

# APS の論理構造—MRP からの離脱—

黒田 充

本稿では、APS 誕生の必然性を米国の生産管理の体制といえる MRP が抱える構造的問題を明らかにすることによって示す。さらに、APS は、OPT・TOC、生産座席予約システム、製番管理方式などの MRP と対立しながら並存してきた概念や方法を集約し、発展させたものであり、それが多品種少量生産、受注生産の要求を実現するうえで不可欠な論理構造を保有していることを述べる。

キーワード：APS, MRP, 多品種少量生産, 受注生産, 動的スケジューリング, 動的ペギング, 論理構造

## 1. はじめに

APS (Advanced Planning and Scheduling) がわが国に紹介されて以来 5 年以上の年月が経過し、その間 APS に関する様々な研究が展開されるとともに、外来パッケージの日本企業への導入や国産 APS パッケージの開発と普及が進み、APS の研究と実践に関してわが国はいまや世界の先端を行くまでに至っている。APS が学界で関心を呼んでいる理由は、すでに機会があるたびに述べてきたとおりその論理性と革新性にある。一方、しばしば比較の対象になる MRP は、生産管理パッケージとして長い期間にわたって利用されてきた実績を有しており、問題点を内包しているものの、今後も一部の製造業で利用され続けていくことが予測される。APS はしばしば MRP と比較され、その出現の必然性が対比を通して示されるという関係が両者間に見られる。

本稿においても APS が持つべき特質を MRP の構造的な問題点を照射することによって明らかにし、APS 固有の論理構造はいかなるものであるかを示したい。APS を理解するには MRP の知識が不可欠であるが、ここでは字数の制限があり、その説明は断片的なものになることを許していただきたい。幸い、MRP については多くの文献があるので、必要と考える読者はそれらを参照してほしい。

## 2. MRP の特徴とその問題点

### 2.1 MRP の基本演算

MRP (Material Requirements Planning) は、1950 年代にすでにジェネラル・エレクトロニック社で用いられていたという [1]。その名称が示すとおり、元来の機能は生産計画を実現するために必要な資材の時期と量を計算することにある。必要量の計算は複雑なものではない。製品の部品構成を示す BOM (Bill of Material) を用いて、製品の所与の必要量を各部品の在庫量を考慮しながら BOM の各レベルに属する部品について順次展開していけばよい。BOM の製品レベルを 0 次、次のレベルを 1 次、さらに 2 次、3 次という順に展開し、0 次レベルに示された製品の要求量に基づいて 1 次レベルの部品の要求量を、それに基づいてさらに 2 次部品の要求量を次々と求める計算を行う。これは“レベルバイレベル”の計算と呼ばれており、MRP の特徴となっている。いくつかの製品間の類似性が高く、製品間で共通部品がある場合、各製品の要求量に基づいて部品の必要量を計算せずに、製品群を対象にレベルバイレベルの計算を行うことによって共通部品の必要量が求められる。

各部品の必要時期を考慮して必要量を計算するためには、独特の方法が用いられる。それは“タイムフェイジング”と呼ばれるもので、各レベルでの生産計画に用いる時間軸を“バケット”と呼ばれる同一の長さからなる小期間に分割し、それらに期間 30, 期間 31, 期間 32, …のような通し番号を付けて識別し、生産計画の作成に利用する。バケットは、通常、1 週間、1 日のような管理しやすい長さが用いられる。そのため、MRP 計算のトリガになる 0 次レベルにおける

くろだ みつる  
青山学院大学 理工学部経営システム工学科  
〒229-8558 相模原市淵野辺 5-10-1

各製品の要求量もバケット当たりの要求量として与えられ、それを時間軸に沿って示したものを基準生産計画 (MPS: Master Production Schedule) と呼ぶ。

レベルバイレベルの計算を実行する場合、生産期間や調達期間であるリードタイムを考慮して下位のレベルの要求時期が決定される。例えば、0次レベルにおける製品 X の期間 30 の要求量が 200 であり、1次レベルにおける部品 A の要求量が 400 と計算されたとして、またリードタイムとして 2 バケットの長さが与えられているならば、部品 A の要求量 400 は期間 28 に対して指定される。またその際にロットまとめと呼ばれる処置が行われる。例えば、他の製品の要求量の計算結果として部品 A の期間 27 における要求量が 300 であったとする。部品 A の要求量としてそれらが大きなものでないならば、要求量 400 と要求量 300 はまとめられて要求量 700 が期間 27 に対して指定される。

