

生産システム工学 (後半)

Rafael Batres
豊橋技術科学大学
機械工学系 Room: D-611
電話: 0532-44-6716
E-mail: rbp@tut.jp

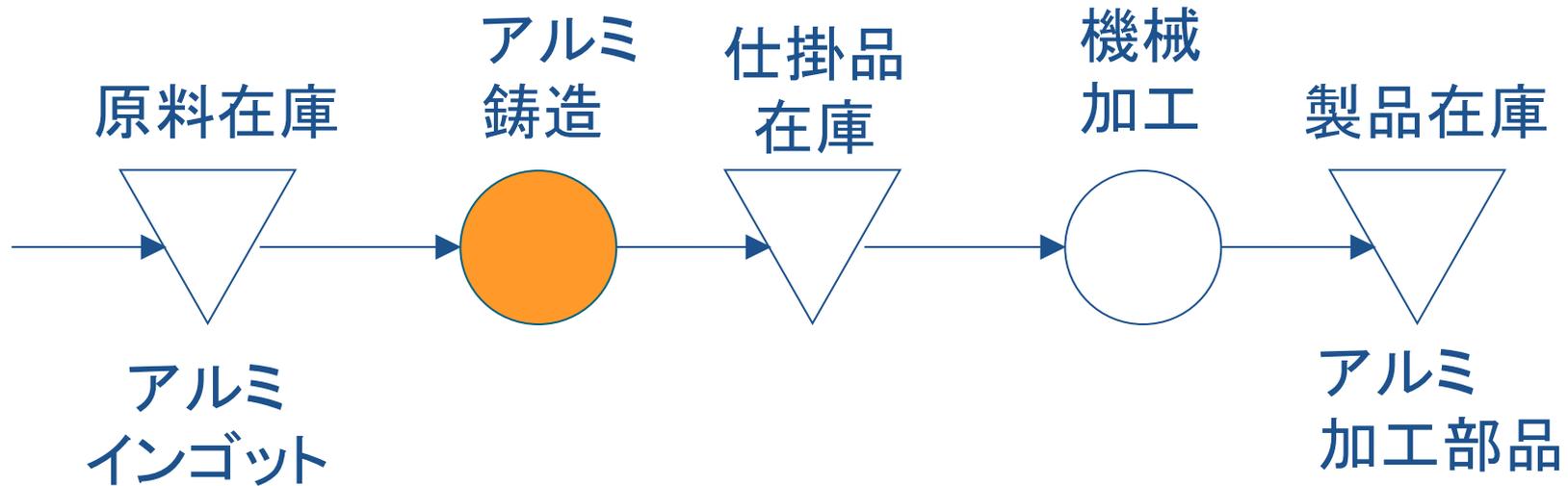
- 第9週：生産ラインの概念
- 第10週：サプライチェーン，生産形態
- 第11週：製造情報システム
- 第12週：所要量計算
- 第13週：所要量計算
- 第14週：統合化技術
- 第15週：製造ITのためのデータモデリング
- 第16週：テスト

生産ラインの概念

- 仕掛品 (しかかりひん) work in process
- 能力 capacity
- サイクルタイム cycle time
- アイドルタイム idle time
- ボトルネック bottleneck
- スループットタイム throughput time
- 歩留まり yield
- 段取り替え (だんどりがえ) setup time of machine, work center, or line
- 交替 (こうたい) shifts

