

APS におけるオーダー評価方法に関する一考察

船木 謙一

最近では、過剰在庫や欠品のリスクを減らすため、製品分野を問わず受注生産化を志向する企業が増えている。見込み生産から受注生産への移行により、従来、製品在庫を境に分断していた販売側の顧客オーダーと製造側の製造オーダーはシームレスに直結される。受注生産の下での APS は、このような販売側と製造側の直結を実現する要になり、両者の価値評価基準を統合した評価尺度によりオーダーを評価し、計画立案できなければならない。本論では、受注生産の下での APS におけるオーダー評価方法のあり方について報告する。

キーワード：APS, 受注生産, 顧客オーダー評価, 生産計画

1. はじめに

本論では、受注生産化¹を志向する企業が増えている現状を踏まえ、APS (Advanced Planning and Scheduling) におけるオーダー評価方法について考察する。

従来、不特定多数の顧客に対し、大量生産により製品を供給していた時代のサプライチェーンは、おおまかにいって、需要予測に基づく見込み生産と、受注に対する製品在庫引き当ておよび出荷という二つのプロセスからなっていた。このような見込み生産体制を支援するシステムでは、図1に示すように、販売側の機能と製造側の機能が明確に分離され、そのインターフェースとして製品在庫が存在していた。

しかし、昨今では顧客ニーズが多様化し、需要の変動が激しくなっているため、需要予測はほとんど当たらず、見込み生産では過剰在庫や欠品をもたらすリスクが高くなっている。そのため、現在では製品分野を問わず、受注生産化を志向する企業が多い。例えば、パソコン、記憶装置、プリンタなど情報機器のカスタム生産（いわゆる BTO: Build To Order, CTO: Configure To Order）はいうまでもなく、かつては見込み生産が中心であった自動車、家具、半導体や液晶

ふなき けんいち

(株)日立製作所 生産技術研究所

〒244-0817 横浜市戸塚区吉田町 292

¹ 本論で対象とする受注生産は、顧客の要求する仕様に対応した製品または製造仕様が既に存在し、顧客オーダーの受け付け時点で製造着手可能であり、かつ同じ顧客からのリピート受注がある場合を想定している。つまり、顧客オーダーを受けてから仕様検討、設計、試作を行うような完全受注生産もしくは ETO (Engineer To Order) のような体制は対象としていない。

などの電子部品についても、顧客仕様対応製品の比重が増えるにつれ、受注生産化が進んでいる。見込み生産から受注生産への体制変更は、SCM (Supply Chain Management) における情報の流れという視点で考えると、従来、製品在庫を境に分断されていた販売側の顧客オーダーと製造側の製造オーダーとが、シームレスに直結されることを意味する。同時に、業務としても処理ロジックとしても分かれていた受注、納期回答、生産計画、スケジューリングなど SCM の要素機能は、統合的または一元的に行われなければならない。APS は、このような販売側と製造側の直結、統合を実現する要として位置づけられる (図2)。APS を構成する各機能は製品在庫によって分断されることなく、同期して動作することが重要なポイントである。

黒田[1]によれば、APS の特徴は、オーダーと生産ロットの紐付け、部材の所要量計算とスケジューリングの同時処理、納期回答の三つの機能を持つこととしている。したがって、APS は必ずしも受注生産の支援に特化したものではないが、受注生産化志向が進む中で、その下での APS のあり方を議論することは重要である。受注生産の下で APS が担うべき役割のうち、見込み生産における APS と決定的に異なる点は、(1) 顧客オーダーを製造オーダーにつなげること、(2) 生産状況を顧客への納期回答につなげることの2点である。顧客オーダーと製造オーダーを直結して計画立案し、納期回答するためには、従来、販売側と製造側が別々の価値基準で行ってきた様々な業務や意思決定を統合または一元化する必要がある。そのためには、販売側と製造側の壁を取り払い、両者の価値基準を融合した全体の価値基準を明確化する必要がある。その具体的な実施事項の一つとして、顧客オーダー（これが製造オーダーに