部品の種類が膨大な数にのぼる大規模な MRP 演算をメインフレームによって実行する場合、このレベルバイレベルとタイムフェイジングは計算効率を保証する大変優れた方法であったことが想像される。時期によってタイムバケットの長さを変えることはあるとしても [2]、同一時期にレベル間でタイムバケットの長さを変えることを認めるならば、その演算は複雑で効率の悪いものになったに違いない。

## 2.2 ウォータホール型演算

レベルバイレベルの計算の結果求められた各レベルの要求量は、自工場や外注先の工場の生産要求量を示すものであるため、それらの部品を作る工場 (その工場にとっては製品になる) にとっては、各小期間中の作業負荷はそれらの要求量に基づいて一方的に決まる。というのは、0次レベルの生産要求量が工場の生産能力や余力と無関係に決定されるからである。その結果、工場において過剰な負荷を処理する必要が生じるか、設備や人員の遊休が発生するという事態が往々にして生じる。これは、MRP の基本演算がフィードバック機能のないウォータホール型であることから生じており、その後 MRP に閉ループが取り込まれ、基準生産計画 (MPS) を作業負荷の大きさに応じて修正する機能が付け加えられた。図 1 は MRP と ERP の中間段階のパッケージとして知られる MRP II の処理手順を示したものであり [3]、二つの閉ループが見出される。

一つの閉ループは生産計画から作られた仮の MPS

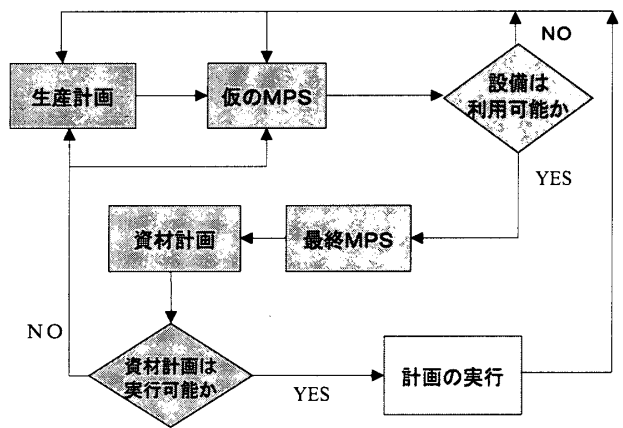


図 1 MRP IIに見られる二つの閉ループ

に基づき簡略化された方法で設備の負荷計画を作成し、その結果として不都合があるならば MPS を修正するというものであり、特に問題がなければ仮の MPS を最終 MPS として前述の基本演算に従って資材の所要量計算を行う。この一つ目の閉ループの計算においてはロットまとめが行われず、ロットまとめを行っている工場にとって精度が粗くなるため、ラフカット能力計画と呼ばれる。二つ目の閉ループは通常の MRP の演算を行った後、設備の負荷計画を実行し、不都合があれば仮の MPS 立案の段階にフィードバックするというものであり、計算が収束する保証はなく、計算時間をやたらに消費する可能性がある。

## 2.3 MRP システムの過敏症

MRP システムの入力データである基準生産計画、BOM、在庫量、リードタイムが与えられた後、立案された計画が実行されるまでの間、それらが変わらないという保証はない。特に、基準生産計画は需要予測と確定需要の双方に基づいて作成されており、近年における市場変動の加速化によって、要求量と要求時期の変更は当然のように発生する。

もともと、期毎に入力データを更新して MRP の処理を行うことはリジェネレーションと呼ばれ、MRP に欠かせない手法として知られている。ところが、期毎だけでなく (多くの場合バケットタイムは週) 期の半ばでリジェネレーションを行う必要が生じるようになり、そのつど膨大な量の印刷物を出力することを抑え、米国では MRP に More Reams of Paper というあだ名がついたという。その後、入力データの変更に対応する手段として、ネットチェンジという技術が考案された。これはネットチェンジを基準生産計画の一部に限定するとともに、その影響が及ぶ範囲を下位のいくつかのレベルに限って展開演算をするという

ものである[2].