自動車用アルミ部品の生産能力の増強

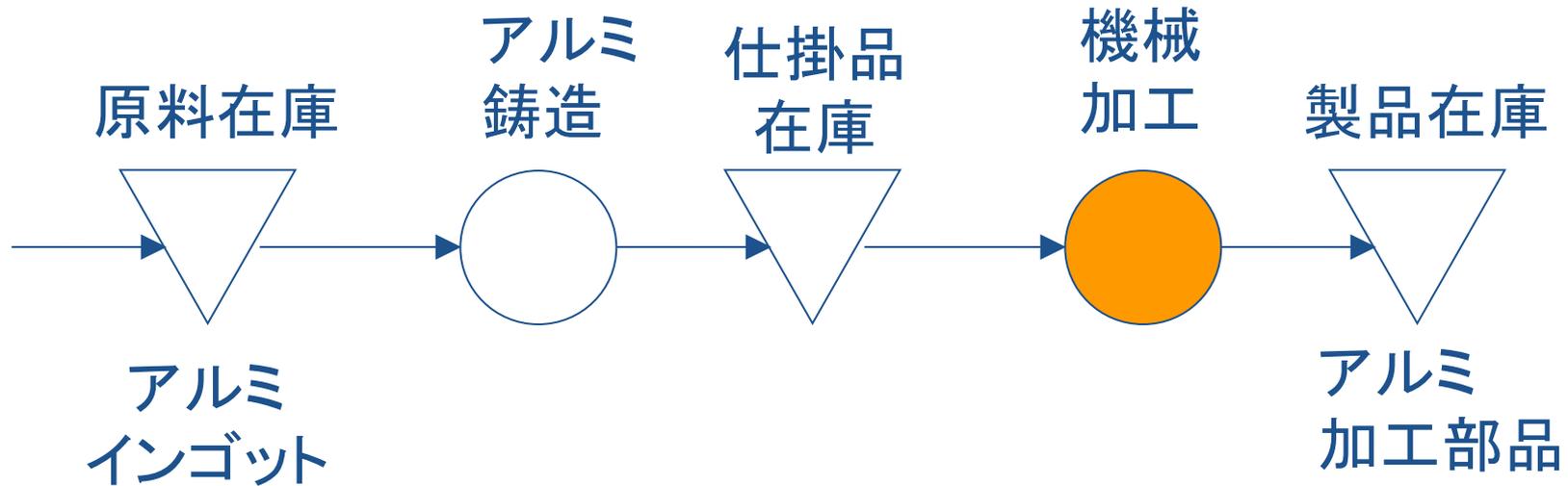
不良率ゼロの場合



メモ

自動車用アルミ部品の生産能力の増強

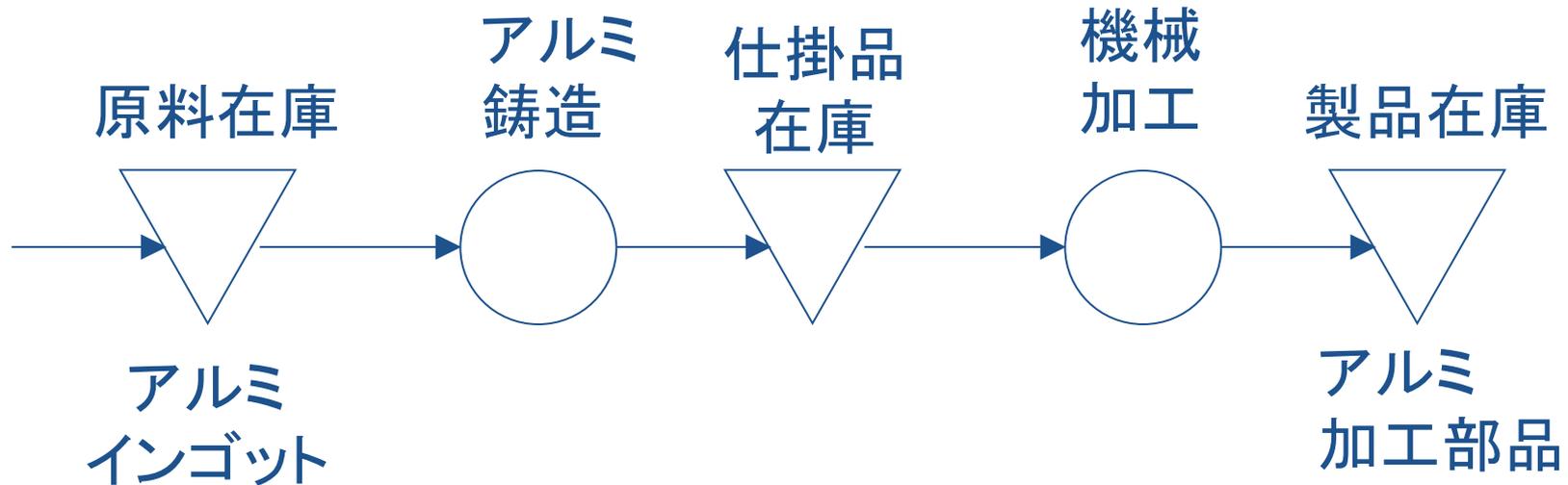
不良率ゼロの場合



メモ

自動車用アルミ部品の生産能力の増強

不良率ゼロの場合



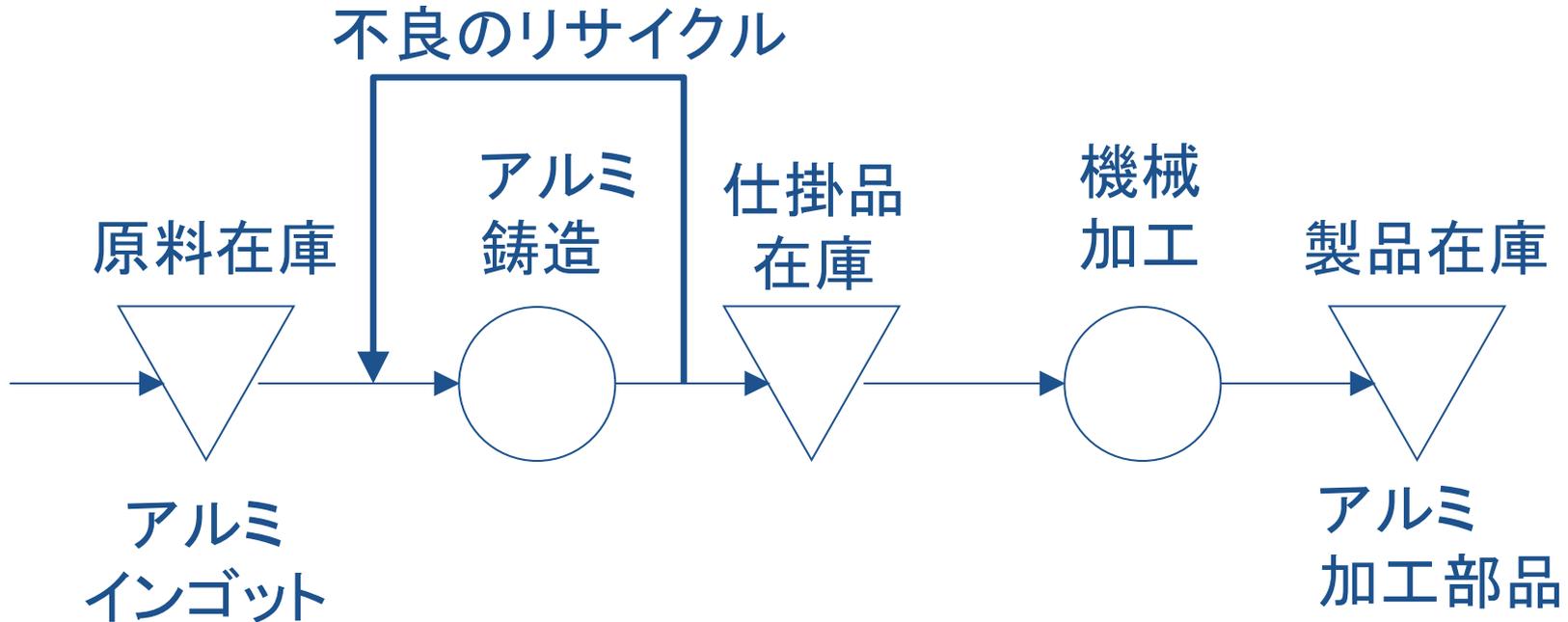
メモ

生産ライン全体

- 生産ライン全体のサイクルタイム
 - 一番遅い工程、つまり鑄造のサイクルタイムである
- ライン全体の生産能力
 - (_____ 個/ _____ min) (_____ min/h) = _____ 個/h
- ボトルネック(bottleneck)
 - ライン全体能力を制約する工程: _____
- スループットタイム
 - 原料を投入してから製品が完成するまでに必要時間
 - 仕掛品在庫がないので、
スループットタイム = _____ 分 + _____ 分 = _____ 分

自動車用アルミ部品の生産能力の増強

不良率10%の場合



アルミ鋳造の歩留まり = _____
切削加工の歩留まり = _____%

ライン全体

- ライン全体の生産能力

- (____ 個/3min) (____ min/h) (____) = ____ 個/h

- ボトルネック(bottleneck)

- ライン全体能力を制約する工程(アルミ鋳造)

