

第11回：納期と工程管理

1. 納期の概念(納期、生産量、製品在庫、受注残)
2. 工程管理の概念と内容
3. 日程計画
4. 材料所要量計画(MRP)
5. 工数計画と能力・負荷分析(CRPとMRPII)
6. 生産指示

東京大学経済学部

藤本隆宏

製品競争力の主要要素



1. 納期の概念(納期、生産量、製品在庫、受注残)

納期(delivery)

= 納入期日(手に入る時点) または

= 納入期間(注文してから手に入るまでの期間)

納期の目標は、お客がどれだけ待ってくれるかによって決まる。

製品によって異なる。

納期(＝納入期間)に何が含まれるか？

・・・生産のタイプによる。

(1) 見込み生産 (stock production)

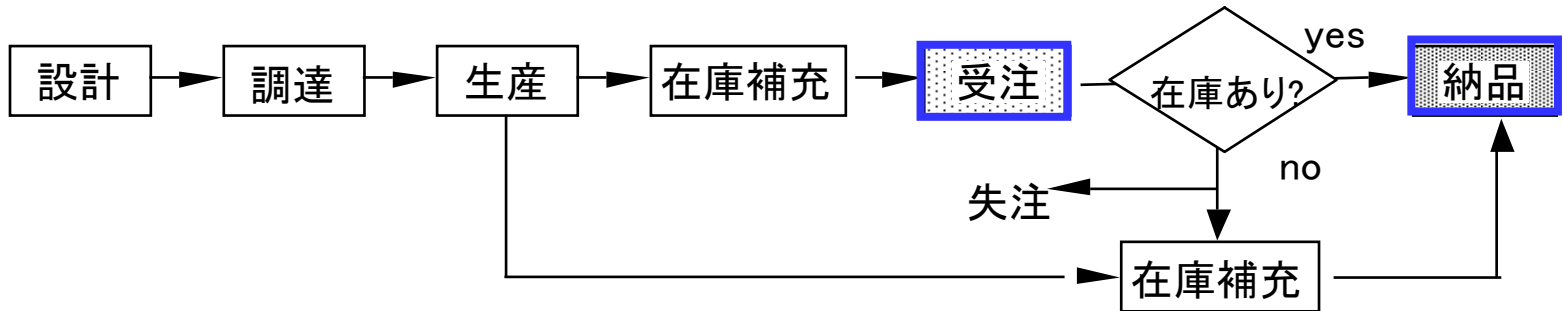
(2) 注文生産 (order production)

(2a) 規格品注文生産 (見込み設計、注文生産)

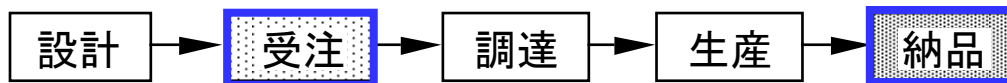
(2b) 特注生産 (注文設計、注文生産)

見込み生産と受注生産

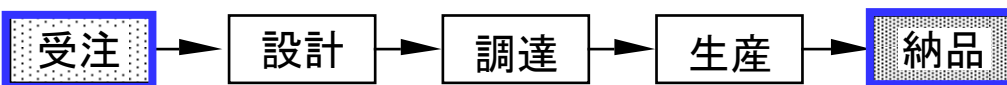
(1) 見込み生産



(2) 規格品受注生産



(3) 特注生産



納期・生産量・製品在庫・受注残

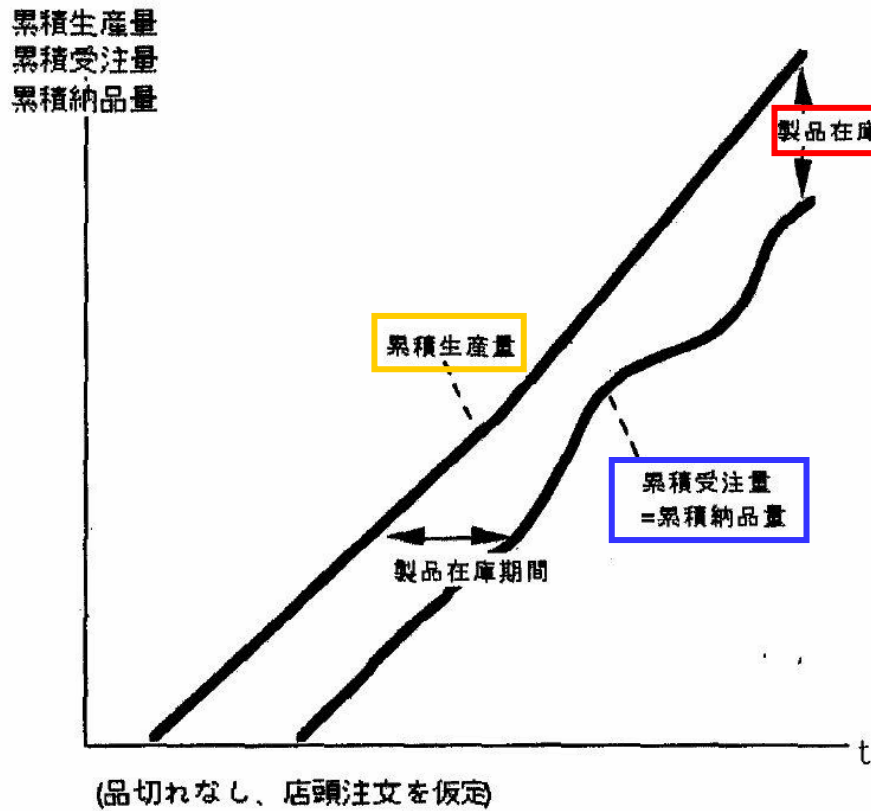
納期と生産量は、製品在庫と受注残を通じてつながっている。

流動数曲線(累積カーブ)で分析する。

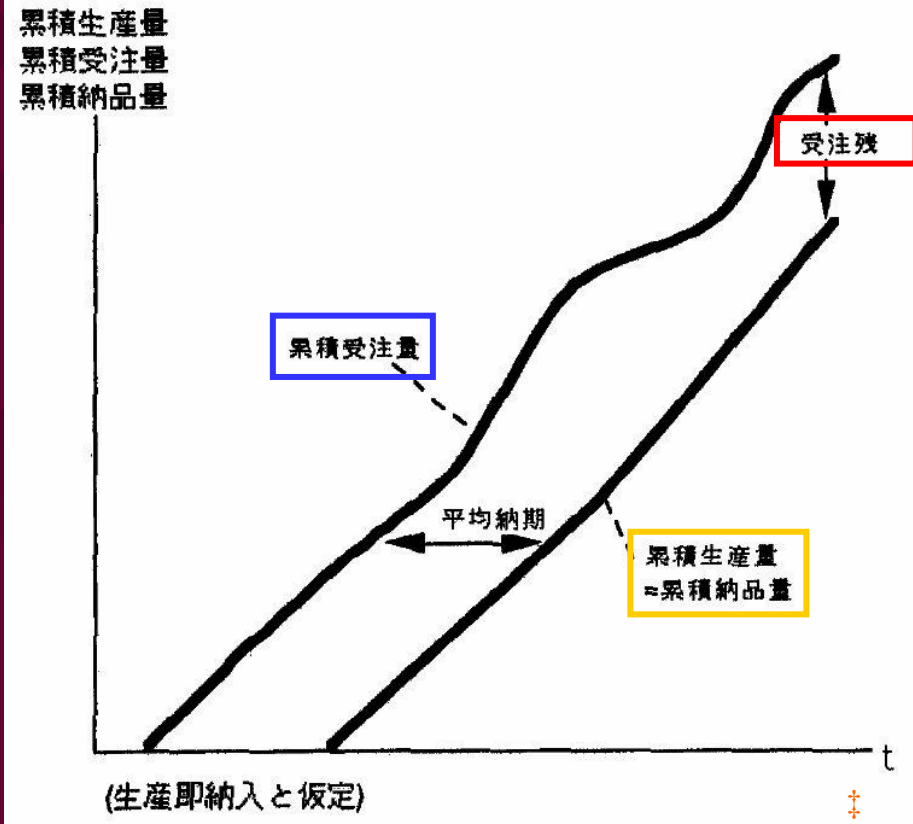
- (1) 見込み生産の場合(在庫を持つ)
- (2) 注文生産の場合(受注残を持つ)

納期、生産量、在庫の関係(流動数曲線)

(1) 見込生産



(2) 注文生産 (Order Production)