しかしながら、変更の結果として製造や購買の現場では手配の内容が変更されるため、混乱が生じる。これはMRPの過敏症 (schedule nervousness) と呼ばれ、変更指示の数でその程度を表すことが行われ、変更回数を減らすうえで有効であるという。過敏症に対する論理的な対応策を述べた文献[4]によれば、効果的な対策としては、基準生産計画における現在の期に近い数期間あるいはいくつかのオーダーについて変更を禁止する凍結 (freezing) 以外にないということである。これは、従業員や直接の取引先というステークホルダーを重視した結論であって、市場や顧客を重視するならばそのような答えで満足できるはずはない。

## 2.4 MRPの変節

最近のMRPに関する教科書を開くと、ペギングという用語が見出される。これは展開して求めた各部品の総要求量を親部品のそれぞれに対してどれだけの量が必要であるかについてリストの形式によって示すことをいう。一つ上のレベルの親部品に対してそれを行うことをシングルレベル・ペギング、基準生産計画に示された最終品目を含むすべての親部品に対して行うことをフル・ペギングという[2]。これを行うにはBOMに示された製品構成をトレースして親部品を確認するものであるから、それなりの計算が必要とされる。

MRPが考案される前から存在した製造番号管理方式 (通常、製番管理方式と呼ばれる) は、特定のオーダーに関して部品が展開され、各部品がオーダーごとに定められた共通の製造番号を保有しているため、製造されたそれぞれの部品は常に親部品に引き当てられているといえる。ところが、注文がキャンセルされたり、設計変更があったりすると、製造された部品は該当する親部品がなくなり、他のオーダーに利用できても製造番号が異なるがゆえに、親部品を探すことが容易ではなかった。MRP誕生の背景にはこのような不合理をなくすることにあったが、製番管理方式は展開する段階でBOMは必要であっても、展開され、製造された部品が製造番号を持っている限り、部品は親部品や最終製品に引き当てられており、改めて引き当てをする必要はない。言うまでもないが、引き当てはペギングと同じ意味を持った用語である。

MRPはもともと見込生産を背景として発展してきた生産管理の概念であり、ペギングを特に取り上げてMRPの機能として考える必要性は本来なかったはず

である。しかし、近年、受注生産化が一般化し、MRPの役割に変化が生じたために、ペギング機能が重視されるようになったといえる。それは、納期見積りが必要になったからであり、かつてはどの製品がどの期にどれだけできるかという情報さえあれば、顧客に製品をいつ出荷できるかを回答できた。これは、最終品目に対する顧客オーダーのペギングを意味する。現在では、BOMの中間レベルにある部品、一般に組立品やコンポネントと呼ばれる部品の在庫状況や生産予定が納期見積りを行ううえで欠かせなくなってきており、MRPはその発展の背景とは異なる受注生産への対応を迫られており、MRPの構造的な無理がペギングという機能一つを取り上げても顕在化してきたといえる。

## 3. APSの概念構成

### 3.1 APSの出現を促した諸概念

#### (1) OPT・TOC

TOCの提唱者として知られるゴールドラットは、米国における生産管理の体制といってもよいMRPに対して、1990年出版の自著の中で次のような批判をしている[5]。MRPは生産現場の資材のフローを扱うスケジューリングと切り離されたものであって、基準生産計画に従って資材の所要量をただ計算するだけの巨大なデータベースとなっている。この批判はスケジューリング・パッケージOPTの開発とその導入にかかわった長年の体験から生まれたものであり、生産現場のオペレーションを無視したMRPの特質を取り上げたものである。

さらに、MRPの機能をそのようなシステムに限定せざるを得なくした理由として、BOMの構造的問題があることを指摘している。つまり、BOMは製品と部品の関係を表したものであって、スケジューリングを取り扱うために必要な加工手順、加工時間などの生産情報であるところのラウティング (routing) とBOMとの間で効率的なデータのやり取りが望めないことを指摘している。図2はBOMと生産情報の二つのデータベースを接続することが、いかに非効率的であるかについてMRPが発展した時代のデータベースの管理技術を前提にして表したものである。図は文献[5]に掲載されたものに少し手を加えたものであるが、左のBOMは部品aが製品XとYの共通部品であり、MRPの部品展開をする過程で別のデータベースであるラウティング (生産情報) からスケジューリングに