- 交替

- 1日8時間1交替

- 週5日で操業する

- 1日あたり生産量は

(____ 個/h)(____ h/day) = ____ 個/day

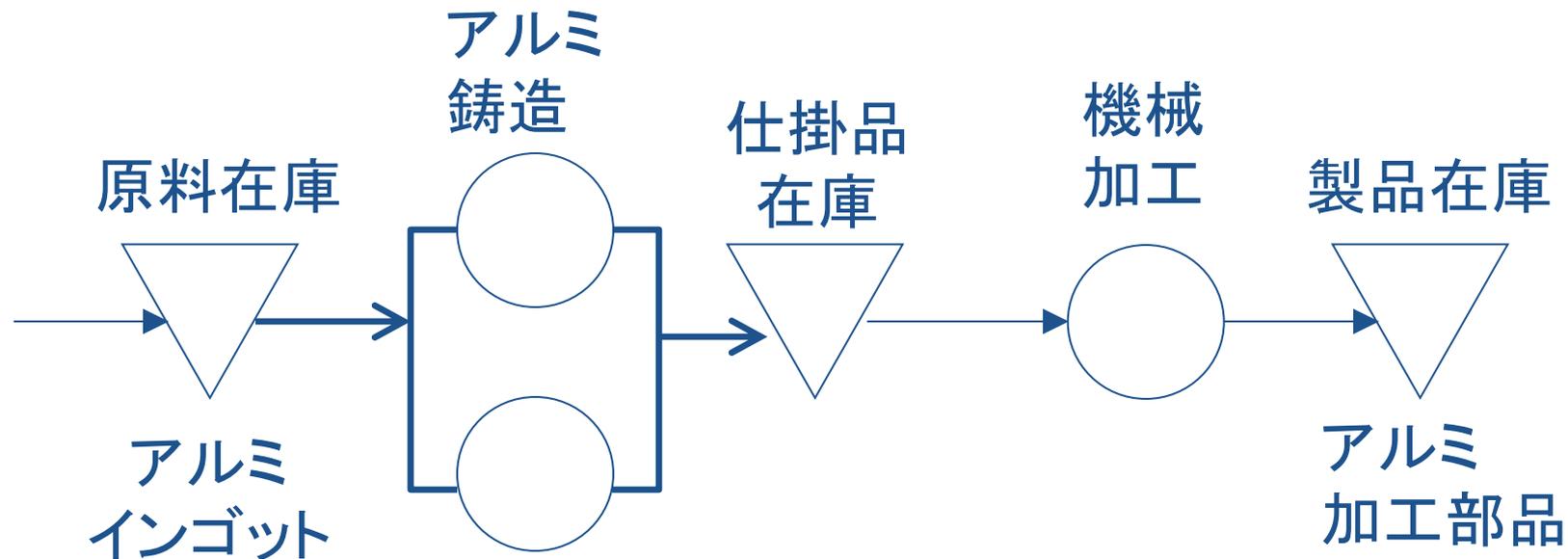
需要が変わると...

客先の組み立てメーカーが、1日あたり240個に注文を増やしてきた。これにどう対応すべきか？

- アルミ鋳造機を、もう1台買う
- 残業する
- 生産を2交替にする
- 部分的に2交替にする

アルミ鋳造機を、もう1台買う

- サイクルタイム = _____ 分 = _____ 分
- ボトルネック: _____
- ライン全体能力 = (_____ 個 / _____ min) (_____ min / h)
= _____ 個 / h = (_____ 個 / h) (_____ h / day) = _____ 個 / day
- 設備投資コストが大きくなる