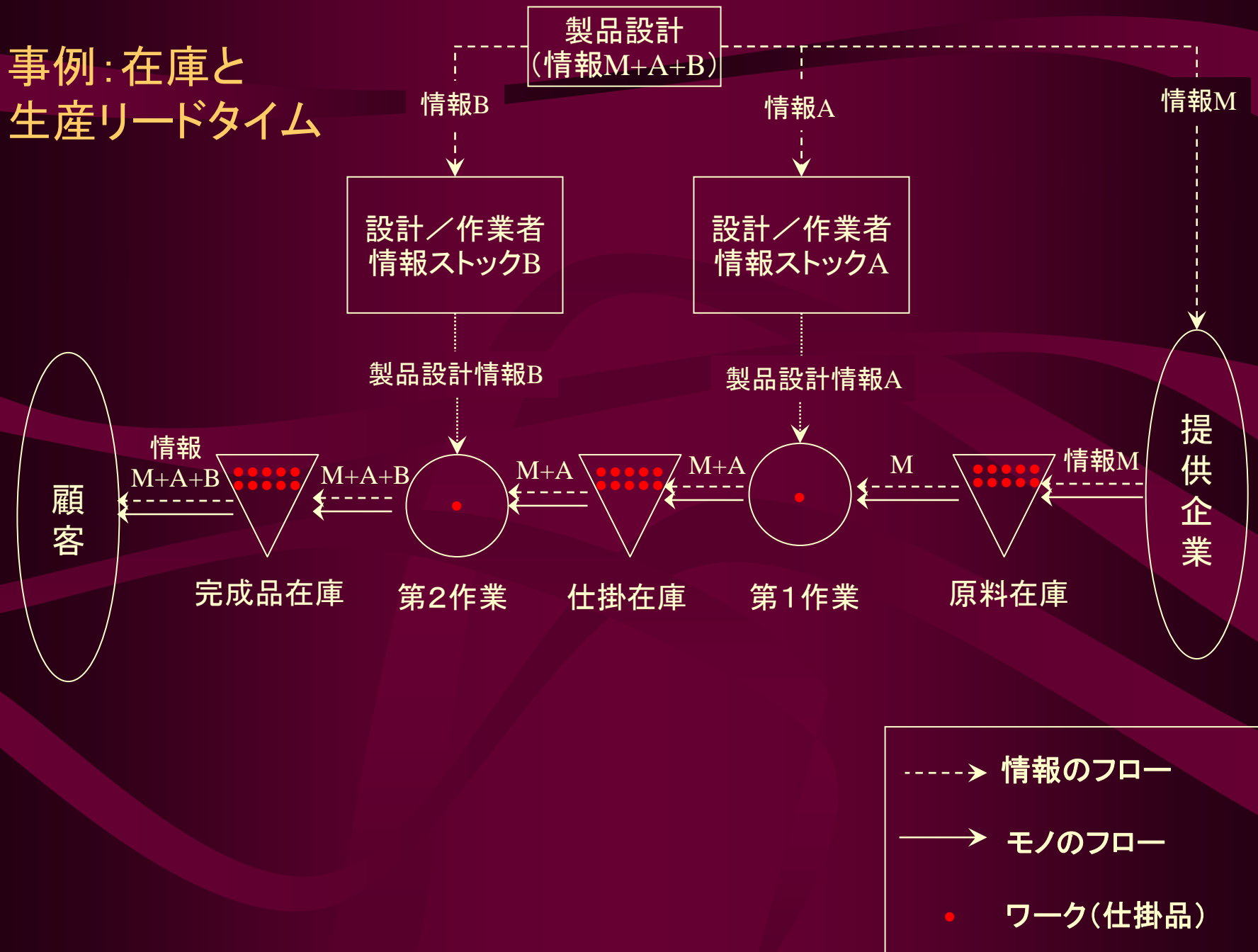


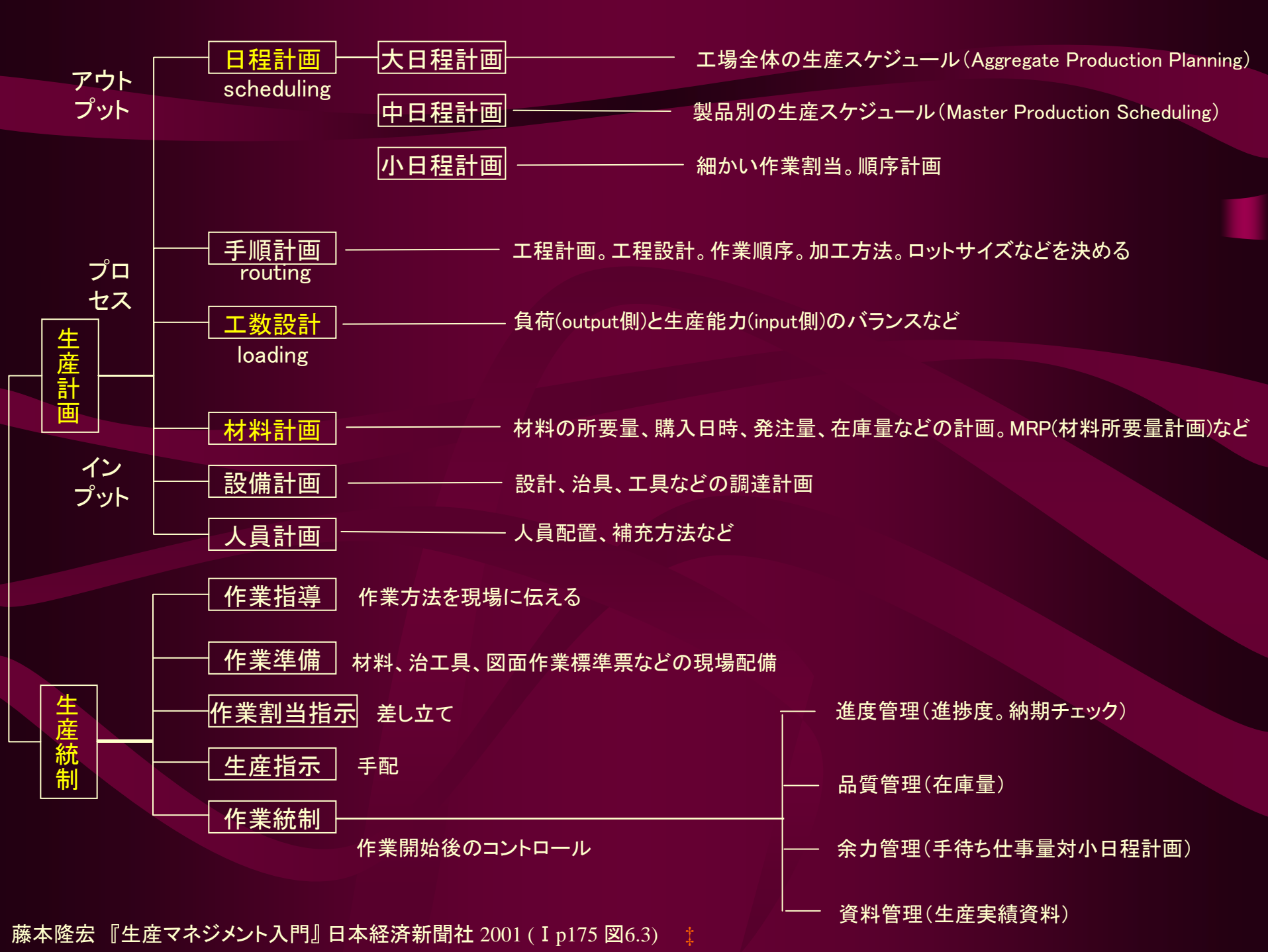
2. 工程管理の概念と内容

工程管理：納期と数量の面から生産活動を計画・統制すること。
(「納期管理」とは言わない)

- (1) 注文生産： 生産期間の短縮がポイント。
製品在庫は問題にならない。
- (2) 見込み生産： 需要予測と在庫管理がポイント。
生産期間の影響は間接的(予測精度)

事例：在庫と 生産リードタイム





アウト
プット

日程計画
scheduling

大日程計画

工場全体の生産スケジュール(Aggregate Production Planning)

中日程計画

製品別の生産スケジュール(Master Production Scheduling)

小日程計画

細かい作業割当。順序計画

プロ
セス

手順計画
routing

工程計画。工程設計。作業順序。加工方法。ロットサイズなどを決める

工数設計
loading

負荷(output側)と生産能力(input側)のバランスなど

材料計画

材料の所要量、購入日時、発注量、在庫量などの計画。MRP(材料所要量計画)など

設備計画

設計、治具、工具などの調達計画

人員計画

人員配置、補充方法など

イン
プット

作業指導

作業方法を現場に伝える

作業準備

材料、治工具、図面作業標準票などの現場配備

作業割当指示

差し立て

生産指示

手配

作業統制

作業開始後のコントロール

進度管理(進捗度。納期チェック)

品質管理(在庫量)

余力管理(手待ち仕事量対小日程計画)

資料管理(生産実績資料)

生産
計画

生産
統制

工程管理の内容

(1) 生産計画 (production planning)

日程計画 (アウトプットの計画)

材料計画 (インプットの計画)

工数計画 (インプットの計画)

他

(2) 生産統制 (production control)

生産指示、生産統制、他

3. 日程計画(見込み生産の場合)

見込み生産の場合、需要予測が生産計画の基礎となる。

(1) 大日程計画(aggregate production planning) :

主な製品カテゴリー別に集計; 月ごとに表示;
計画期間1年単位

(2) 中日程計画(master production schedule) :

品目別に分類。1日ごとに表示、計画期間1ヵ月

(3) 小日程計画(final assembly schedule など) :

バリエーションごとに分類。

サイクルタイムごとに表示(順序計画); 計画期間1日

日程計画の類型

計画要素 計画のタイプ	計画期間 (Horizon)	日程の単位 (Increment)	計画修正 の頻度	製品 カテゴリ	計画対象	目的
① Aggregate Production Planning (大日程計画、 全般的生産計画)	6ヶ月～ 1年半	月～週	毎月改訂	製品 グループ別	全工場	・人員計画等の基礎となる 生産レベル(Pt) 在庫レベル(It) 労働力レベル(wt)
② Master Production Schedule (中日程計画、 基準生産計画)	1～3ヶ月	旬～日	毎月～ 2週毎～ 毎旬	仕様別 (大分類)	部門 (工程)	・品目別の製品生産量の確定 ・工数計画、 材料所要量計画(MRP)
③ Final Assembly Scheduling, 他 (小日程計画、 順序、計画)	1日～10日	日～分 (含サイクル タイムも)	毎旬～ 毎日	仕様別 (細分類)	各ステーション (作業者)	・生産順序の確定 ・各ステーションへの作業割当

注: Aggregate Production Planning と大日程計画、Master Production Schedule と中日程計画などは、厳密には一致しない可能性があるが、基本的には類似した概念であるとみなし、一括して説明した。

