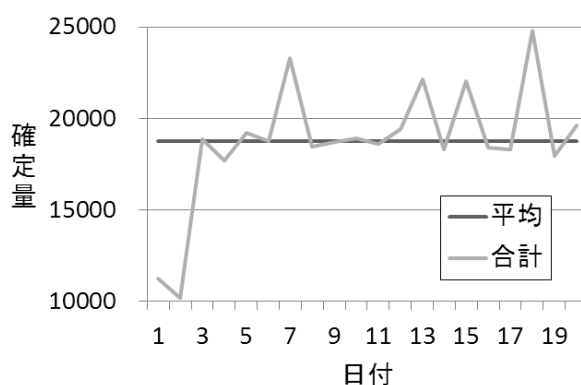


図 A-10 7 製品の確定量の合計とその平均

7 製品の合計生産量を生産能力以下にするために、A.2 で示した各日各製品の生産量 $P(i, j)$ を暫定的な生産量 $TP(i, j)$ として、暫定量の合計と生産能力の差を各製品の平均確定量の割合で分配して、生産能力と一致させる式(A.10)と式(A.11)のロジックを用いることにする。

$$P(i, j) = TP(i, j) + \left\{ C - \sum_{m=1}^M TP(m, j) \right\} * \sum_{n=1}^N F(i, n) / \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N F(m, n) \quad \text{式(A.10)}$$

ただし、

$$C = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N F(m, n) / (M * N) \quad \text{式(A.11)}$$

とする。

$TP(i, j)$: 製品 i の j 日における暫定量

C : 1 日あたりの生産能力

M : 製品数

A.3.1 カット生産

カット率と7製品の在庫の最大不足量の関係を示した図 A-11 を見ると、カット率が 0% に近いほど部品在庫の最大不足量は大きくなり、製品在庫の最大不足量は小さくなっている。図 A-11 左を見ると、部品在庫の最大不足量はカット率に比例している。

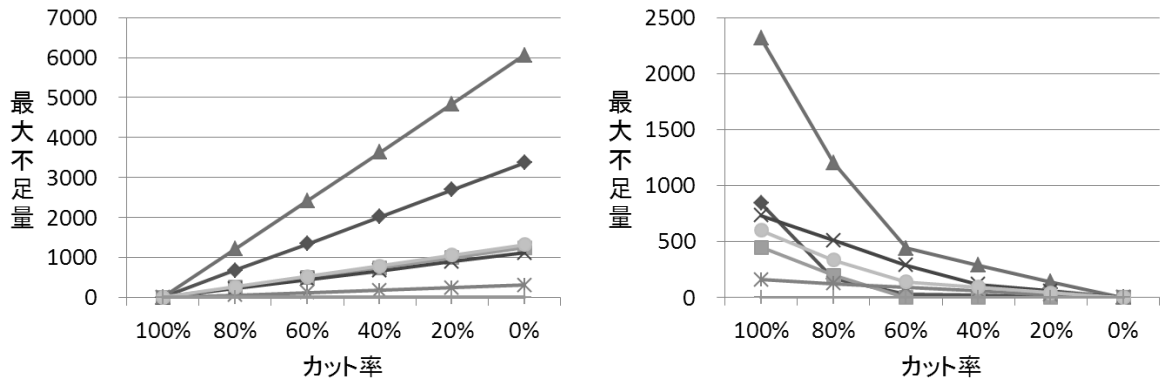


図 A-11 7 製品のカット率と部品在庫(左)と製品在庫(右)の最大不足量

式(A.1)と式(A.10)と式(A.11)より、製品 i における j 日目の部品在庫 $PAI(i, j)$ は、

$$PAI(i, j) = (1 - Z) \left\{ j * \frac{\sum_{n=1}^N F(i, n) \sum_{m=1}^M F(m, j)}{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M F(m, n)} - \sum_{n=1}^j F(i, n) \right\} \quad \text{式(A.12)}$$

