

引当て処理の特徴と APS における機能化

荒川 雅裕

本論文では、見込み・受注の混合生産環境における“引当て”処理の視点から APS で利用される機能の特徴や問題点、事例などを示す。引当て処理はスケジューリングと在庫管理（制御）の機能の統合が必要である。これは計画系と運用系間の“生産運用の流れ”を統合、操作を行うことであり、この統合と操作の実現が APS の特徴であることを説明し、さらに過去の研究で議論されている操作方法を解説する。

キーワード：引当て、APS、在庫制御、スケジューリング、見込み・受注混合生産

1. はじめに

近年の市場ニーズの多様化により、生産現場においては多品種少量生産が中心となり、多様な製品を短いリードタイムで顧客に供給するとともに製品や仕掛かり品の在庫を可能な限り抑えることが要求されている。

このような生産環境において、製造業全体に対して最適な生産を指向する管理手法とその情報システムとして SCM (Supply Chain Management) が普及し、SCM の計画立案機能である APS (Advanced Planning and Scheduling) が注目されてきた。

現在、市販されている大部分の APS のプロダクトは、

- (1) ERP (MRP の機能を含む) による統合システム
- (2) MRP (Material Requirement Planning) による負荷山積みによる計画立案システム
- (3) 時点計画のスケジューリング法による計画立案システム

の従来から開発されてきたプロダクトを機能拡張して現在に至った経緯がある。例えば、(1)では Oracle Applications, SAP (R/3 や APO), さらに SYMIX などが[1], (2)では LoadCalc (日立) など, (3)では ASPROVA, ILOG SCHEDULER などが対応する。なお、(1)では主に MRP が計画立案に使われるため、(1)と(2)は同義と見ることが出来る。

(2)や(3)から発展したプロダクトは必ずしも SCM の利用を目的として発展してきたとはいえない。これは、商用的な立場から“APS”の用語が先行し、搭

載機能や各機能の利用法が主張されたことによる。このため、APS の本来の目的や特徴が不明確のままプロダクトが普及し、APS の適用が SCM に限らず生産工場一般に利用されるようになった。近年では、現実場での導入効果が報告されるようになり、利用者が搭載機能に着目する傾向はさらに強まってきたと感じられる。

一方で、APS に関する学術的な研究は発展しているとはいえない。これは、APS で取り扱われる現象が、これまで独立の研究対象である在庫制御とスケジューリングの問題が混在したものであることが理由と考えられる。従来より、在庫制御は運用レベル、スケジューリングは計画レベルで扱われ、一方の問題を扱う場合では他方の問題の解を既知として扱われるか、考慮するほど複雑なモデルは扱っていない場合が多い。

APS は計画系と運用系の混在したシステムと見ることができ、見込み・受注の混合生産における引当て処理が混合した問題の取り扱いが可能である。

本論文では、見込み・受注の混合生産における引当て処理の運用が APS の基本的な機能、運用法の具体的な適用方策の一つであることを示す。そして、引当て処理運用の視点から APS の特徴と機能をまとめ、今後、検討すべき機能や運用方法の問題点を述べる。

2. APS プロダクトから見る APS の機能の特徴

2.1 APS の目的と特徴

APS は、当初では MRP を発展させた情報システムを指しており、従来からの MRP の問題点である

- ① 固定リードタイムの利用
- ② 無限能力を仮定した負荷の山積み

を補い、MRP (正確にはクローズドループ MRP も

あらかわ まさひろ

関西大学 工学部管理工学科

〒564-8680 吹田市山手町 3-3-35

しくはMRPII)の処理の流れである「基準生産計画」→「MRP(資材所要量計画)」→「CRP(負荷調整計画)」→「基準生産計画」→…の繰り返し処理を行わず、有限能力を考慮した高速MRPによる所要量展開の機能を用い、所要資源の計算、資源能力の推定を短時間でを行うことを長所としていた[2]。さらに、有限能力で計画を立案するため、無限能力で作成した所要量計画に比べて実施内容に近いため、部品や資源の在庫削減を行えた。これにより納期APSの導入目的である納期遵守率の向上、納期回答可能時間(納期確約:ATP(Available-To-Promise))の削減であり、最終の目的である顧客サービスの向上に効果があった。