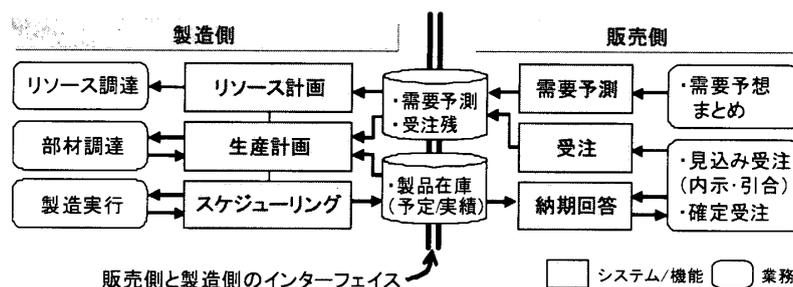


図1 見込み生産を支援するシステムのイメージ

- 注1)実際には基幹業務(受発注管理,実績管理など)を支援する多くの機能が存在するが,図2で示すAPSの機能と対比するため,本図では捨象してある
- 注2)需要予測は,しばしば販売側と製造側の合議の下で決定されるが,本図では簡略化するため,需要予測業務のトリガである販売側に配置してある
- 注3)本図のリソース計画とは,中期的な負荷見込みに基づく人員や設備などの調達計画であり,統合計画(Aggregate Production Plan)とも呼ばれる

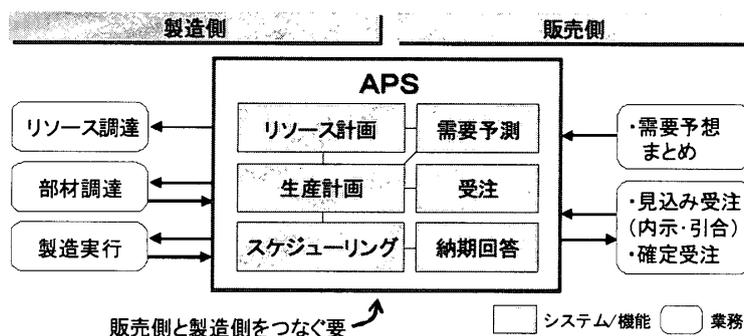


図2 販売と製造をつなぐAPSの位置づけ

- 注1)APSが持つべき機能は,製品分野や生産体制によって変わりうるため,APSの汎用的な構造定義は難しい,本図では,どのような場合でもほぼ共通的に持ちうる機能だけを含めている

直結する)に対する評価方法の一元化がある。すなわち、生産計画立案などに際して、個々の顧客オーダーをどのように評価し、製造能力の制約の下で何から作るべきかを定める基準を統一する必要がある。従来より、APSに必要な各機能(生産計画、スケジューリング、納期回答など)のロジックに関する研究は盛んに行われているが、販売側と製造側が直結した際のオーダーの評価方法についての議論は少ない。この問題は、理論的、技術的には必ずしも難しくないことが多いが、実務上は重要な問題である。本論では、以上のような問題認識に基づき、APSにおけるオーダー評価方法について述べる。なお、生産計画やスケジューリングロジックそのものには踏み込まない。

2. 販売側と製造側の直結とはどういうことか

APSを販売側と製造側をつなぐ要であるという位置づけで捉えれば、APSは部材調達、製造、販売の各プロセスについて、図3に示すような各事項を決め

る必要がある。受注生産により、顧客オーダーから製造オーダーが直結され、製品在庫ポイントが取り払われると、販売と製造の各決定事項は、統一した評価基準の下で一つのロジックによって決められなければならない。特に、BTOやCTOのように、共通仕様部分までを見込みで製造し、残りの製造工程を顧客オーダーに基づいて行う場合には、製造の途中段階に在庫ポイントを設け、その在庫ポイント以降の製造と販売に関する決定を一元化する必要がある。このように、顧客オーダーと製造オーダーが直結される範囲と、見込みで製造オーダーが出される範囲とを分けるポイントが、いわゆるデカプリングポイントである。

デカプリングポイントがどこにあれ、顧客オーダーを製造につなげて生産計画を立てる際には、図4に示すような顧客オーダーと製造ライン(または工場)の関係を同時に考えなければならない。従来の見込み生産では、販売側では図4の上半分の関係、すなわち顧客オーダーがどの製品をいつ、いくつ要求しているか、製造側では同図の下半分の関係、すなわち要求された各製