となる。a 日目の部品在庫が b 日目の部品在庫よりも小さければ、

$$\begin{aligned} (1 - Z) \left\{ a * \frac{\sum_{n=1}^N F(i, n) \sum_{m=1}^M F(m, j)}{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M F(m, n)} - \sum_{n=1}^a F(i, n) \right\} \\ < (1 - Z) \left\{ b * \frac{\sum_{n=1}^N F(i, n) \sum_{m=1}^M F(m, j)}{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M F(m, n)} - \sum_{n=1}^b F(i, n) \right\} \end{aligned} \quad \text{式(A.13)}$$

が成り立つ。式(A.13)より各日の部品在庫の大小関係はカット率によらず、式(A.12)より各日の部品在庫はカット率に比例することから、各カット率における部品在庫の最大不足量は図 A-11 左で示したように直線的な変化となる。日々変動製品 A におけるカット率と日々の部品在庫量を示した図 A-12 を見ると、マーカーで示す 2 日目に各カット率で部品在庫の不足量が最大となっている。

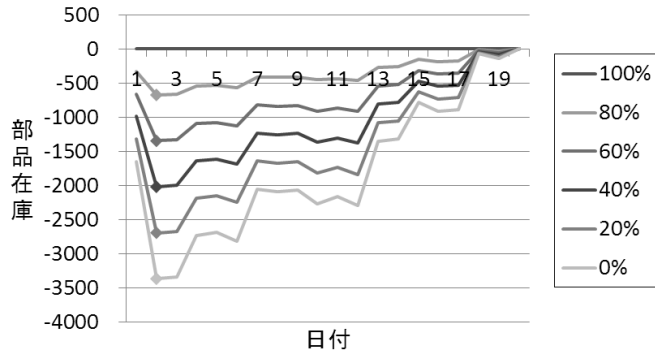


図 A-12 生産能力を考慮したカット生産による部品在庫（日々変動製品 A）

製品 i における j 日目の製品在庫 $PRI(i, j)$ は、

$$PRI(i, j) = j * \sum_{n=1}^N F(i, n) * \left\{ \frac{1}{N} - (1 - Z) \frac{\sum_{m=1}^M F(m, j)}{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M F(m, n)} \right\} - Z * \sum_{n=1}^j F(i, n) \quad \text{式(A.14)}$$

となる。式(A.14)より各日の製品在庫の大小関係はカット率によることから、各カット率における製品在庫の最大不足量は図 A-11 右で示したように直線的な変化とならない。

A.3.2 判定幅生産

上下限率と 7 製品の製品在庫の最大不足量の関係を示した図 A-13 を見ると、日々変動製品(図 A-13 左)は上下限率が 20%に近づくほど減少し、突発変動製品(図 A-13 右)は上下限率が 0%で最小となっている。突発変動製品 G においては、上下限率に関わらず常に製品在庫の不足量がゼロとなっている。製品 G の平均確定量と通常確定量が 2400、突発確定量が 0(1 日目と 2 日目)と 4800(15 日目と 20 日目)になっている(図 A-1 右)。下限を下回る突発確定と下限との差が上限を上回る突発確定と上限との差と等しく、それぞれが生じる日数も等しいため、合計暫定量は合計確定量と等しくなる。さらに、下限を下回る突発確定の後に上限を上回る突発確定が生じており、生産能力を考慮しても製品 G の製品在庫の不足量が上下限率によらずゼロとなっている。