その後、APSは従来のMRPによる計画立案とスケジューリングを統合したシステムと捉えられており、従来のMRPの処理順序とは異なる順序であることが注目されてきた。すなわち、これまでのMRPによる処理の流れは、時間精度の粗いほうから細かいほうに向かってMRP(「MPS(基準生産計画)」→「MRP(資材所要量計画)」→「CRP(負荷調整計画)」→「基準生産計画」→…)→「スケジューリング」→「製造指示」となっていたが、APSでは「スケジューリング」の後に「MRP(資材所要量計画)」の実行によって、資材や部品の投入時刻を正確に把握できるため、時間に詳細な資材や部品所要量の見積もりを可能とし、在庫管理の精度が高められる利点が示されてきた(図1参照)。

この利点が必要とされた背景は市場ニーズの多様化による多品種少量生産のもと、納期達成と在庫削減への対策にある。このように、APSは“生産管理・運用の方策”と効率的な操作をシステム化したものと見

ることができ、単に多様な機能の揃った情報システムとの見方は適切でないと思われる。

2.2 APSプロダクトの有する機能

G2研究グループではAPSプロダクトの機能を調べるため、実績のある七つのAPSプロダクトのベンダおよび開発者に対して、アンケートを行っている[3, 4]。ここでは、調査結果と研究会での講演を参考に、プロダクトの機能の特徴を考察する。APSプロダクトの基本機能としては、次の五つの機能があげられる。

- (1) ローディング(期間計画)
- (2) スケジューリング
- (3) 納期回答
- (4) MRP(ペギング機能)
- (5) POPとの連携

ここで、(5)は在庫の実績情報を利用するための機能である。調査した全プロダクトで(1)から(5)の機能全てが導入もしくは他システムとの連携で可能である。

(1)、(2)、(4)の機能の連携により、前節の「スケジューリング」後の「MRP(資材所要量計画)」の実行は可能である。とくに、(5)により、在庫の実績情報を収集でき、在庫管理や計画立案に利用できる。個々のプロダクトごとに機能の詳細を見ると、BOM(Bill of Materials)のデータ構造やペギング方法に特徴を持たせたプロダクトが見られた。例えば、BOMに関しては、階層型の制御ないものや、従来のBOMによるツリー構造とシーケンスが一体化したものなどが見られた。また、ペギング方法に関しては、品目属性とオーダ属性の両方から参照が可能な機能や、製番方式を利用したダイナミックなペギング機能などが見られた。また、調査した全スケジューリングでは最適化のアル

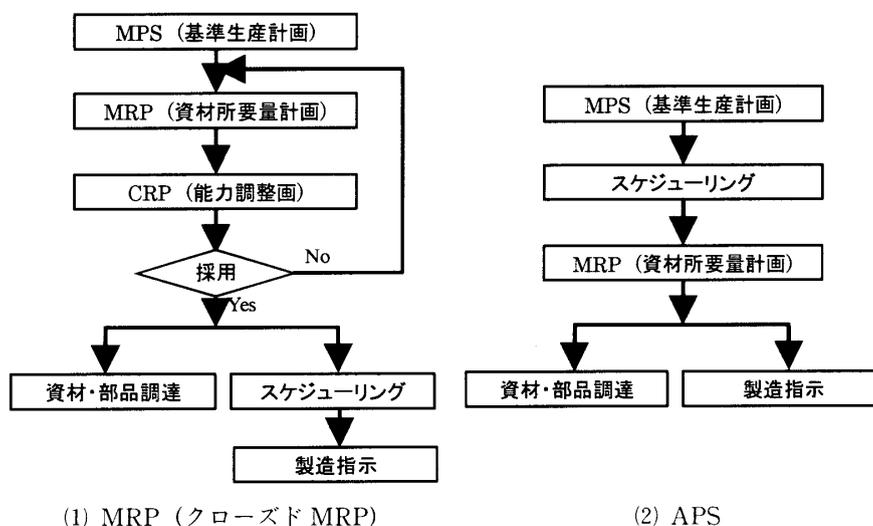


図1 MRPとAPSの処理順序(特徴の部分のみの概要図)