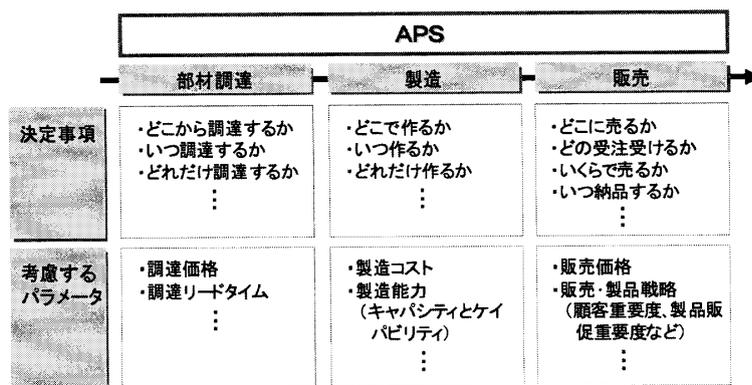


図3 APSがカバーする決定事項

	製品A	製品B	製品C	...	製品Z	
顧客オーダー1	○					
顧客オーダー2	○		○			
顧客オーダー3		○				
顧客オーダー4		○	○			
⋮						
	○		○			製造ライン(または工場)1
		○				製造ライン(または工場)2
	○				○	製造ライン(または工場)3
			○			製造ライン(または工場)4
						⋮

↑ 同じ製品でもオーダーによって重要度は異なる ↓

↑ 製品によって優先的に使う製造ラインは異なる ↓

○: 該当する行と列の要素が関係あることを示す
 例) 顧客オーダー3は製品Bを注文しており、製品Bは製造ライン2で製造可能である

図4 顧客オーダーと製造ライン(または工場)の関係

品をいつ、どこで、いくつ作るかだけを考えていたといえる。受注生産においては、図4の全体の関係を踏まえ、どの顧客オーダーをどの製造ライン(または工場)で作り、いつ納めるかを一元的に考える必要がある。従来、製造側への要求は製品別の数量に集約されていたのに対し、販売側と製造側が直結することにより、個々の顧客オーダーを認識して生産計画を立てなければならなくなる。そのためには、実務上、次のような点を留意し、統一的な評価基準を設ける必要がある。

(1) 販売に関する事項

- ・ 同じ製品であっても、販売価格は一定ではなく、顧客、販売チャネル、時期などによって変わる。
- ・ 同じ製品に対する顧客オーダーであっても、顧客、販売チャネルなどにより販売戦略上の重要性は異なる。
- ・ いくつ生産できるかということより、どの顧客オーダーに応えられるかということが重要である。すなわち、顧客の注文数量が100%満たされなければ、その顧客オーダーに応えたことにはならない。

(2) 製造に関する事項

- ・ ある製品が複数の製造ライン、工場で製造可能であっても、生産戦略上の理由により、優先的に使いたい製造ラインや工場がある。
- ・ 同じ製品であっても、製造コストは製造ライン、工場によって異なる。

以上の各事項は、実務上当然のこのように思われるが、従来の研究ではしばしば問題から除かれ、捨象されていることが多い。

3. 顧客オーダー重要度に基づく生産計画作成手順

個々の顧客オーダーを認識して生産計画を立てるためには、販売・製品戦略上の観点から各顧客オーダーの重要度を評価し、何から生産すべきかを定める必要がある。ここでは、顧客オーダーの重要度を評価し、それに基づいて生産計画を作成する手順の例を示す。

普通、各顧客オーダーは顧客、販売チャネル、製品などの情報を持っているので、これらの情報を販売・製

品戦略に照らして重要度を評価することができる。一方、企業目的としては利益を上げるということも重要であるので、最終的には収益性の観点も加味して、どの顧客オーダーから優先して生産するかを決められるようにしたい。ここで、前節の(1), (2)に述べたように、同じ製品であっても顧客オーダーによって販売価格は異なり、製造ラインによって製造コストが変わるので、収益性は顧客オーダーと製造ラインの組合せに応じて決まるものと考えなければならない。したがって、製造ラインの選択基準にも依存する。以上のことより、生産計画においてどの顧客オーダーを優先するかを決める問題は、概念的には図5のように表される。すなわち、販売側の価値基準である販売・製品戦略に基づいて顧客オーダーの重要度を評価し、製造側の価値基準である製造ライン選択基準を媒介して収益性を加味することにより、顧客オーダーの優先順序が決められる。