必要なデータを読み取ることがいかに大変であることを示している。部品の生産情報は辞書式に配列されているという意味であろう。実際のところ、MRPはこのようなデータ構造問題を何十年間も放置してきたため、スケジューリングを同時に考慮することができず、資材の手配をしてからスケジューリングを行うという論理構造に固執せざるを得なくなった。

### (2) 生産座席予約システム

1980年代の終わり近くになって、わが国の産業界で生産座席予約システムという生産管理方式が知られるようになった。当時は、CIMが製造業において広く受け入れられ、特に製販統合型CIMが関心を集め、製造部門と販売部門の協調という観点から新しい生産管理概念が誕生した。現在でも根強く残っている受注活動における販売部門主導の慣行が製造部門の非効率を招いているという認識から、製造部門の負荷状況に基づいて顧客の納期を定める一方、受注条件である納期を遵守するという理念を掲げたシステム化の先鞭がつけられた。情報技術の進歩がそれを可能にしたとはいえ、革新的な生産管理概念の誕生として認識されなくてはならない。現在注目されているスケジューリングベースの納期見積りではないが、それまでは見られなかった高い精度の予約が設備や人員に対して顧客オーダーごとに行われるとともに、製造・販売両部門の関係を改善する試みが企てられ、実際に効果が認められたと報告されている[6, 7]。

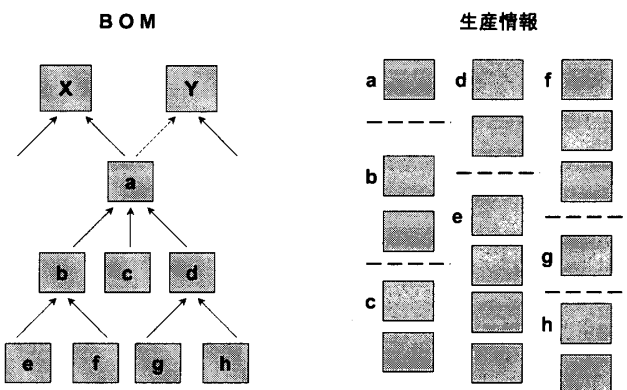


図2 BOMと生産情報の分離

### (3) 製番管理方式

MRPの本場の米国では、1970年代にはMRPが生産管理の標準的なシステムとなった。一方、日本では前述した製番管理方式が受注生産をしている中規模企業で依然として活発に利用されていた。その理由は製品や中間製品のロットサイズが大きくなり、MRPのように顧客オーダーと中間製品を切り離すことが無意味であったからに他ならない。表1は資材の手配方式としてのMRPと製番管理方式を比較したものである。

またトヨタ生産方式の影響もあって、顧客オーダーの異なるロットをまとめて作るという考え方が受け入れ難かったという背景もあろう。つまり、多品種少量生産という現代の生産の一般の形態を、わが国の多くの企業が米国に先駆けて取り組んでいたということがいえよう。

### 3.2 APSの論理構造

MRPが旧時代の構造をそのままにして新時代の要求に対応するという矛盾を抱える一方、APSは新時代の要求を満たすべく過去にとらわれず白紙の状態設計されたため、必然的に論理的であり、当然革新的なものとなった。要求は階層的であり、上位の要求は、下位の要求を生み出すという関係があり、概念としてのAPSとはそれらの要求への対応を具体的に示したものであり、そこには整然とした論理構造が見出される。次に、要求事項を階層的に示す。

- (a) APSは受注生産・多品種少量生産への対応を指向する生産管理概念である。このために市場の変化へのスピーディな対応と最大限の合理性が重視される。
- (b-1) 納期見積りはAPS演算のトリガとなるもので、納期回答は正確かつ迅速に行われる必要がある。
- (b-2) 納期見積りは合理的に行われねばならず、納期・生産量・価格などの受注条件は顧客と製造業者双方が納得するものでなくてはならない。
- (b-3) 受注に当たって製造業者はその条件を厳守す