大日程計画の立てかた

リニアプログラミング

ラグランジュ法

カット・アンド・トライ法・・・これが一般的

流動数曲線(累積カーブ)を使ったグラフィックな試行錯誤

大日程計画の基本的な方針

(1) 需要追跡型

(2) 生産平準化型

(2a) 在庫型

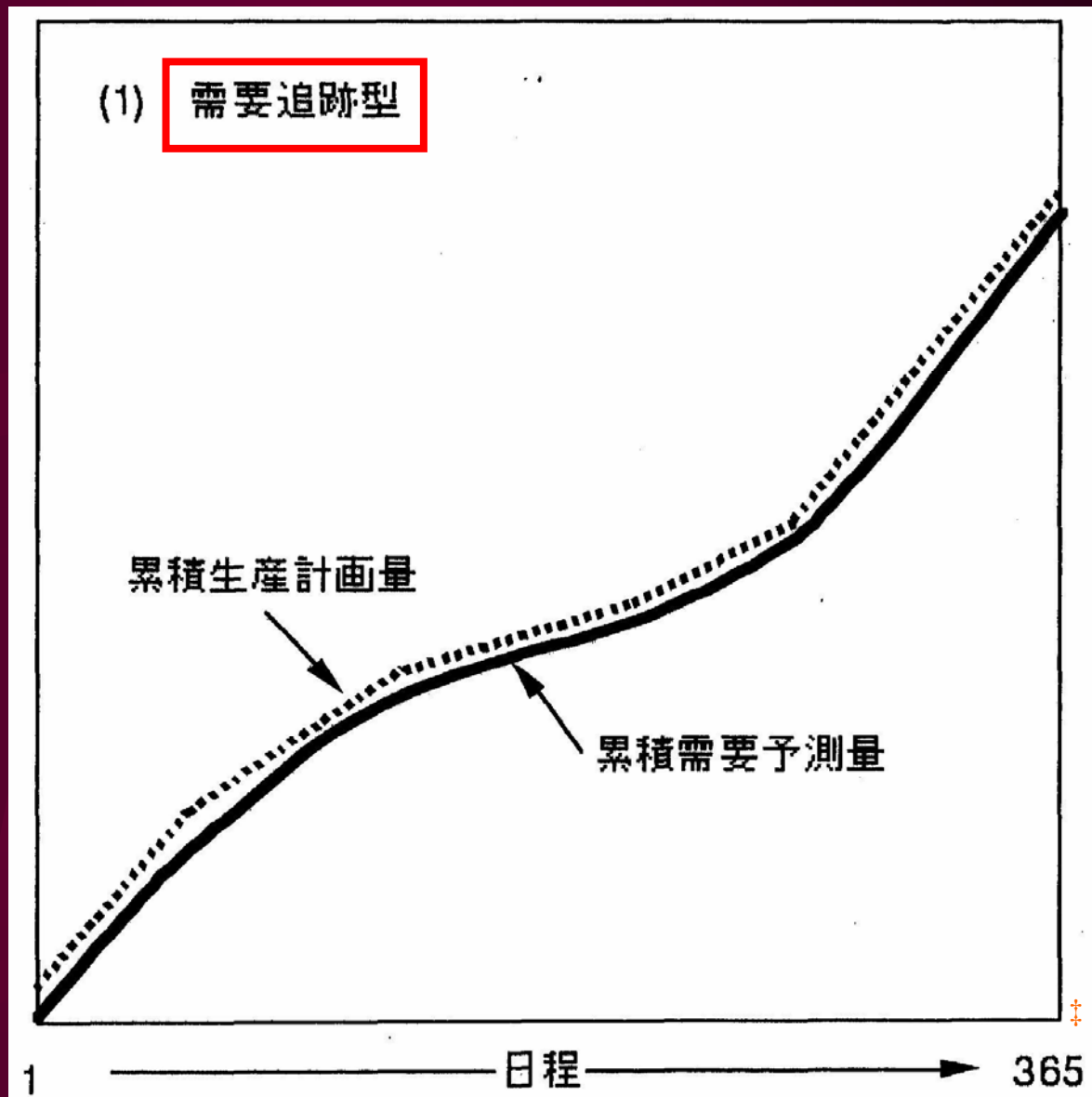
(2b) 過少生産型

(2c) バランス型

それぞれについて、基本賃金、採用費、レイオフ費、
超過勤務手当、在庫費用、
品切れの機会費用 などを比較する。

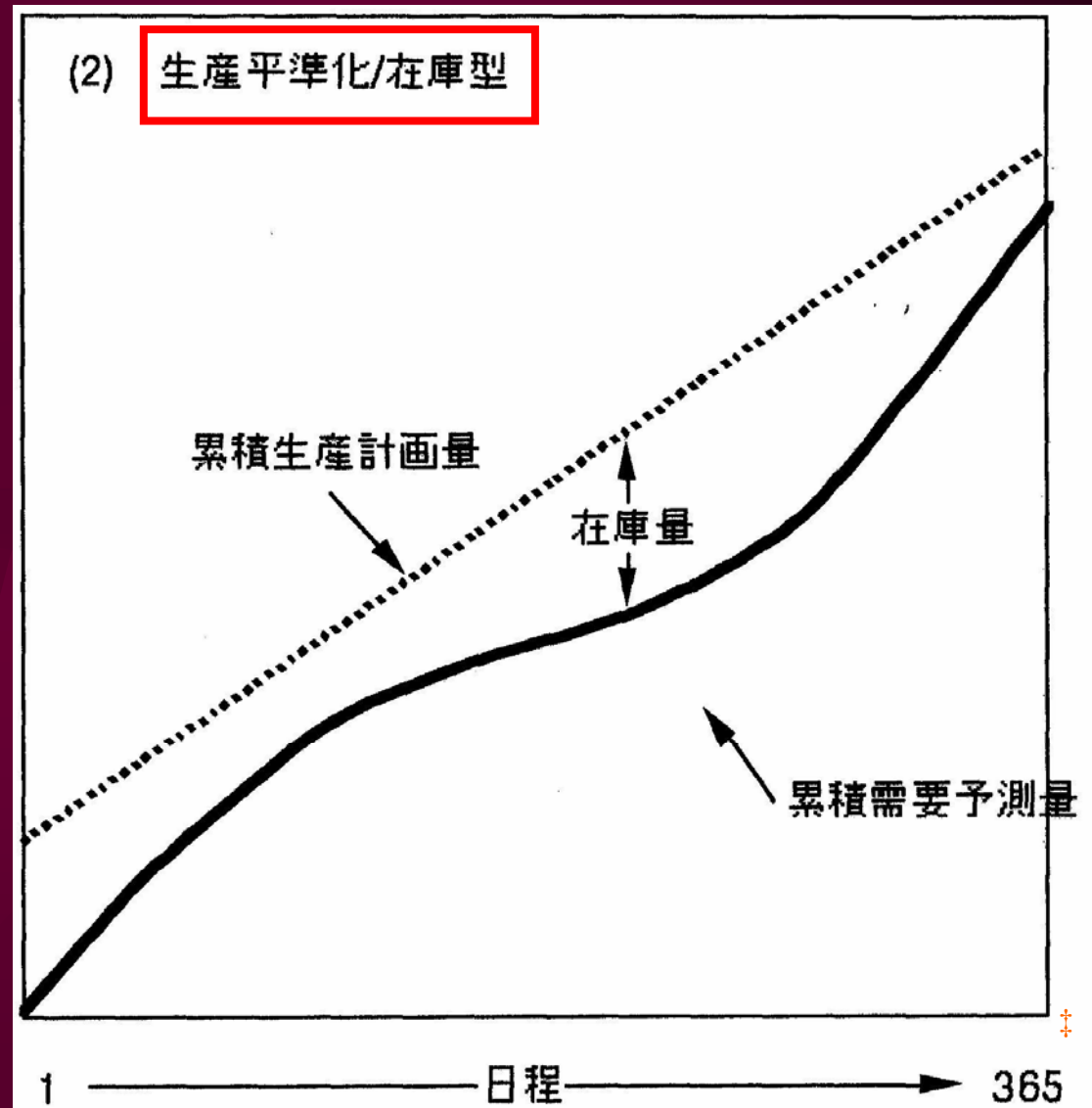
大日程計画の作成

流動数曲線を使った試行錯誤(cut&try)法

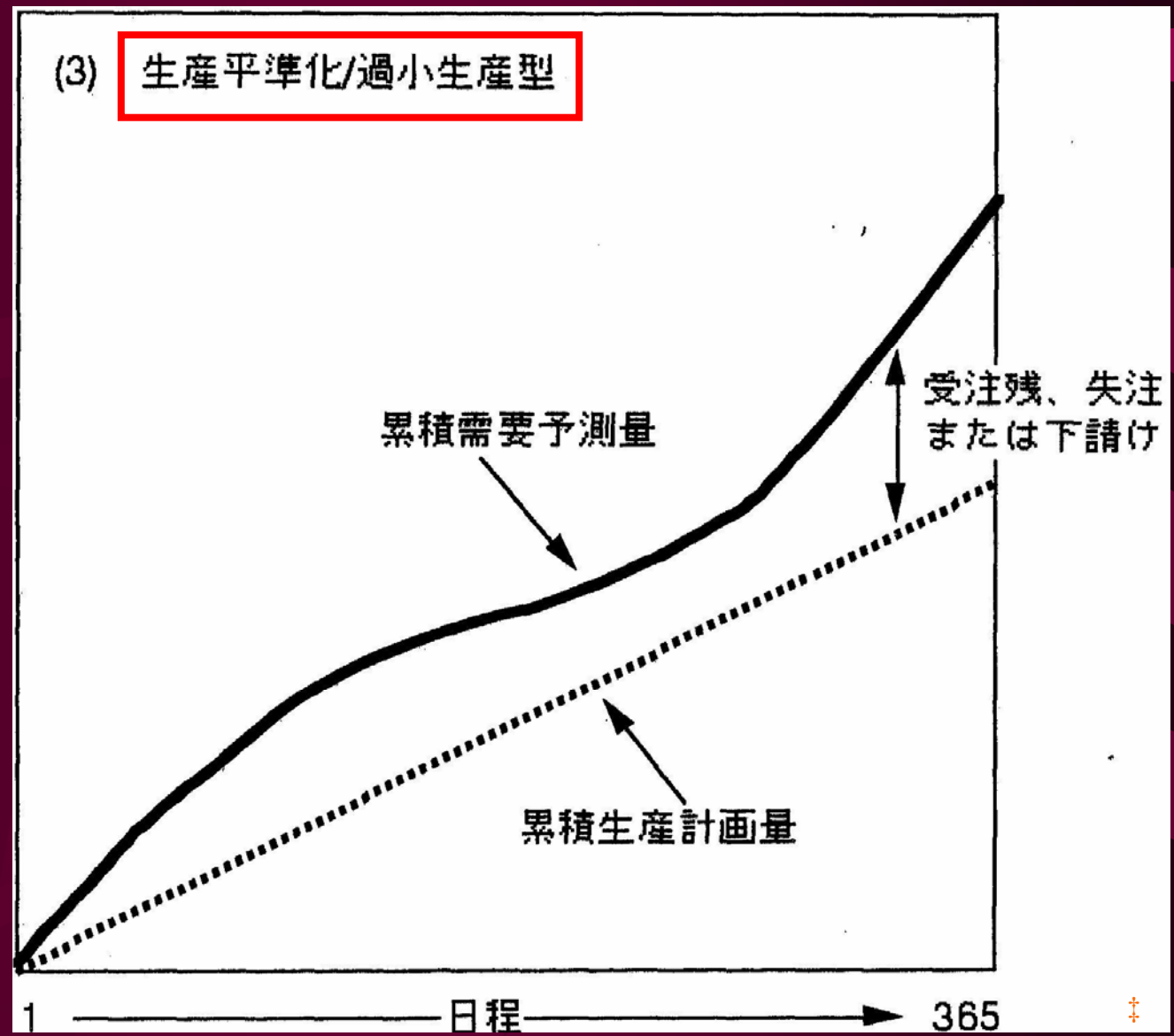


大日程計画の作成

流動数曲線を使った試行錯誤(cut&try)法

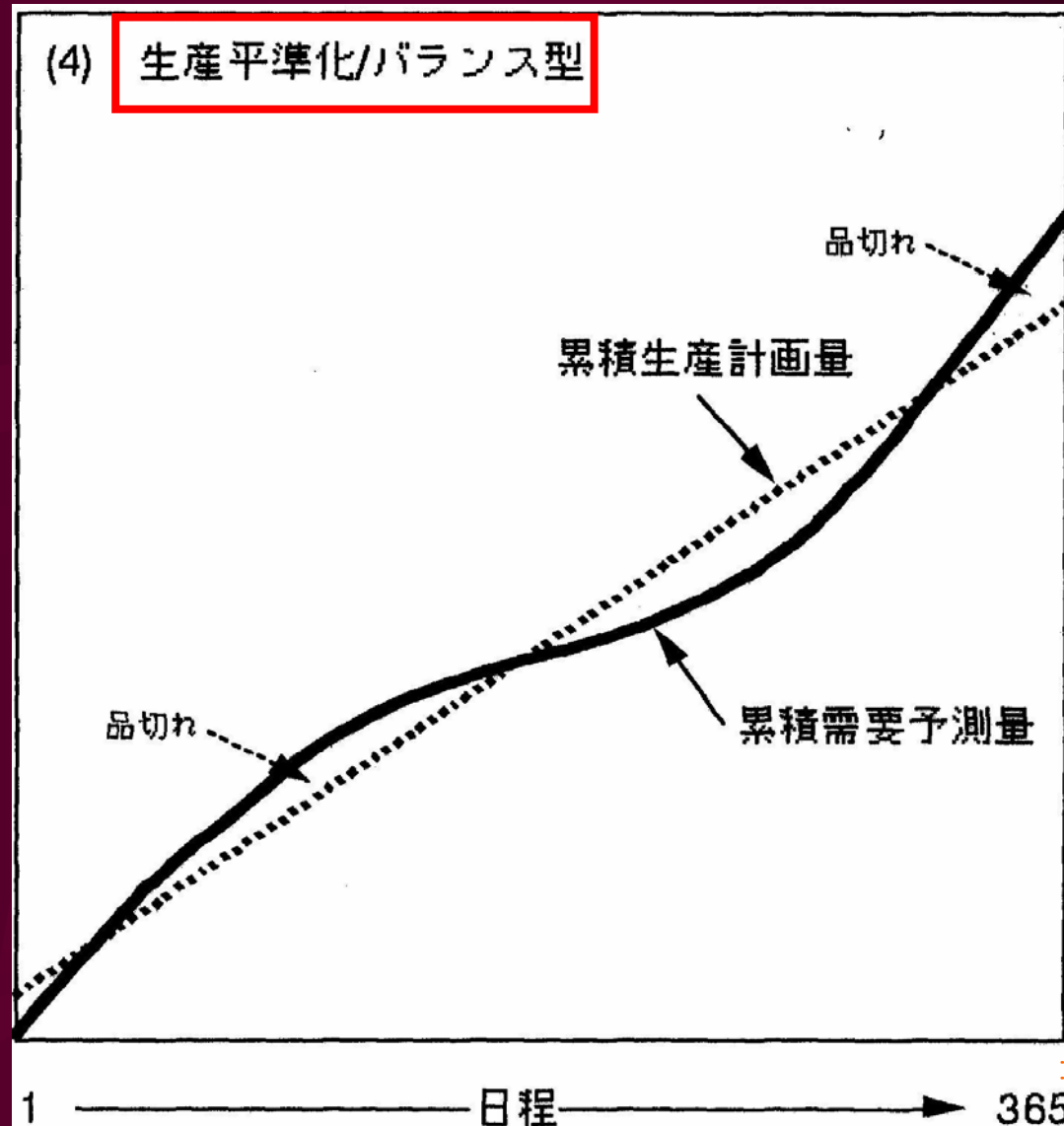


流動数曲線を使った試行錯誤(cut&try)法



大日程計画の作成

流動数曲線を使った試行錯誤(cut&try)法



Aggregate Production Planningの戦略

・ キャパシティに制約がないと仮定すると、大日程計画(Aggregate Production Planning)のたて方に次のような戦略がある:この中から **cut & try 法** で最適のものをみつける。

(○有利 ● 不利 ◐ やや不利)

生産量(Pt)	労働力(Wt)	在庫量(It)	基本給	株用費	レイオフ費	超勤費	夜勤費	在庫費	ストックアウト	下請費
① 変動: 累積需要 \geq 累積生産 Chasing Demand	労働者数を変動させる <u>採用とレイオフ</u> で吸収	低位安定		●	●		●			
② 変動: 累積需要 \geq 累積生産 Chasing Demand	労働者数は固定 <u>残業、早退</u> などで吸収	低位安定	◐			●				
③ 安定: 累積需要 < 累積生産 Level: High	労働者数・労働時間は安定	<u>在庫変動</u> で吸収	●				●			
④ 安定: 累積需要 > 累積生産 Level: Low	労働者数・労働時間は安定	<u>受注残</u> (backlog)、ないし 受注を断る	○						●	
⑤ 安定: 累積需要 > 累積生産 Level: Subcontract	労働者数・労働時間は安定	不足分を <u>下請</u> 生産で吸収	○							●
⑥ 安定: 累積需要 \geq 累積生産 Level: Middle	労働者数・労働時間は安定	上記 3タイプの <u>混合</u>						◐	◐	◐