ゴリズム (GA, TS など、ローディングでは LP など) やシミュレーション法など、複数のスケジューリング法が混在されている。とくに、シミュレーション法を併用することにより評価と対話的な計画条件の変更を多方面から可能にする GUI の工夫が見られた。また、TOC (制約条件の理論) によるスケジューリング法 (スクイーズ型スケジューリング法) の機能を組み込んだプロダクトなども見られ、他のプロダクトとの差別化を図るために各プロダクトが独自のアイデアを機能に組み込んでいる。

3. 見込み・受注の混合生産における引当て処理

3.1 見込み・受注の混合生産での引当て処理の特徴

受注中心の生産は、多品種少量生産となる場合が多く、顧客からの要求納期が資材から製品完成までの製造リードタイムに比べて短く設定される場合も多い。このような状況下では、製造リードタイムの削減の方法として、見込みと受注の混合生産をとり、受注に対して見込み品およびその部品を引当てる処理が広く行われている。

見込み生産は、市場の需要予測から作成された比較的長期間 (せいぜい 1~3 ヶ月単位) の計画に基づき生産を行い、顧客からの受注に対しては主に製品在庫で対応する。このため、受注から製品納入までの期間は非常に短く、製品は顧客の受注に短い期間で納入できる。受注よりも早く製品の生産が開始するため、顧客が製品を受け取るための“納期”と製造の“リードタイム”は連動せず、最終製品の在庫量の時間的な推移のみが納期に影響する。すなわち、顧客への短期間

での製品供給には需要予測の精度と維持可能な在庫量の制御が必要となる。

一方で、受注生産では顧客からの受注が発生後に生産を開始する。多く受注生産では規格品あるいはその規格品を改良したものが生産対象となるため、少なくとも原材料や部品をあらかじめ在庫にして対応する。このため、“納期”と製造の“リードタイム”が連動すると見ることができ、見込み生産に比べてリードタイムは長くなる。この場合では各工程における作業順序の変更によりリードタイムの短縮を可能とするため、短納期が設定された条件では時間の精度が高く、有限能力を考慮したスケジューリング法の導入が不可欠となる。図 2 は見込み生産と受注生産における作業の流れの概略を示す。

一般に、多段階工程において見込みと受注の混合生産では、ある工程までは規格化した部品や中間製品を見込み品として生産を行い、顧客からの受注に対して、部品や中間製品を組み合わせて受注品の製造を行う。見込み品を受注に割り当てることを“引当て”、引当てを行う工程を“受注引当てポイント (デカップリングポイント)”と呼んでいる。受注引当てポイントの位置、部品や中間製品の種類そして在庫量の設定を実績に従って適切に制御することによって受注品のリードタイムと仕掛かり・完成製品在庫の同時改善を可能にする。

図 3 は製品の供給プロセスに対する部品・製品の在庫発生と引当て位置の関係を示す。製品の供給プロセスにより受注と見込みの混合する生産方式は数種類に分類される。製品の製造工程では資材発注から組み立ての範囲が対応するので、引当て処理の適用は図中の点線楕円部の生産方式と部品・製品の供給位置が該当