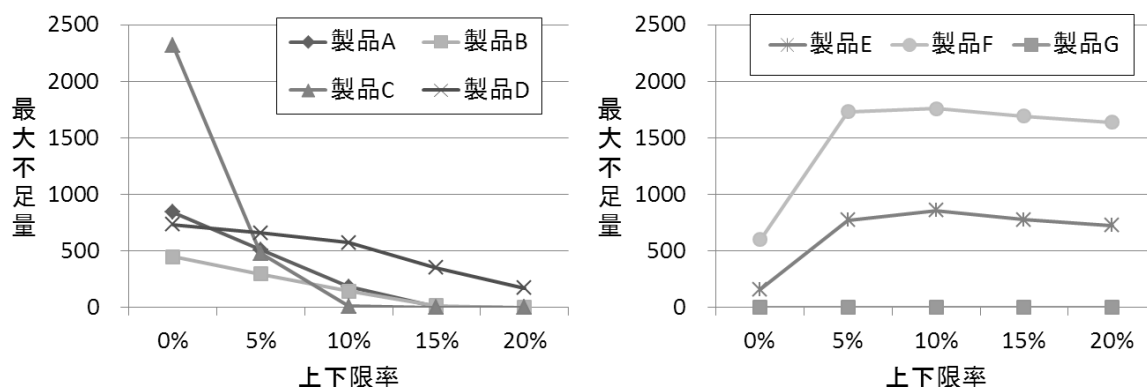


図 A-13 製造能力を考慮した判定幅生産による

上下限率と製品在庫の最大不足量(左：日々変動製品 右：突発変動製品)

上下限率と 7 製品の部品在庫の最大不足量の関係を示した図 A-14 を見ると、日々変動製品(図 A-14 左)は上下限率が 20%に近づくほど増加するが、突発変動製品(図 A-14 右)は 5%以上ではほぼ変化しない。突発変動製品 E と F では A.2.2 で述べたように平均暫定量が平均確定量よりも小さくなり、平均確定量で部品納入を行う条件では、生産能力を考慮しても部品在庫の不足は生じなかった。突発変動製品 G では上記の通り平均暫定量が平均確定量と等しくなり、生産能力を考慮することで部品在庫が不足している。

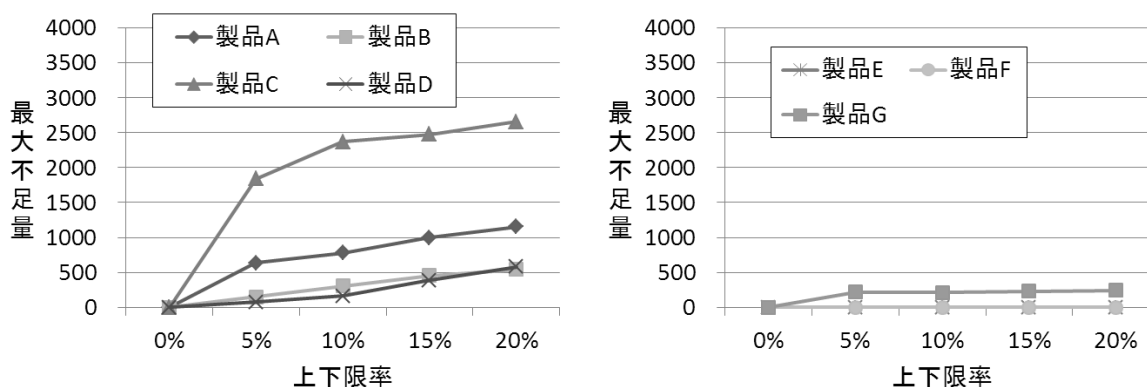


図 A-14 製造能力を考慮した判定幅生産による

上下限率と部品在庫の最大不足量(左：日々変動製品 右：突発変動製品)

A.3.3 カット+判定幅生産

上下限率を 5%に固定して、カット率と在庫の最大不足量の関係を示した図 A-15 左を見ると、生産能力を考慮しないカット+判定幅生産(図 A-9 左)と比較して、部品在庫の不足

量が大きくなっている。A.3.1 のカット生産にも当てはまるが、7 製品の合計確定量は 1 日目と 2 日目に小さな値となっているため(図 A-10)、1 日目と 2 日目の 7 製品の合計暫定量は生産能力に比べて小さな値となる。合計生産量を生産能力と等しくするため、日々変動製品で 1 日目と 2 日目の生産量は確定量に比べて大きくなり、平均確定量よりも大きな生産量となることで部品在庫の不足量が大きくなっている。

図 A-9 左に示した生産能力を考慮しない場合にはカット率 60%で製品在庫が最大 505 不足するが、カット率が小さくなるほど生産量が確定量に比べて大きくなるため、生産能力を考慮する場合にはカット率 60%で製品在庫が不足していない。