Critical Fractile 法

限界売れ残り費用と限界品切れ費用を比較する。

限界売れ残り費用 = 在庫費用、在庫評価損など = L

限界品切れ費用 = 限界利益 = 品切れの機会費用 = G

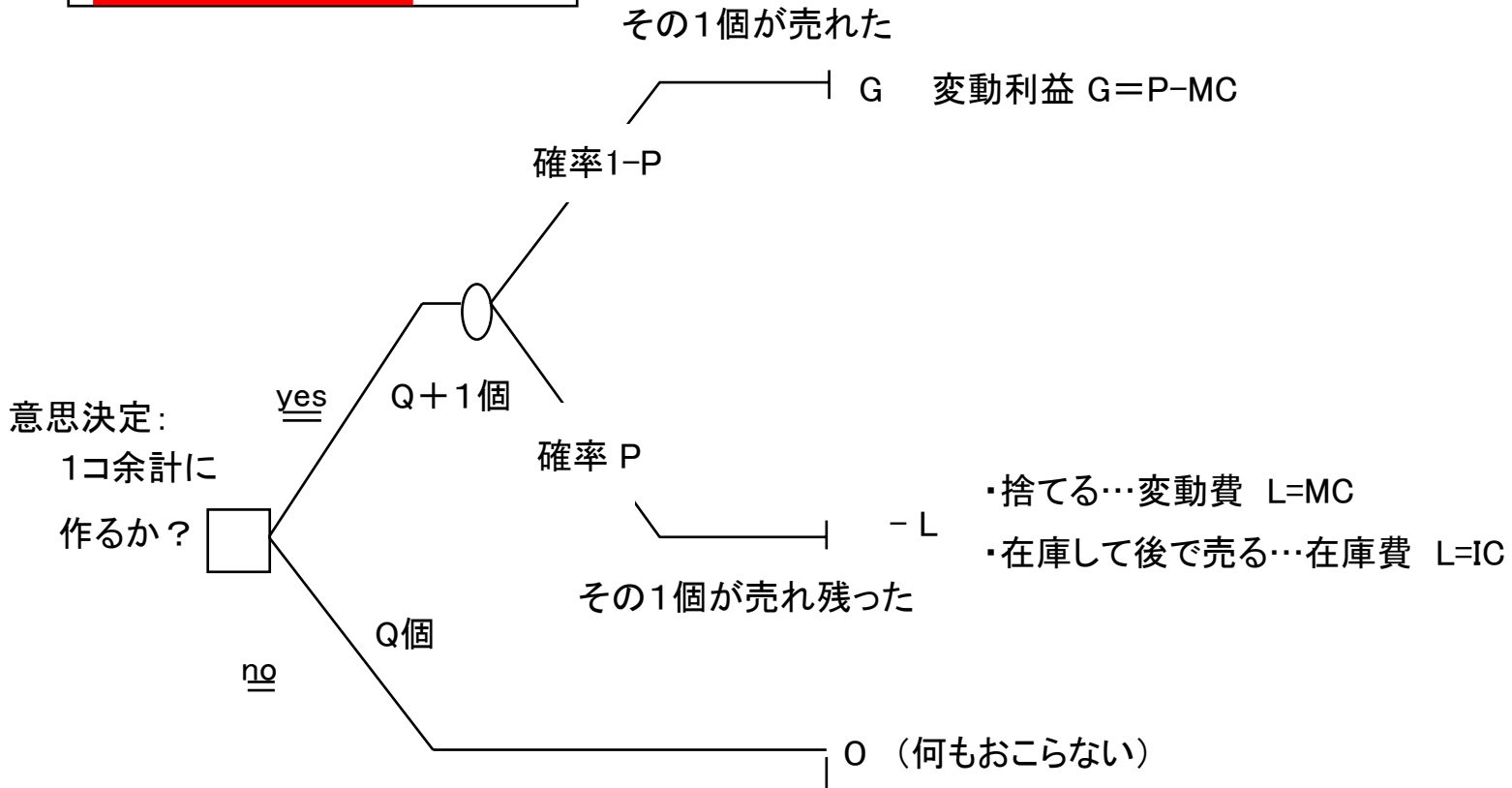
売れ残りの出る主観確率 = p

このとき、 $p = G / (G + L)$

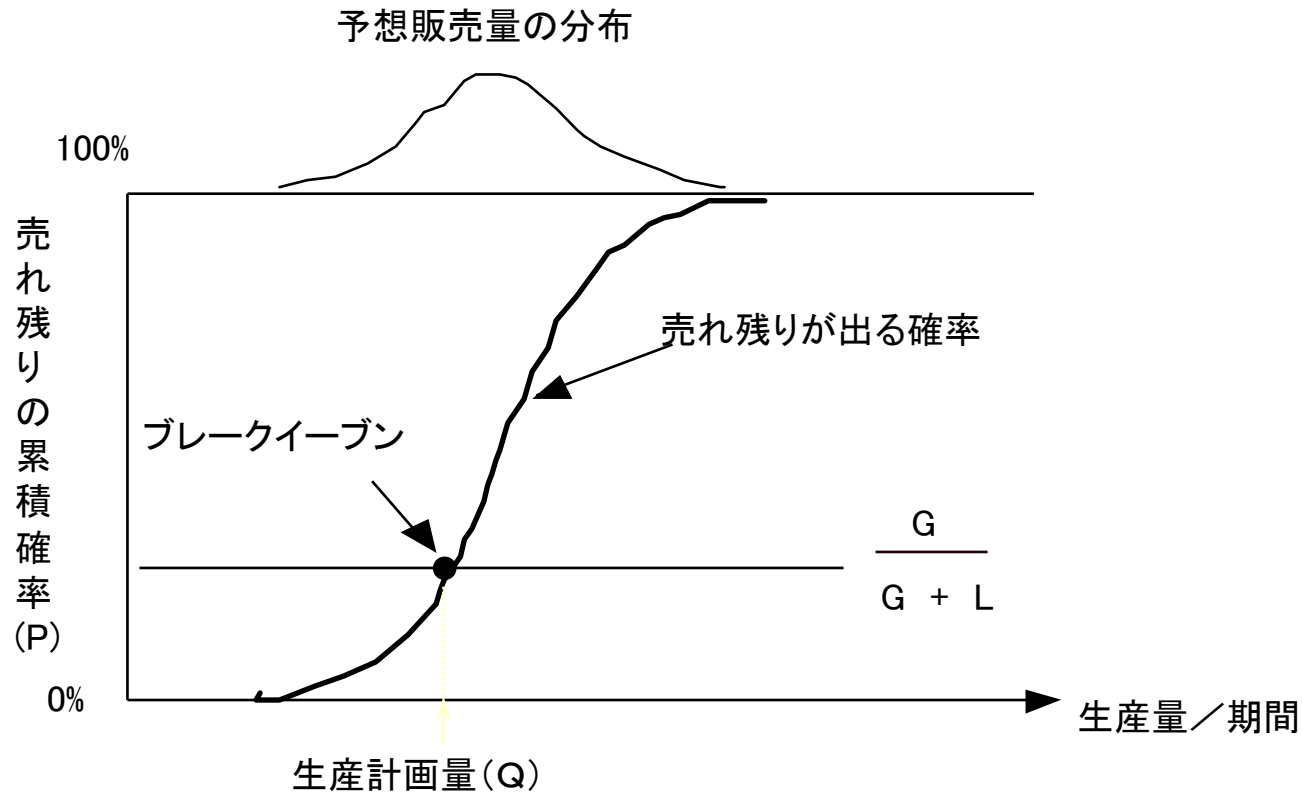
となる量だけ生産を行なえばよい。

クリティカルフラクタル法による生産量の決定 (1)

デシジョン・ツリーで考える



クリティカルフラクティル法による生産量の決定 (1)



均衡点(ブレークイーブン) $\dots (1 - p)G + p(-L) = 0$

$\therefore G = p(G + L)$

\therefore 均衡点での売れ残り確率 $p = \frac{G}{G+L}$ となるような生産計画量(Q)を選べばよい。

(2) 中日程計画 (master production schedule) :

品目別に分類。1日ごとに表示、計画期間1ヵ月

MRP(後述)などの起点となる重要な計画

(3) 小日程計画 (final assembly schedule など) :

バリエーションごとに分類。

サイクルタイムごとに表示(順序計画); 計画期間1日

部品の順序供給・順序生産の起点となる

トヨタの日程計画



トヨタの日程計画

年間生産計画 (≡ aggregate production plan)



月次生産計画 (≡ master production schedule)
(N-2, N-1, N月)



旬間生産計画



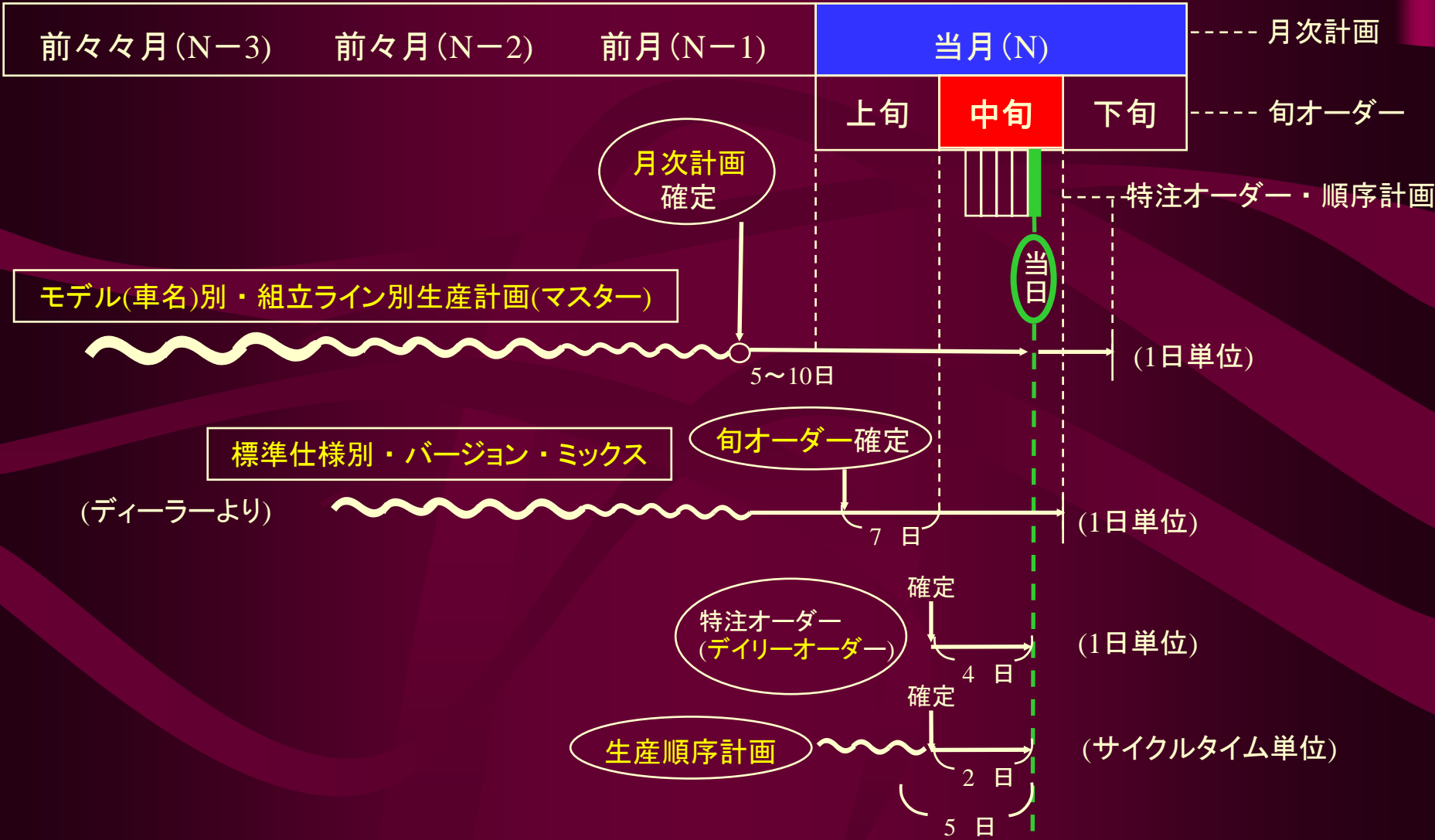
生産(組立)順序計画 (≡ final assembly schedule)