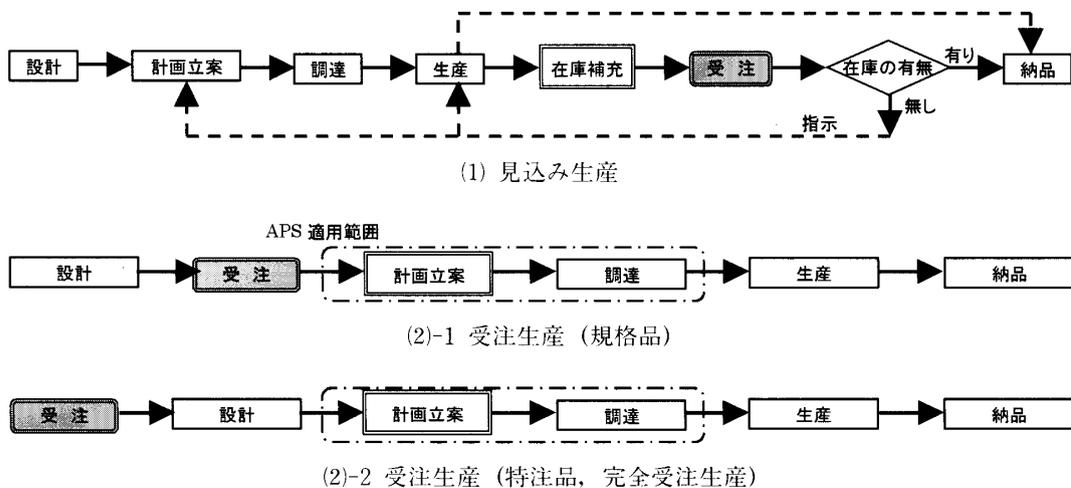


図 2 見込み生産と受注生産の作業の流れ (文献[8]図 6.1 を一部修正)

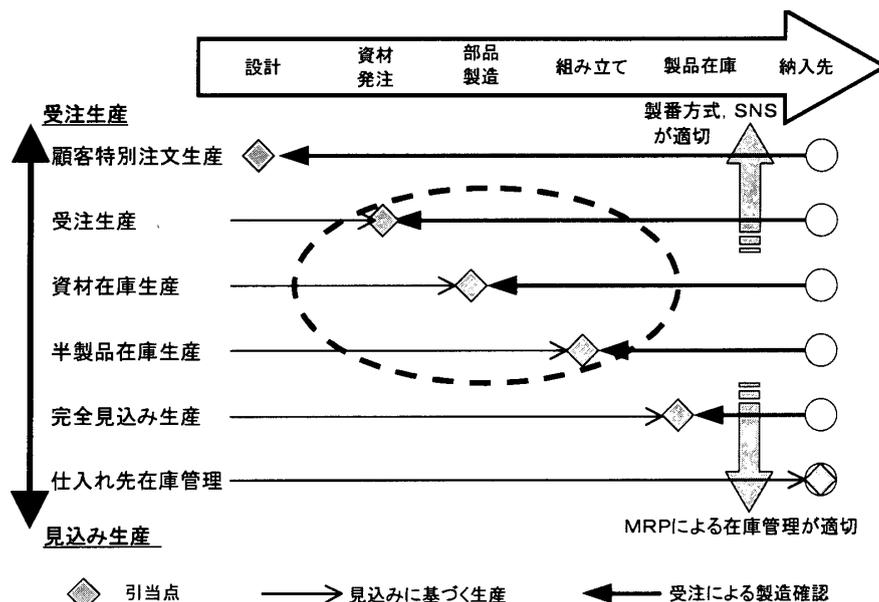


図3 製品の供給プロセスに対する部品・製品の在庫発生と引当て位置

する。

なお、本論文では製品の製造工程を対象とし、受注を工程内の資材や中間製品および材料を引当てる問題を取り扱う。

3.2 引当て処理の実施例

引当て処理は現実場で利用され、リードタイムと在庫量の削減に有効な結果が得られている。

例えば、民間、公共用のバルブを製造する企業では、37,000種類（10～100種類/製品）のバラエティのある製品に対して1ヶ月あたり約4,000アイテムを取り扱い、約13,000個/月の生産に対して、引当て処理の機能導入により（受注から納入までの）リードタイムが標準品仕様品で20日から1週間に、特殊仕様品で30日から20日に削減された報告がある[5]。また、多品種にわたるコンピュータの製造工場では、生産座席予約システムによる引当て処理の実現により、総生産リードタイムと棚卸資産保有日数のいずれもが1/2に削減された報告がある[6]。

部品調達に時間がかかる製品や最終的な仕様は未決定であるが概要が決定済みの製品では、内示として正規の発注以前に製造先に連絡を行う場合があり、この場合も引当て処理と見ることができる。内示が存在する場合では引当ての有無による中間製品在庫の欠品は大きくは起こらないが、仕様変更により製造工程順序が変更になることが起こりうる。ある自動車メーカーの組み立て工程では、ディーラーからの需要予測値に基づく内示の情報と実際の受注の間で毎月10%程度差異が生じているとの報告がある[7]。