なお、ここで注意すべき点は、どの顧客オーダーを優先するかという問題は相対的なものであり、あるメトリクスに基づく絶対的評価値が重要というわけではないということである。すなわち、ある顧客オーダーは別のある顧客オーダーよりも優先すべきという評価ができれば十分である。

3.1 顧客オーダーの重要度評価

販売・製品戦略上の観点では、顧客、販売チャネル、製品によって顧客オーダーの重要度を評価できる。その際の評価項目として、例えば次のようなものがある。

- (1) 顧客に関する評価項目
 - ・顧客の競争力
 - ・取引の継続性
 - ・その他の付随的効果（取引によるイメージ向上、技術情報の入手可能性など）
- (2) 販売チャネルに関する評価項目
 - ・販売・宣伝力
 - ・取引の柔軟性
 - ・販売地域・立地条件

(3) 製品に関する評価項目

- ・販促強化度
- ・技術優位性
- ・その他の付随的効果（ブランドイメージ向上、他製品との相乗効果など）

以上はいずれも定性的評価項目であるが、それぞれに関して、例えば10点満点などのスコア付けの基準を設け、同一尺度で評価値が捉えられるようにする。そしてあらかじめ個々の顧客、販売チャネル、製品ごとに各項目を評価し、スコアを設定しておく。顧客オーダーを評価する際には、あらかじめ設定したスコアを使って図6に示す2段階の重み付け計算により、顧客オーダーとしての重要度を求める。定性的な項目に対する評価値を重み付けによって統合する方法は、戦略評価や予算策定などの場面においてよく使われる方法である[2]。また、評価項目のウェイトを求める方法としてAHP (Analytical Hierarchy Process) を用い、ウェイト間の整合性の確保を図る研究もある[3]。

しかし、この方法における実際の要諦は、重要度の計算やウェイト付けの方法よりも、いかに意思決定に参加するメンバが納得するスコア設定ができるかである。実務上は、参加メンバの様々な立場や思惑があり、人によってスコアが異なるのが普通であるので、組織として一本化し、合意、承認する業務プロセスを定義することが必須である。

3.2 製造ライン選択基準

同じ製品が複数の製造ライン（または工場）で製造可能な場合には、使用する製造ラインを決めなければならないが、そのための価値基準として、例えば次のようなものが考えられる。

(1) 製品別優先ラインの設定

生産技術や品質管理上の方針により、製品ごとに優先して使う製造ラインが指定されている場合である。また、他社へのアウトソーシングが可能な場合に、まず自社製造ラインを使い、その製造能力で賄い切れない

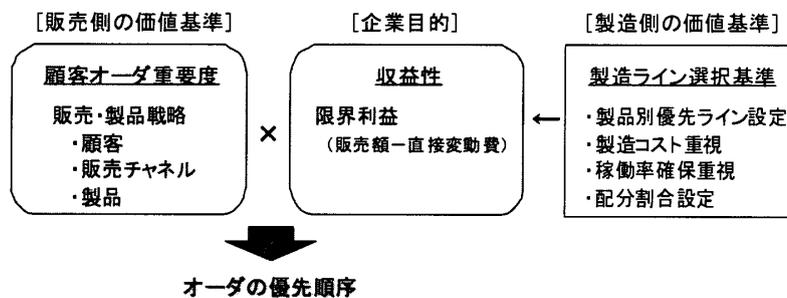
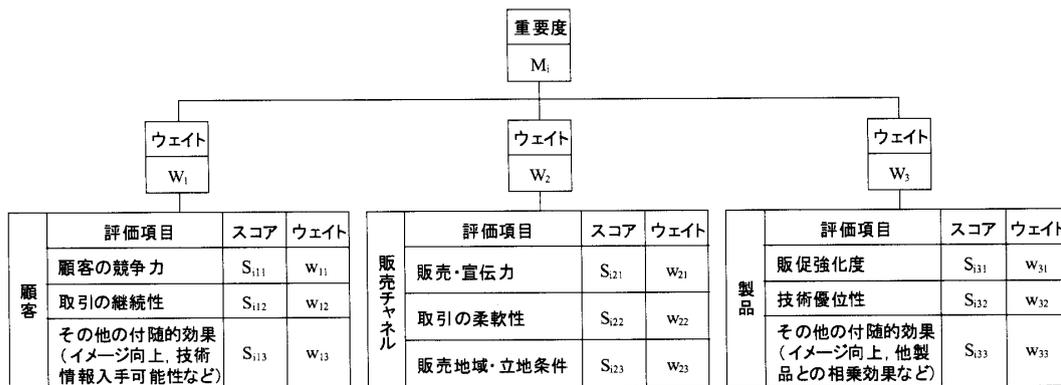