徐々に計画精度をあげていく。

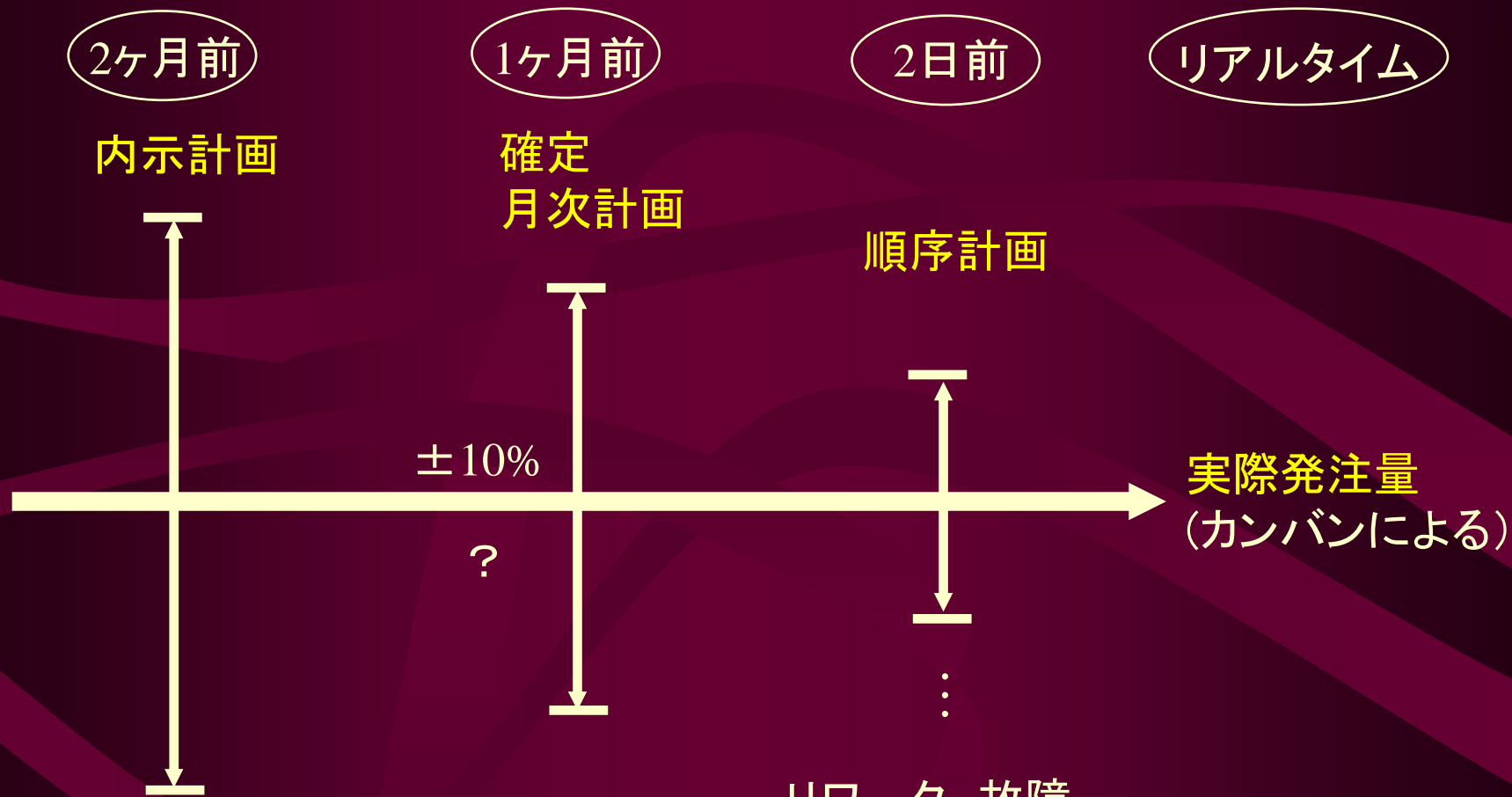
徐々に製品の指定の仕方を細かくしていく。

トヨタの生産計画システム(まとめ)

トヨタの生産計画は、徐々に生産カテゴリー(モデル → 標準仕様 → 特注仕様)、時間単位(月 → 旬 → 日 → サイクルタイム)およびその中の**計画精度**を絞り込んでいく方式がある。つまりスケジュール修正と精度アップを繰り返し、徐々に**収斂**させる。



部品発注量(仕様ミックス)の計画精度アップ



4. MRP (material requirement planning) = 材料所要量計画 (インプットの投入計画)

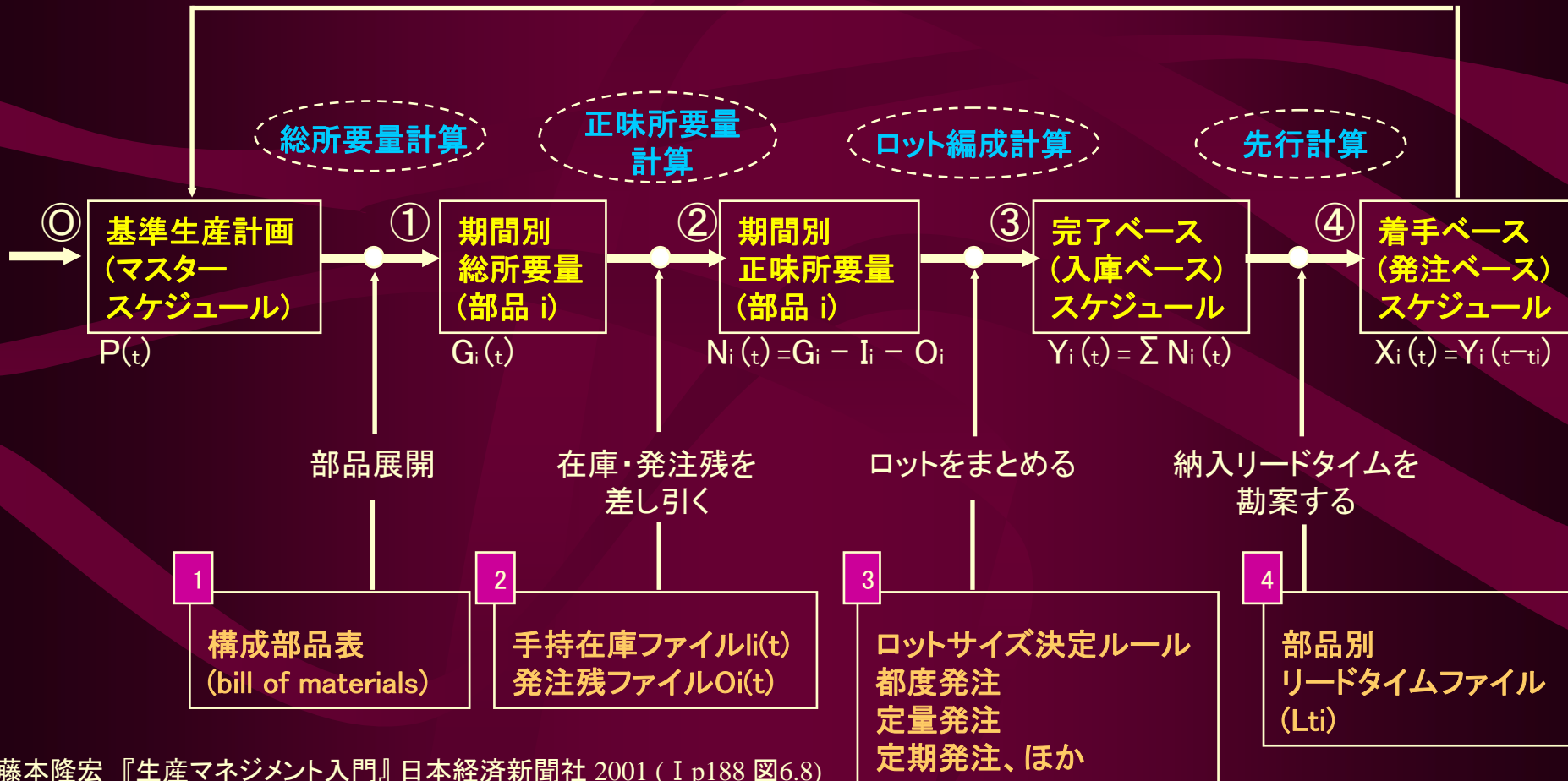
マスタースケジュール(基準生産計画)をもとに、
一連の計算プロセスを経て、
上流の各段階において、
必要な材料の品種、所要量、所要時点を算出し、
生産指示・資材手配の指示を現場に与えるシステム。