4. 引当て処理実現のための機能

4.1 見込み・受注の混合生産における在庫管理

通常、見込み生産での資材・部品および中間製品の生産量と在庫量の見積もりはMRPを利用して行われる。具体的にはMPS (Master Production Schedule) で決められた製品の期末要求量を満たすように、部品構成表 (BOM) を利用して納期から時間を遡って資材、部品、中間製品および完成品の必要日と数量の計算を行い、資材調達の情報や計画立案に利用する。MRPでは工程で利用される部品の在庫量の管理、制御が対象であり、BOMによる部品展開の処理を除けば工程間での部品の関連は考慮されない。

受注生産については、日本では古くより“製番方式”による在庫管理が広く利用されている[8]。製番方式は個々の製品やそれをまとめた生産ロットに“製番（製造番号）”を設定し、資材から製品完成までの工程間の製品の流れを製番ごとに“紐付け”して管理する方法である。紐付けした各工程での情報から、部品納入指示、製造指示、進捗管理を行うとともに、顧客からの仕様変更や納期回答などの顧客レベルの管理に対応できる長所がある。なお、製番方式と類似した管理手法に“SNS (Sequence Number System)” [9]が存在する。製番方式とSNSのいずれも資材から完成製品までの部品の特徴（特性、数量など）や作業内容をシーケンスに沿って製品の流れとして捉えることができ、各工程の製品の処理順序などのスケジュール情報との連携がつけやすい。これから、図3に示

すように見込み生産ほど MRP による在庫管理が、受注生産ほど製番方式や SNS による管理が適当である。

上記の特徴から、見込み・受注の混合生産においては、①資材、部品の発注や在庫管理のための MRP による部品展開の機能と、②顧客ごとの製品管理とスケジューリングによる情報操作を関連付ける製番方式あるいは SNS の機能を同時に操作する仕組みが必要となる。

主な、APS では製品の部品構成とシーケンスを含む作業情報を関連させた BOM (例えば、E-BOM (engineering-BOM) など) のデータ構造を利用し、スケジューリング情報と連携して引当て処理や製品の仕様変更に対応する。e-Manufacturing[10]は上記の MRP による部品展開の機能と SNS の類似機能の統合を実現したプロダクトである。“ダイナミックペギング”として計画対象の全ジョブ、全工程の使用資材や部品の情報を部品展開によって抽出を行うことができ、計画条件の追加や変更に対して、柔軟で高速な処理を可能とする。さらに、紐付けにより工程間の製品、部品や作業の詳細な時間と数量管理を可能とする。

上記のように引当て処理の実現には、

- (1) 再スケジューリング
- (2) 情報の変更に対する高速ペギング (スケジューリング情報との連携と作業情報を含んだ BOM によるデータ構造を利用した部品展開)

を行えることが必要である。

4.2 引当て処理に必要なデータ構造の特徴

MRP による在庫管理と、製番方式によるジョブの

シーケンスに従う作業情報の管理方式を同時に実現するには、スケジューリング後に部品展開処理を行うことや受注品の追加や既存の受注品の仕様変更に対して変更、そしてスケジューリングの実行と結果抽出などを容易に行うデータ構造が必要である。これまでに、APS に利用するためのデータベースのテーブルやデータ構造に関しては、PSLX コンソーシアム[11]においてスケジュールのデータ構造を中心にして、ビジネスモデルとしての概念モデルなどが提案されている。

この節では、著者らが設計したデータ構造例を図4に示し、引当て処理による柔軟な計画条件変更に必要なデータ構造の特徴を述べる。このデータ構造に格納する情報は計画対象期間の情報であり、コンピュータのメモリ内に展開され、引当て処理や計画関連の情報の変更などの操作に利用される。データ構造はオブジェクト指向技術に基づき設計しており、計画情報、BOM 情報、設備情報そして作業関連情報から構成される。

(1) シーケンス (加工経路中心) のデータ構造

データ構造はワークセンタ・ジョブ・品目の3要素と、お互いを関連づけるシーケンスに関する情報を中心に構成している。品目とジョブは1対多の関係になっており、同一投入品目、同一シーケンスでも、ジョブによる区別が可能である。