図5 顧客オーダーの優先順序決定の考え方



$$M_i = \sum_{j=1}^3 W_j \sum_{k=1}^3 w_{jk} S_{ijk} \quad (M_i: \text{顧客オーダ}i\text{の重要度})$$

図6 顧客オーダ重要度の計算ロジック

くなった分を他社にアウトソーシングするというような場合も該当する。

(2) 製造コスト重視

同じ製品でも、使用する製造ラインや工場によって製造コストは異なる。収益性を考え、よりコストの低い製造ラインを選択するという基準である。この際、考慮すべき製造コストは直接変動費部分だけである。固定費部分は、その製造ラインを使用するかしないかにかかわらず、発生するコストだからである。

(3) 稼働率確保重視

製造ラインの稼働率を維持するという方針が取られることもある。稼働率を高める理由には、品質を安定させる、投資回収を早める、作業員モラルを維持するなど、様々なものが考えられるが、それらはしばしばローカルな価値基準になりがちであるので、受注生産においてはあまり好ましい基準ではない。

(4) 配分割合の設定

便宜的なルールとして、製造ラインや工場への配分割合をあらかじめ設定しておくという方法も取られる。これは、事故発生や政情不安など不測の事態に対するリスク分散という目的や、製品の世代交代により、新製品が投入されるのに伴い、旧世代製品の製造ラインを徐々に移す際の移行期間に用いられる場合がある。

生産計画を作成する場合には、上記のいずれかの基準を用いて各顧客オーダの製品を製造するラインを選択していく。理屈上は複数の選択基準を合わせて用いたり、使い分けることもありえるが、実務上は業務を煩雑化するだけでなく、全体としての意思統一が不明確になるので一つの基準に定めるのが現実的である。

3.3 収益性の評価

ある顧客オーダによる利益は、その販売価格と製造

コストによって決まる。生産計画は、どの顧客オーダから生産するかを決めることであるので、ここで考慮すべき製造コストは、各顧客オーダの製品を製造するかしないかによって変わる部分、すなわち製造における直接変動費だけである。生産計画やスケジューリングにおいては、使用するロジックにも依存するが、大まかにいって、当該顧客オーダが消費する単位リソース量当たりの限界利益で評価するのが正しい。

さて、実際の製造コストは使用する製造ラインによって異なるので、上記限界利益は顧客オーダと製造ラインの組合せに依存する。したがって、生産計画の手順としては、製造ラインを選択しながら、収益性を評価するという形になる。

3.4 生産計画作成手順

以上の議論を踏まえ、生産計画を作成する手順を示す。ここでは想定条件として次のものを考える。

(1) 計画対象とする顧客オーダは全て与えられており、各顧客オーダには、顧客、販売チャネル、製品が明示されている。

(2) 顧客オーダ1件の注文製品は1品種のみとする。

(3) 複数の製造ラインで製造可能な製品もある。

(4) 各製品の製造コストは製造ラインごとに分かっており、製造ラインの選択は製造コスト重視基準に従う。すなわち、ある顧客オーダの製造は、その製品の製造コストが最も安い製造ラインを選択し、もし製造能力不足などにより、当該製造ラインでの製造が不可能であったら、次に製造コストが安い製造ラインを選択する。

上記のうち、(2)について、現実には1件の顧客オーダで複数品種の製品を注文することもあるが、その場合には、当該顧客オーダを注文する品種ごとに分けて

次の手順を使うことができる。また、製品によっては構成部品ごとに製造ラインが異なる場合も考えられるが、その場合には、部品、製品の製造が可能である製造ラインの全ての組合せを挙げ、各組合せごとに製造コストを出しておけば、上記(3)、(4)の条件の下で次の手順が使える。