カット率を 50%に固定して、上下限率と在庫の最大不足量の関係を示した図 A-15 右を見ると、生産能力を考慮しない場合(図 A-9 右)と比較して、製品在庫の最大不足量は小さく、部品在庫の最大不足量は大きくなっている。製品在庫の最大不足量は上下限率 0%において 25 と小さな値であるため、上下限率によらず製品在庫の最大不足量は小さい。カット率 (図 A-15 左)と比較すると、上下限率による部品在庫の最大不足量の変化も小さいことがわかる。突発的な大きい受注は、いずれも上限を上回ったため、カット率 50%で計算される暫定量は変化せず、日々変動製品のみが上下限率によって暫定量が変化する。日々変動製品は突発変動製品と比較して確定量変動が小さいことから、カット率と比較して、上下限率による部品在庫の最大不足量の変化が小さくなっている。

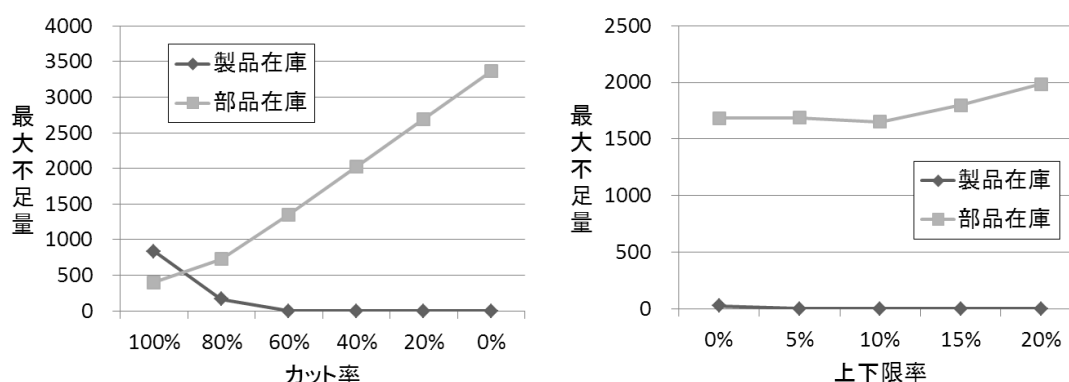


図 A-15 製造能力を考慮したカット+判定幅生産による
在庫の最大不足量(日々変動製品 A)
(左：上下限率 5% 右：カット率 50%)

1 日目と 2 日目の 7 製品の合計確定量が小さいため、カット生産とカット+判定幅生産において、生産能力を考慮する場合では 1 日目と 2 日目の生産量が確定量より大きな値と

なり、生産能力を考慮しない場合に比べて製品在庫の最大不足量は小さくなっている。判定幅生産では、上下限で設定された暫定量であるため、合計暫定量と生産能力との差が小さく、生産能力を考慮する場合としない場合の差が小さい。

1日目と2日目の突発変動製品の確定量がゼロであるため合計確定量が小さくなっている。1日目と2日目の日々変動製品の確定量はゼロでないため、生産量は平均確定量を超えることになり、生産能力を考慮しない場合に比べて、部品在庫の最大不足量は大きくなっている。

A.4 まとめ

平準化と同期化に関して、生産量と在庫量を考慮したカット生産と判定幅生産と、それらの中間的なカット+判定幅生産をモデル化して、生産能力を考慮しない場合とした場合の生産方式の検討を行った。これらのモデル化によって、生産量と在庫量をシミュレーション的に分析できることを示した。

日々確定する顧客からの注文量が変動する状況において、日々の生産量決定ロジックでは生産量変動と在庫量変動を制御することが課題となるが、実際への運用に合った生産量決定ロジックに近づけるほど、生産量の変動と製品在庫の変動がトレードオフの関係を示さなくなる場合や、パラメータを変化させても両者が変化しない場合があり、さらなるモデルと分析の工夫が必要である。