(2) マスタデータと動的に変化するデータの分離

データ構造は BOM 情報 (部品構成表) や各工程での作業内容と作業時間などのマスタデータ部と、スケジュールなどの動的に変化するデータを分離している。

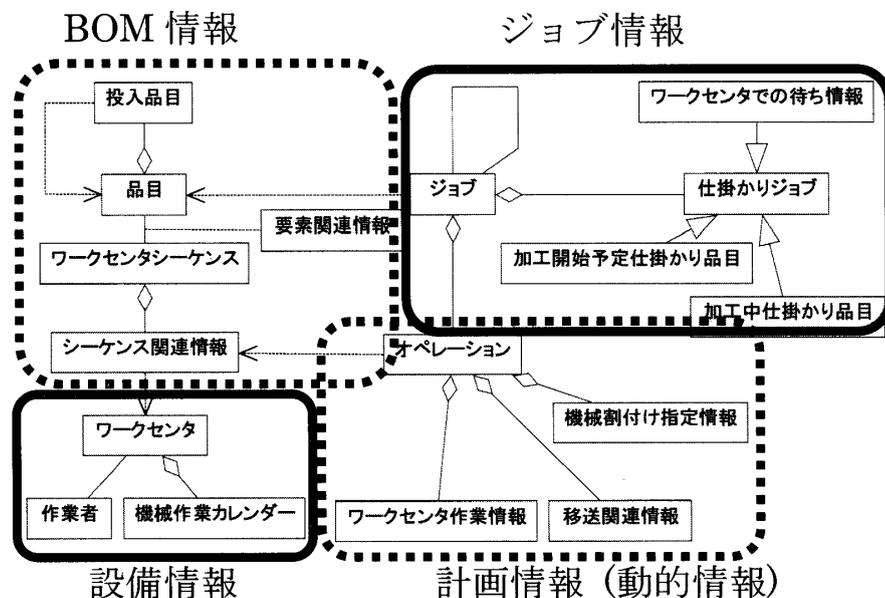


図4 データ構造例 (概略図)

これにより製品仕様や作業時間などの情報に変更があった場合においても、情報変更に対して動的部分部のデータのみ変更で対応できる。

(3) 部品構成と製造手順情報の統合

製造手順を含む“ワークセンターシーケンス”、“シーケンス関連情報”と、部品構成を表現する“品目”、“投入品目”の統合構造をとり、任意の時刻で生じた受注品に必要な資材や部品を知ることができる。

図4のデータ構造はAPI (Application Interface) を通して、データベースと連携し、過去の情報が保存される。さらに計画条件データファイルの出力を行ってスケジューリングに利用する。(1)~(3)の特徴を構造化することで引当て対象のジョブ選定やジョブ情報の変更に対して、再スケジュールによる計画情報の取得と評価の操作に対応する。

4.3 引当て処理実施に考慮すべき在庫制御

これまで述べてきたように、引当て処理ではスケジューリングと在庫制御の機能の統合を必要とし、APSでの基本機能で実現されることを示してきた。ここでは引当て処理を行うための在庫制御に注目し、制御を行うための必要事項を2項目に分類し、各項目の方策を過去の研究から考察する。

(1) 在庫量の制御方法

- ・カンバン方式
- ・CONWIP (CONstant WIP)
- ・基点在庫方式 (エシェロン在庫)
- ・TOC (制約条件の理論、この場合、ボトルネックの前バッファ内の在庫制御を指す)

(2) 見込み品と受注品の混合

- ・見込み品 (あるいは安全在庫) の予測
- ・内示の導入
- ・デカップリング在庫の設定
- ・生産座席予約システム (見込みと受注の生産量設定)

(1)については、理論的な研究が数多く行われており、文献[12]に各方式の特徴が説明されている。なお、TOCを除くいずれの方式も、受注による下流工程の在庫の消費量に連動して上流工程の在庫を制御するプル型方式である。一方、TOCはプッシュ型方式の在庫管理を利用して、作業時間や部品供給の変動をボトルネック工程の仕掛かりで吸収する方法を指す。

文献[13]では、複数のモジュールから構成される製品に注目し、受注品からモジュール (中間製品) の在庫を引当てする問題を取り扱い、モジュールの在庫制御

と受注品の納期見積もりと作業順序の決定にスケジューリングを利用した方法を提案している。この文献ではスケジューリング、在庫制御、そして納期設定を同時に処理しておりAPSの取り扱いが必要とされる問題である。