- (1) 総所要量計算: マスタースケジュールを部品展開。
- (2) 正味所要量計算: 在庫量と発注残とを差し引く。
- (3) ロット編成計算: 発注ルール→完了ベースの計画オーダー
- (4) 先行計算: 前工程リードタイム→着手ベースの計画オーダー

MRP (Material Requirement Planning)の計算体系

MRPは、基準生産計画(Master Schedule)をインプットとし、構成部品表(Bill of Materials)を多ステージ生産工程の全ステップに対して製造指示を行うための情報を作り出す。

子部品のレベルに移って同じ手順を繰り返す



MRPの計算課程

基準生産計画

総所要量計算

期間別
総所要量

純所要量
計算

期間別
純所要量

構成部品票

リード
タイム
日数

在庫
仕掛
注残

発注方針

先行計算

ロット編成
計算

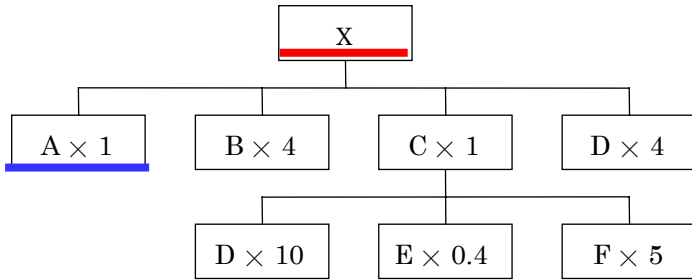
着手日順
計画オーダー

完了日順
計画オーダー

※下位レベルの
総所要量計算
に移り、構成部品
表の最下位品目
にたどりつくと、
MRP計算を
終える。

MRPの数値例(1)

データ(1) 構成部品表



データ(2) 基準生産計画

品名	指示日 ××年××月××日				
	計画数量(週次)				
	1	2	3	4	5
X	300	100	100	200	200
Y	-	200	200	100	-
Z	50	50	50	150	-

データ(3) 部品関連情報

品名	単位	在庫数	指示済み数	発注方針	リードタイム	備品
A	個	250	-	都度	2週	購入部品
B	個	600	1,050	都度	2週	購入部品
C	個	40	300	定数 (2週間)	1週	組立部品
D	個	1,000	5,000	定数 (5000)	3週	購入部品
E	個	50	100	定数 (100)	3週	コイル状 部品
F	個	400	4,700	定期 (3週間)	5週	購入部品
X	個	-	300	生産計画 どおり	1週	完成製品

MRPの数値例(1) — 部品Aの計算

Xの組立ラインで使われる、部品A(購入部品)は、1個使いであり、Xの組立計画(着手)に合わせて、次の数量を、倉庫から払い出してやればよい。

A	払出し計画	1	2	3	4
		100	100	200	200

現在の在庫数は、250個であり、各週末の予想在庫は

A	在庫(250)	1	2	3	4
		150	50	?	

A	納品計画	1	2	3	4
		—	—	150	200

業者に納品させるためには、それよりも前に、注文をしておく必要がある。部品Aのリードタイムは、データ(3)より、2週間である。購買担当者は、第1週に150個、第2週に200個の注文を行えばよい。

A	注文計画	1	2	3	4
		150	200	—	—

以上をまとめるとMRP計算は次のとおり。

	1	2	3	4
総所要量	100	100	200	200
指示済みオーダー	—	—	—	—
在庫(250)	150	50	—	—
純所要量	—	—	150	200
計画オーダー(着手)	150	200	—	—

(勧告オーダー) 150個を発注せよ、納期は第3週初め。

MRPの数値例(2)

表 6-2 MRP計算の数値例

	2000年12月	2001年1月	2001年2月
マスタースケジュール	<u>5000台</u>	<u>6000台</u>	<u>4000台</u>
ランプ総所要量	10000個	12000個	8000個
指示済オーダー数	<u>0個</u>	0個	0個
期末の在庫	<u>13000個</u>	1000個	0個
ランプ純所要量	不明	0個	7000個
発注計画量	0個	7000個	不明

注: 下線は、既知のデータを示す。



MRPの効果と限界

ロジックとしては完璧・・・しかし現実には？

- ・ 実際の生産が計画からずれたとき、**修正メカニズム**が内蔵されていない。
- ・ リードタイムが計画からずれた時も同様。**修正メカニズム**が内蔵されていない。
- ・ 現状固定的。**改善促進的でない**
- ・ 大型コンピュータの時代には、**システムが高かった。**
- ・ 「生産能力は無限」という仮定は非現実的
→ CRP, MRPII

かんばんシステムと比較せよ(後述)

5. 工数計画と能力・負荷分析(CRPとMRPII)

工数計画 = 生産能力の計画

生産能力 - 負荷 = 余力

「個数表示」または「時間表示」 → 「工数山積表」で分析

<注意点>

- 良品率(歩留り率)を勘案すること
- プロダクトミックスを勘案すること(何あたりの能力か?)
- 段取り替時間、ダウンタイム(機械故障時間など)も勘案すること。

個数表示の生産能力

- ① **日産能力** = 操業時間(H)／日 × $\frac{\text{正味作業時間}}{\text{操業時間}}$ × $\frac{\text{グロス生産量}}{\text{正味作業時間}}$ × 良品歩留り
- ② **負荷** = 1日あたり良品所要量 (ただし特定製品ミックス換算)
- ③ **余力** = 1 - (負荷／日産能力) (ただし、製品ミックスをそろえること)

時間表示の生産能力： 同じことを、時間単位で示す。

機械が複数並列している場合の機械能力は、

$$\textcircled{1} \text{ A} \quad [\text{日産能力}] = [\text{機械台数}] \times [\text{操業時間(H)}/\text{日}] \times (1 - \text{ダウンタイム})$$

人的能力の場合は、作業者の熟練度、出勤率などを勘案して：

$$\textcircled{1} \text{ B} \quad [\text{日産能力}] = [\text{人員数}] \times [\text{実働期間}/\text{日}] \times [\text{熟練換算係数}] \\ \times [\text{出勤率}] \times [\text{直接時間}/\text{実働時間}]$$

熟練換算係数は、標準能力を1として職場で加重平均する。

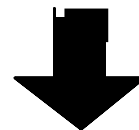
$$\textcircled{2} \quad [1 \text{ 日あたり負荷}] = (\text{良品所要量} \times \text{標準工数} / \text{良品率}) + [\text{段取り替え時間}]$$

$$\textcircled{3} \quad [\text{余力}] = [\text{能力 (H)}] - [\text{負荷 (H)}]$$

図 6-9 工数山積表(加工工程の数値例)

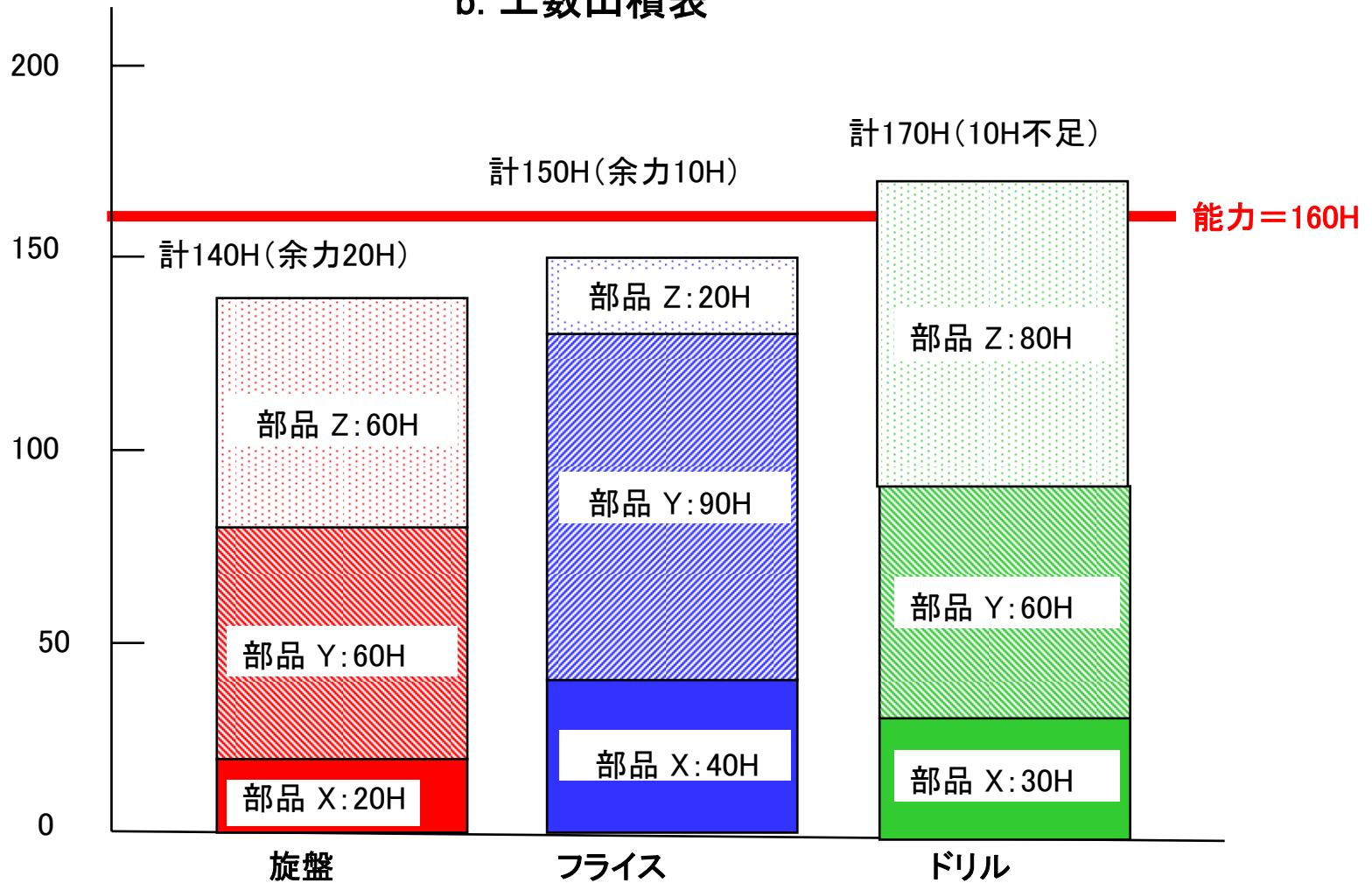
a. 製品別の負荷

製品	工程	生産量 (A)	標準工数 (B)	負荷 (A x B)
部品 X	旋盤	1000個	0.02H/個	20H
	フライス		0.04H/個	40H
	ドリル		0.03H/個	30H
部品 Y	旋盤	3000個	0.02H/個	60H
	フライス		0.03H/個	90H
	ドリル		0.02H/個	60H
部品 Z	旋盤	2000個	0.03H/個	60H
	フライス		0.01H/個	20H
	ドリル		0.04H/個	80H