表1 資材手配の方式と生産形態の関係

生産形態	MRP	製番管理方式
個別生産	不適	適
ロット生産(小ロット)	利用可能	適
ロット生産(中ロット)	適	不適
連続生産	適	不適

- ることが要求される。
- (b-4) 受注後における受注条件の変更は顧客と製造業者双方が納得するものでなくてはならず、変更によって損失が生じればその補償を変更側は求められる。
  - (c-1) 納期見積りの精度を高め、納期厳守を履行するためには生産資源の使用計画と資材の調達計画を同期して行う必要がある。生産資源の使用計画は生産スケジューリングと、資材の調達計画は資材引き当て（ペギング）と同義語である。
  - (c-2) 生産スケジュールは受注が次々と生じることを前提としたものであり、また効率性が求められているため、動的なものであることが必要であり、特に納期への影響が抑制されるという意味での頑健性が求められる。
  - (c-3) ペギングは資材の効果的な利用を前提としたものであるから、動的ペギングが望まれる。納期・生産量などの注文条件の変更に、随時対応できなくてはならない。
  - (c-4) 受注生産環境においても、短納期を実現するために標準的資材（モジュール）に対しては見込みに基づく購買や生産の指示が必要である。この意味で、生産スケジューリング、資材の引き当て、資材の在庫管理は密接に関連した一つの管理活動でなくてはならない。
  - (d-1) 生産資源の使用計画と資材の調達計画を同期して実行するには高速の処理が望まれる。そのためには、BOMと生産情報を直結したデータ構造を持つデータベースの構築が欠かせ

ない。そのような新構造のデータベースを従来のBOMと区別してX-BOM（例えば、M-BOM: Manufacturing-BOM）と呼ぶことが多い。

- (d-2) 上記の生産資源の使用計画と資材の調達計画は常に現実を反映するように行われる必要がある。そのために、次々と発生する受注に対応して追加とそれに伴う変更が行われるとともに、生産や調達の進捗状況を取り込んだ計画の補正が定期的実施される必要がある。また情報はすべての部門からweb上でアクセス可能であり、各部門の利用に供することができるものでなければならない。
- (d-3) 顧客からの引き合いに応じて、営業部門で納期回答が即座に行えるためには、最新の生産資源の利用計画と資材の調達計画を示すモデルが提供され、それを利用した納期見積りのシミュレーションが即座に実施され、顧客に回答できる環境の整備が必要である。このような情報共有は製造部門と営業部門の、また製造業者と顧客の協調関係を形成するうえで大きな意味を持つものである。
- (d-4) 発注先である資材供給業者と製造業者との間においても同様の納期見積りが可能となり、両者間で協調関係が形成できるならば、資材供給業者→製造業者→顧客間でのAPSを通した情報共有が可能となり、その結果として膨大な無駄が排除され、全体最適の観点に立った企業間連携が実現できる。