(2)は、タイムバケット当たりの受注に割り当てる能力の分配量を決定する方法を指す。とくに、生産座席予約システムは引当て処理を実現する情報システムで、既に現実場で導入され、効果が報告されている[6, 14]。

生産座席予約システムでは、タイムバケットごとの生産能力を見込み品と受注品の生産予定数量に分配し、それぞれ見込み枠と受注枠として設定する。受注発生ごとに受注枠の生産予定数量を調べながら、投入予定の資材に引当てていく。この問題の学術的な研究も近年行われており、これまでに受注変動に対する座席枠割合の効果検証[15, 16]やカンバンを利用した制御の提案[17] (直接には生産座席として扱っていないが、見込みの生産量を制御している点で生産座席相当の操作を行っている) などが行われている。文献[15, 16]では、生産座席予約システムを利用して製品の投入量を制御しており、受注引当てによる品種の変更と再スケジューリングを考慮している。

文献[18]では、生産座席枠の概念を利用し、中間製品の引当て処理を実現する座席枠 (仕掛かり在庫に相当する) の制御が提案されている。この方法では節4.2で示したデータ構造を利用し、生産座席枠の制御によってタイムバケットごとの見込み品の生産量を平準化させ、中間製品の引当て処理によるリードタイムの削減を行っている。

4.4 引当て処理の問題点

これまでの議論から引当て処理を行うための問題点として以下の内容が考えられる。

(1) 見込み量と受注量の配分

スケジューリングにおいて、タイムバケット (例えば、1日) 当たりの引当て対象の受注量の予測値が必要である。中間製品を引当てする条件設定は困難である。仕様の決まっていない部品やモジュールをデカップリング在庫に利用する場合でも、受注の実績に連動させて見込み量と受注量の配分を変化させる必要がある。

(2) デカップリングポイントの設定

通常の製品の製造過程においては、下流工程ほど受注から納品までのリードタイムは短い。引当て対象となる製品種が限定される。すなわち、下流工程に位

置する中間製品にデカップリングポイントを設定することは未引当てのまま完成品在庫となる可能性が高い。これより、通過工程方向のリスクを考慮した引当て対象の在庫量の設定が必要である。

(3) 引当てされなかった製品の取り扱い

受注に引当てられなかった見込み品はそのまま、もしくは過去の需要状況から別の製品に変更、生産されて市場に出されるが、受注が生じるまで完成品在庫となる。このため、受注に引当てられなかった完成製品を抑えることが必要であり、中間製品として保持する判断が必要とされる。

(4) 引当て対象製品の優先順序

受注が発生した場合、引当て対象とする中間製品は同一種の製品であるもの、完成に近いものから引当ての対象となる。当然、受注済みの製品の納期と完了予定時刻を調べたうえで、既に受注された製品を交換する場合もありうる。

(5) 情報の変換

受注を見込み品へ引当てする場合、該当する見込み品の数量が不足し、複数の見込み品を一つの受注に引当てすることも生じる。逆に、一つの見込み製品が分割され、複数の受注に引当てする場合も生じる。このように、見込み製品に関するジョブ情報を変更するだけでなく、一つのジョブを分割、結合するなどの処理を含むため、ジョブのシーケンスに沿って、計画と実績の情報を調べ、データの変更を即時に行うデータ構造の設計が必要である。

(6) 納期設定と納期回答

納期回答および納期設定はAPSの特徴であり、引当て後に情報が変更されたジョブや新規ジョブの納期設定の見積もりが後の受注の納期きつさに影響する。多くのAPSでは納期の設定は再スケジュールの結果からの完了時刻を利用しているが、特急ジョブの発生やジョブの仕様条件の変更を考慮して余裕時間（納期バッファ）を含んだ納期の設定が必要となる。このため、経験的な乗数を利用する方法や過去のデータに基づく統計的な扱いなどが必要である。さらに、納期の条件を変更し、スケジューリングを繰り返して実行するためには短時間で質の高い結果を得るための方法の利用あるいは開発が必要である。なお、文献[19]では納期設定に利用する余裕時間の大きさと計画対象のジョブのシーケンスの複雑さ（ジョブショップ度）の関係を数値実験によって調べている。