時間

b. 工数山積表



C R P と M R P II

C R P (capacity requirement planning)

= M R Pと接続される工数計画のシステム

クローズド・ループM R P = M R P + C R P

M R P II (manufacturing resource planning)

= M R P + C R P + その他インプットの計画
(資金、人員など)

材料所要量計画と工数計画を一体化し、
さらに現場からのフィードバックを折り込んだシステム。

図6-10 CRP (Capacity Requirement Planning)

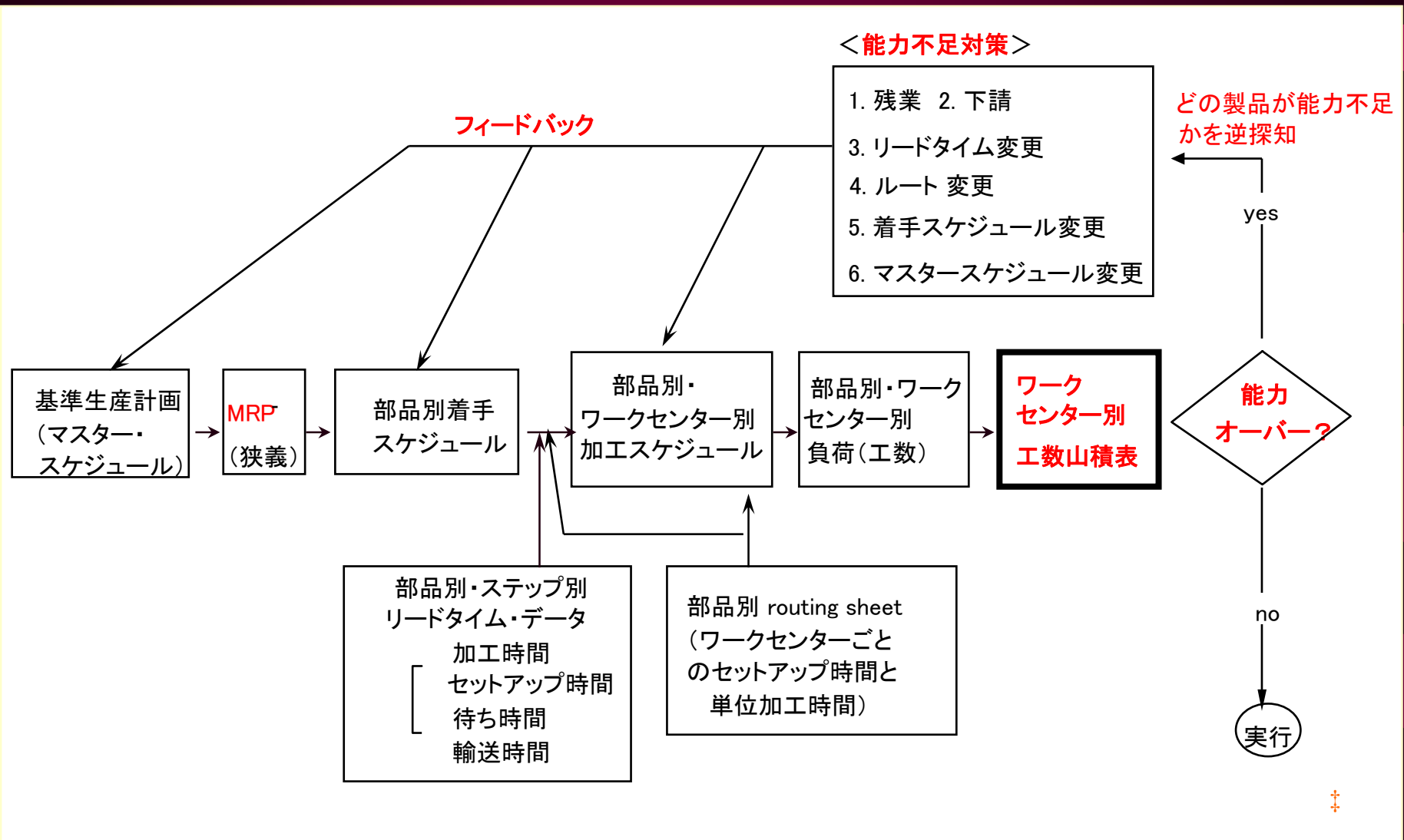
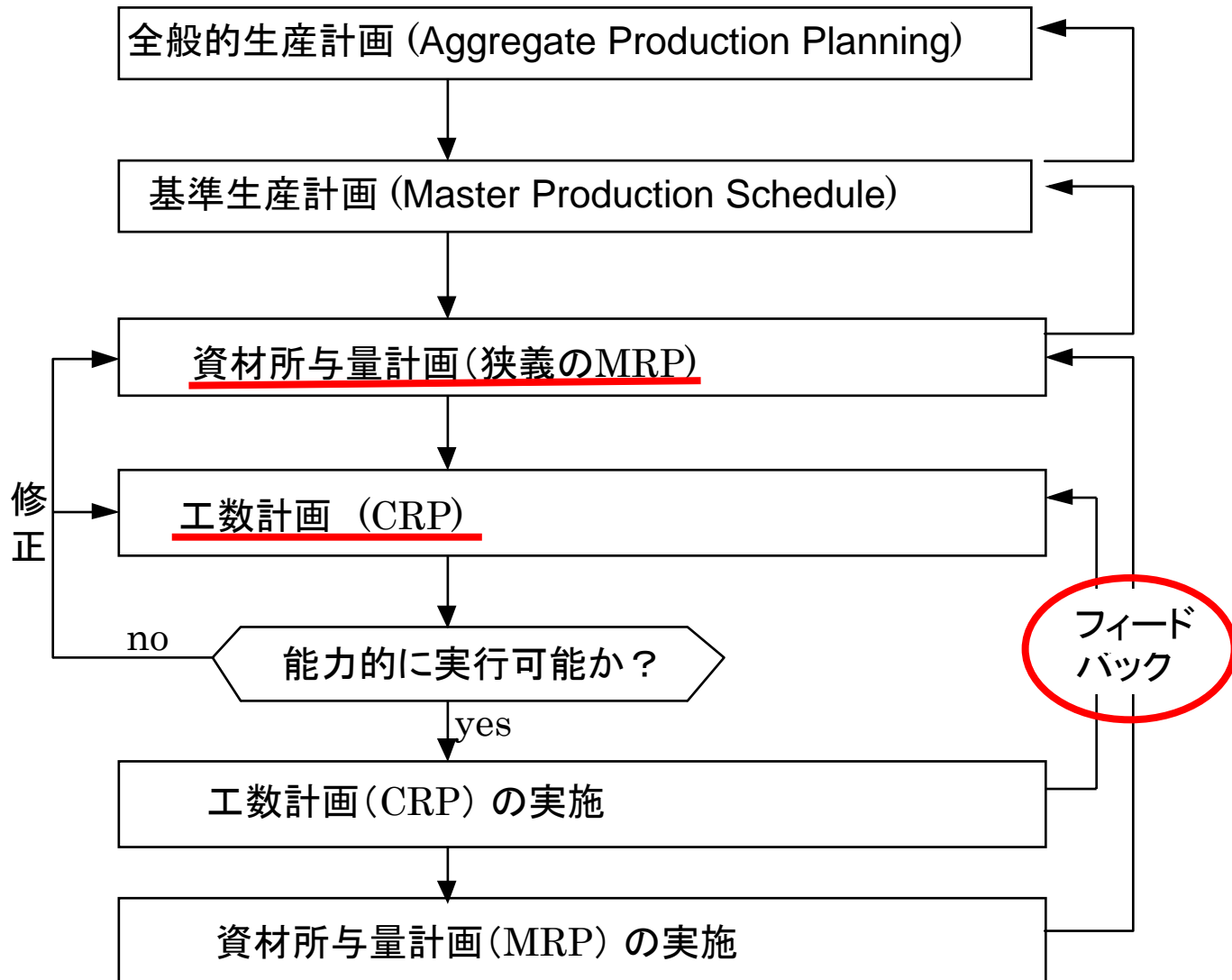


図6-11 クローズド・ループMRPの基本構成



6. 生産指示

生産指示 (order release)

(1) バッチごとの「総括手配」

→ 作業準備、作業配分、作業指導

(2) 「個別手配」(実際の作業の開始を指示)

ジョブショップの場合、より複雑な生産指示システムが必要。