本手順は、あらかじめ計算した各顧客オーダーの重要度と、製造ラインとの組合せにより計算した限界利益を基に優先順位を決め、その順に生産計画に加えていくというヒューリスティックである。なお、部品所要量やリソース消費量の計算、製造開始および終了時間の計算など、生産計画のロジック自身は隠蔽されているものとして言及しない。つまり、生産計画自身にはどのようなロジックが使われてもよいという立場である²。

生産計画作成手順

[ステップ1] 図6の計算ロジックに従い、各オーダーの重要度 (M_i) を算出する。

[ステップ2] 顧客オーダーごとに製造可能な製造ラインを全て抽出し、顧客オーダーと製造可能な製造ラインの組合せのリスト (オーダー-ライン組合せリスト) を作る。

[ステップ3] オーダー-ライン組合せリストの各組合せごとに、

$$P_i = M_i \times \text{単位リソース消費量あたり限界利益}$$

(P_i : 顧客オーダー i の優先度評価値)

を計算して優先度評価値 (P_i) を設定する。

[ステップ4] オーダー-ライン組合せリストの中から、優先度評価値 (P_i) が最も高い組合せを選ぶ。

[ステップ5] 選択した組合せの顧客オーダーを当該製造ラインの生産計画に加える (ここでの処理内容はそれぞれの生産計画ロジックに従う)。もし、能力不足などにより、当該製造ラインの生産計画に加えられなかったらステップ6へ、問題なく生産計画に加えられたら、ステップ7に進む。

[ステップ6] オーダー-ライン組合せリストから、当該顧客オーダーと製造ラインの組合せを削除し、ステップ8に進む。

[ステップ7] オーダー-ライン組合せリストから、当該顧客オーダーを含む組合せを全て削除し、ステップ

8に進む。

[ステップ8] オーダー-ライン組合せリストが空になったら処理を終了。まだ組合せが残っていればステップ4に戻る。

以上の手順では、想定条件(4)の製造ライン選択基準が明示的に扱われていないが、ステップ3において、限界利益に基づく優先度評価値を計算することにより、製造コスト重視基準が反映されている。

本手順の特徴はオーダー-ライン組合せリストと優先度評価値である。オーダー-ライン組合せリストは、可能性のある顧客オーダーと製造ラインの全組合せを持ち、それぞれについて優先度評価値を計算する。優先度評価値は、販売・製品戦略を反映した顧客オーダー重要度と、製造ライン選択基準に基づく収益性から導かれる値であり、販売側と製造側の価値基準が総合的に評価されている。優先度評価値の高い組合せから生産計画に加えていくことにより、販売側、製造側の両者から見て重要な顧客オーダーが優先的に扱われる。

さて、本手順による生産計画作成問題は、一見すると次のような組合せ最適化問題として扱うことができるように思われる。

問題

最大化 : 生産計画に加えられる顧客オーダーの優先度評価値の合計
制約条件: 生産計画ロジックにおける各種制約条件

しかし、この問題を解くと優先度評価値の低い顧客オーダーが優先されてしまうということが起こりうる。例えば、優先度評価値が同じ2件の顧客オーダー (顧客オーダーA、Bとする) とそれより少し優先度評価値が高い顧客オーダー (顧客オーダーCとする) があり、顧客オーダーAとBのリソース消費量の合計が顧客オーダーCのリソース消費量より少ない場合に、顧客オーダーAとBが優先的に計画され、顧客オーダーCは後回しにされるという結果になる可能性がある。これは最適化の結果としては正しいが、実務上は顧客オーダー間の相対的優先順序が重要なので受け入れ難い。顧客オーダーCは顧客オーダーAやBよりも優先されるべきであり、顧客オーダーAやBが納期に間にあうにもかかわらず、顧客オーダーCが納期遅れになるような生産計画は許されない。

4. 結言

本論では、APSにおいて顧客オーダーを評価する方

² ただし、厳密には本手順が生産計画やスケジューリングのロジックと完全に独立であるというわけではない。例えば、ステップ3の限界利益の計算は使用するロジックに依存することがある。