5. まとめ

本論文では、見込み・受注の混合生産環境における“引当て”処理の視点からAPSで利用される機能の特徴や問題点、事例などを示し、導入の目的や適用される生産環境、および、実施に必要な機能からAPSの適用法や特徴を具体的に示した。とくに、引当て処理はスケジューリングと在庫管理（制御）の機能の統合が必要であり、従来では分離されていた計画系と運用系間の“生産運用の流れ”を統合し、操作を行うことがAPSの特徴であることを述べた。見込み・受注の混合生産はリードタイム短縮の目的から効果を期待できるが、リードタイム短縮と在庫削減の間にトレードオフの関係があるため、今後、注目すべき研究課題になると思われる。

APSの定義は明確ではなく、現在の“APS”の語はプロダクトの機能拡張が先行して広まっていった。これは現場からの新しい問題を具体的に機能化し、システムに導入することでAPSが適用範囲や生産方式に対して常に進化し続けたことによる。今後も新しい問題解決方法を機能化しながら、APSが発展することが期待される。その一方で、運用方法に着目し、APSの機能を活かす新しい生産方式の提案こそが現在の国内の製造業に必要とされていると思われる。

参考文献

- [1] 同期ERP研究所(編):「ERP入門」, 工業調査会, 1997.
- [2] A. David (訳: 中野一夫):「なぜAPSか? Advanced Planning and Scheduling についての白書」, 構造計画研究所, 1998.
- [3] 黒田充, 荒川雅裕:「APSに関する基礎調査—調査の目的・方法と回答から得たAPSの定義・利用状況—」, 2001年度日本オペレーションズリサーチ学会秋季研究発表会, 1-G-3, 2001.
- [4] 荒川雅裕, 黒田充:「APSに関する基礎調査—システムの機能面から見たAPSの概要と今後の調査課題—」, 2001年度日本オペレーションズリサーチ学会秋季研究発表会, 1-G-4, 2001.
- [5] 中野一夫:「リアルタイム型APSの仕組みと事例紹介」, 研究グループG2 APSの調査と研究報告書, 99-112, 2003.
- [6] 阿久津正:「電算機における生産座席予約システム」, 経営システム, 日本経営工学会, 4, 1, 14-19, 1994.
- [7] 門田安弘:「新トヨタシステム」, 講談社, 196-220,

- 1994.
- [8] 藤本隆宏:「生産マネジメント入門 I」, 日本経済新聞社, 170-195, 2001.
- [9] 田中一成:「図解 生産管理」, 日本実業出版社, 44-45, 1999.
- [10] イーマニュファクチャリング: <http://www.e-manufacturing.co.jp>
- [11] PSLX コンソーシアム:「APSのためのオブジェクトモデリング」, 2002.
- [12] 大野勝久:「生産ラインの最適制御」, オペレーションズ・リサーチ, 4, 237-242, 2002.
- [13] M. Kuroda and H. Miura: “Strategic inventory holding in order to estimate earlier due dates in make-to-order production”, Proceedings of Group Technology/ Cellular manufacturing World Symposium 2003, 203-207, 2003.
- [14] 田村隆義, 藤田精一:「生産座席システムについての一考察」, 経営システム, 日本経営工学会, 4, 15-13, 1994.
- [15] 小林義和, 坪根斉:「多段階製造工程における生産座席システムの設計に関する研究」, 日本経営工学会論文誌, 日本経営工学会, 53, 4, 274-281, 2002.
- [16] 石川裕, 坪根斉:「製品設計の違いが製造のパフォーマンスに与える影響 見込・注文複合生産システムの設計に関する研究」, 日本経営工学会論文誌, 日本経営工学会, 52, 3, 181-188, 2001.
- [17] 石垣綾, 平川保博:「見込リスクを考慮した多段階生産システムにおける需要適応型かんばん制御方式の設計」, 日本経営工学会論文誌, 日本経営工学会, 54, 2, 114-123, 2003.
- [18] 荒川雅裕:「見込み・受注生産環境における生産スケジューリングシステムの構築」, 研究グループG2 APSの調査と研究報告書, 58-65, 2003.
- [19] M. Kuroda, H. Shin and A. Zinnohara: “Robust scheduling in an advanced planning and scheduling environment”, International Journal of Production Research, 40, 15, 3655-3668, 2002.