以上の論理構造は、反復的な受注生産を前提とした

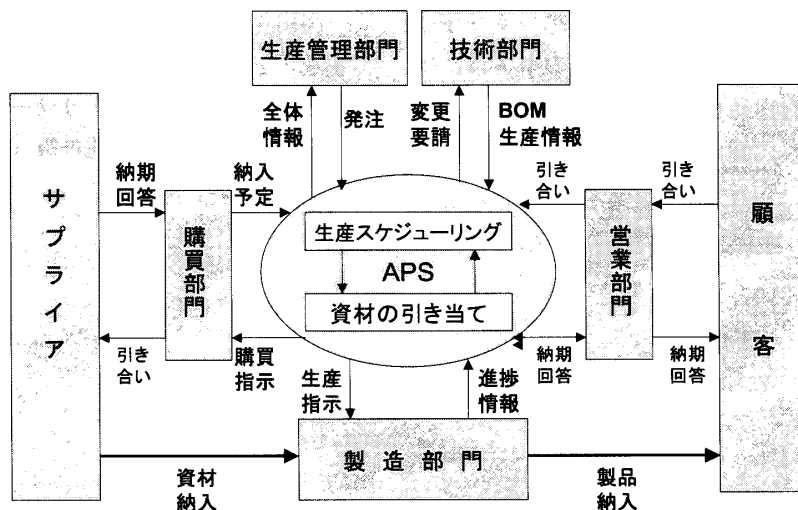


図3 APSの概念

ものであるが、注文に応じて設計が必要な完全受注生産 (engineer-to-order production) 場合は、顧客からの引き合いに応じて設計・製造に関する情報が技術部門から提供され、それらに基づいて納期見積りが行われる。納期回答の時間は製品の複雑性や非反復性の程度によって異なる。納期回答に長時間を要しない限り、この種の生産状況に対しても APS の適用は可能であり、概念の整理が進められている [10]。図 3 は、現在 APS の利用が広がっている反復的な受注生産を対象として描いた概念図である。

#### 4. おわりに

前述した通り、APS は多品種少量生産・受注生産に適合した生産管理の概念である。それはこれまでに必要と考えられてきた様々な方法を取り込んだ理想の生産管理の姿を描いたものに他ならない。このような概念のパッケージ化が実現した背景として、コンピュータの革新、つまりメインフレームからクライアント/サーバ・システムへの移行があげられる。言うまでもなく情報技術の進歩は MRP にも多大の影響を及ぼしており、MRP の処理速度は飛躍的に改善され、それに伴う能力の向上と機能の拡充が見られる。そのためか、APS との違いが分かりにくいという意見を耳にする。本稿の読者には、両者の違いは論理構造にあり、MRP に見られる従来の構造に根本的な変化がない限り、MRP は前述した APS の機能を持ち得ないことを理解していただけたと思う。

最後に MRP と APS の棲み分けについて述べておく。MRP は資材の調達計画を、生産資源の利用計画といったん切り離して行うところに特徴がある。それゆえ、大規模な資材の調達計画を高速で実行するのに適している。その一方、生産資源の利用計画つまり中間製品や製品の製造面で問題が生じる。この事実は、生産能力の調整が比較的容易な生産状況に MRP が向いていることを示唆する。例えば、自社では加工作業を行わず、主に人手によって組立作業を行っている BTO (Build to Order) 生産があげられる。膨大な種

類の部品の必要量と、おおよその必要時期の計算に MRP は有効である。この場合、組立作業は人手によるため、精度の高い設備の利用計画立案は重要でなく、その時期の需要に応じて生産能力の調整ができるならば、部品の調達が保証されるならば、生産の実施に支障はないことが多い。逆に、製品構成がさほど複雑でない製品に用いる部品の加工と製品の組立てを行っている製造業を中心に APS ユーザの増加が予想される。

#### 参考文献

- [1] レイトン・スミス, 小島義輝, 森正勝: 「MRP の理論と実際」, 日本能率協会, 1977.
- [2] K. Sheikh: *Manufacturing Resource Planning (MRP II)*, McGraw-Hill, 2003.
- [3] V. Shridfaran and R. L. LaForge: “Resource Management: MRP to MRP II and ERP”, *Encyclopedia of Production and Manufacturing Management*, Kluwer Academic Publishers, pp. 641-645, 2000.
- [4] R. L. LaForge, S. N. Kadipasaoglu and V. Shridfaran: “Schedule Stability”, *Encyclopedia of Production and Manufacturing Management*, Kluwer Academic Publishers, pp. 665-668, 2000.
- [5] E. M. Goldratt: *The Haystack Syndrome—Shifting Information out of the Data Ocean*, North River Press, Inc., pp. 103-262, 1990.
- [6] 久我建夫: “個別受注生産に於ける生産管理システム—豊田工機座席指定システムによる負荷の平準化”, 経営システム, Vol. 4, No. 1, pp. 20-24, 1994.
- [7] 阿久澤正: “電算機生産における生産座席予約システム”, 経営システム, Vol. 4, No. 1, pp. 14-19, 1994.
- [8] 黒田充: “MRP から APS へ—生産管理の進化と生産スケジューリングの新しい役割—”, 生産スケジューリング・シンポジウム 2002 論文集, pp. 2-13, 2002.
- [9] 黒田充: “MRP から APS へ—新しい生産管理概念の形成とその論理構造について—”, 「APS の調査と研究」, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, pp. 2-20, 2003.
- [10] PSLX 技術仕様書勧告版 (Version 1.0): PSLX コンソーシアム, 2003.