法について考察した。本評価方法により、販売側と製造側の価値基準を同時に考慮した生産計画作成が可能となる。また、本論に示したオーダー評価方法や考え方は、生産計画作成以外に、納期回答における生産座席枠への引当て処理にも活用可能である。

本論に示した生産計画作成手順では、使われる生産計画やスケジューリングのロジック自身には言及しておらず、顧客オーダーを扱う際の優先順序を決める方法だけを与えているという点で汎用的である。一方で、次の点に触れていないという意味で、自己完結したものではないので注意しておく。

(1) 時間軸の視点

本論では次の二つの時間軸の問題を無視している。

・見込み受注と確定受注の扱い

一般に顧客オーダーは最初から確定した情報として入ってくるものではなく、内示や引合いという形で見込みの情報が先にあると考えるのが自然である。そして、時間が経つにつれ、順次見込み受注は確定受注に変わっていく。見込み受注よりも確定受注の方がビジネス上の重要性が高いことが普通であるので、顧客オーダーの評価においては、見込み受注と確定受注を識別することも必要である。

・顧客オーダー受け日と納期の関係

実際には、顧客オーダーはある時点に一度に来るわけではない。したがって、計画対象とする顧客オーダーの中には、昨日受け付けたものもあれば、1ヶ月以上前に受け付けたものもありえる。一方、各顧客オーダーが持つ要求納期も様々であり、後から受け付けた顧客オーダーの方が以前に受け付けたものより納期が早いということもある。このような顧客オーダー受け日と納期の時間軸上の位置関係をどう扱うかは生産計画やスケジューリングのロジックに大きく依存する。例えば既に受け付けた顧客オーダーのうち、納期が近いものに対しては過去の生産計画作成によって決めた製造ロットや在庫の引き当て関係を持続（いわゆるハードペギング）し、他の顧客オーダーについては再計画するというようなロジックを使う場合、再計画対象となる顧客オーダーには、過去に受け付けた顧客オーダーと今回新規に受け付けた顧客オーダーが混ざっているので、それらを識別した評価方法が必要であろう。

(2) 経営上の他の評価基準との関係

実際の経営では在庫回転率や納期遵守率などの評価

基準も重要である。これらは生産計画やスケジューリングのロジックの設計に大きく関係する。生産計画やスケジューリングのロジックにこれらの評価基準を加味すると、顧客オーダーの優先順序と不整合が生じることがある。例えば、優先度評価値が高い顧客オーダーがリソースを長時間占有するために、他の顧客オーダーが遅れ気味になり、全体として納期遵守率を低下させるというような現象である。本論に示した、生産計画やスケジューリングロジックを隠蔽した生産計画作成手順は、顧客オーダーの評価結果が他の評価基準に優先されることを前提にしている。もし、顧客オーダーの優先順序と他の評価基準とを同列に扱わなければならない場合には、顧客オーダーの評価方法と生産計画やスケジューリングのロジックを一体化する必要がある。

(3) 顧客オーダー重要度計算におけるスコア設定

本論に示したオーダー評価方法では、顧客オーダーの重要度計算のために、顧客、販売チャンネル、製品に関する評価項目ごとのスコアがあらかじめ設定されていることが必要である。しかし、実際にはこのようなスコア設定をあらかじめ完全に行うことは難しい。例えば、どのような顧客から受注があるかを事前に全て知るとは不可能であるので、新規顧客からオーダーを受けた場合の、その顧客の評価方法を決めておくなどの工夫が必要である。具体的には、事前にスコア設定がない場合に使うデフォルト値を決めておくなどである。

参考文献

- [1] 黒田充：“MRPからAPSへ生産管理の進化とスケジューリングの新しい役割”，スケジューリングシンポジウム2002講演論文集，スケジューリング学会，pp.1-13, 2002.
- [2] K. W. Platts, D. R. Probert and L. Canez：“Make vs. Buy Decisions: A Process Incorporating Multi-attribute Decision-making”，International Journal of Production Economics, Vol. 77, No. 3, pp. 247-257, 2002.
- [3] J. Korpela, K. Kylaheiko, A. Lehmusvaara and M. Tuominen：“An Analytical Approach to Production Capacity Allocation and Supply Chain Design”，International Journal of Production Economics, Vol. 78, No. 2, pp. 187-195, 2002.