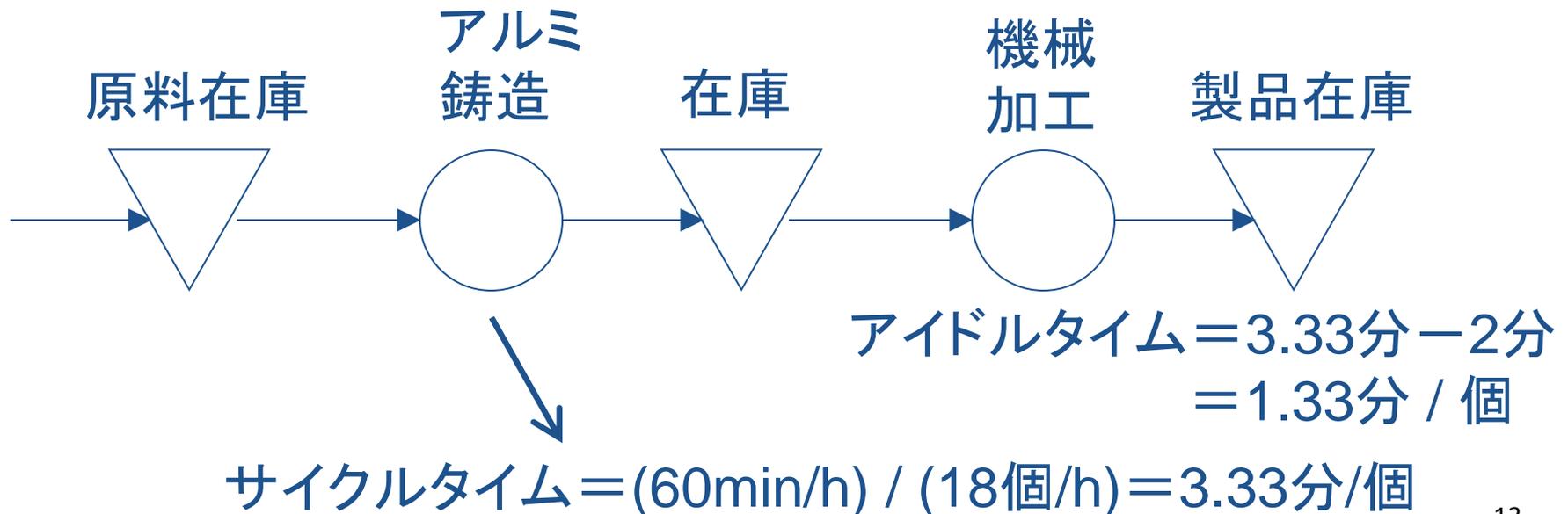


残業する

- ライン全体能力 = (___ 個/h) (___ h/day) = ___ 個/day
- 残業: ___ 時間 ___ 分 ! ! !
- 週末出勤
- 残業代が高くなる

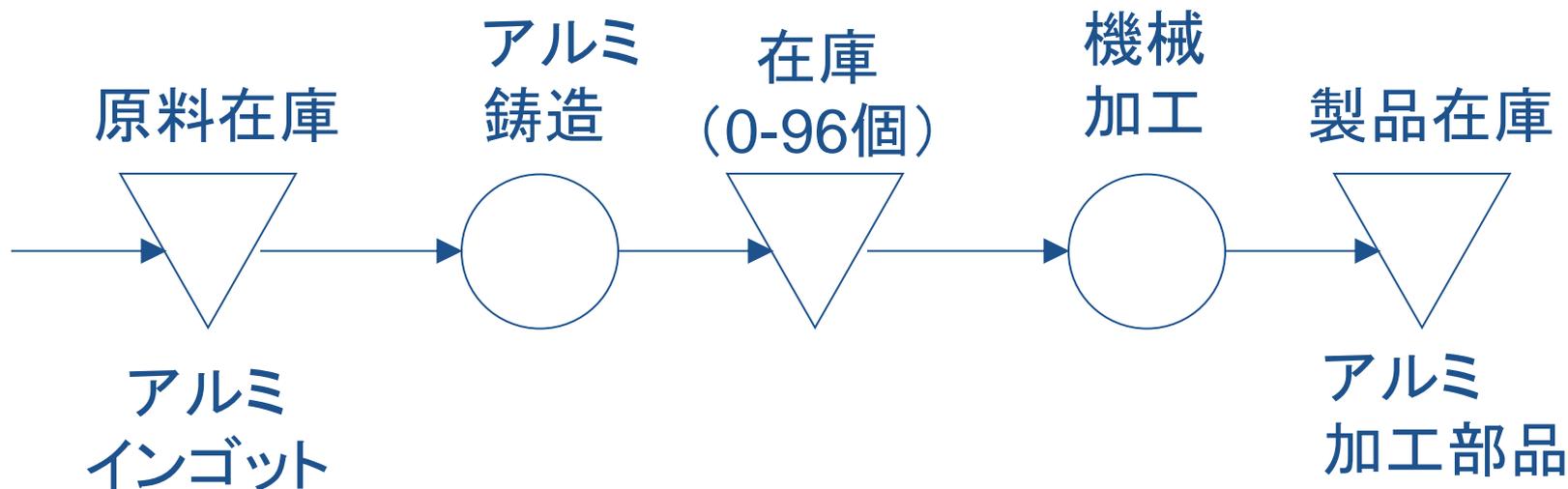
生産を2交替にする

- 昼勤・夜勤合わせて____時間____分操業
- 採用コスト
- 2交替への移行コスト
- 歩留まり100%を達成すれば、12時間操業で可能ではないか



部分的に2交替にする

- アルミ鋳造のみの2交替にする
- 昼勤・夜勤合わせて_____分操業
 - $(\text{_____個/day}) / (\text{_____個/h}) = \text{_____ h/day}$
- $\text{_____ h/day} - \text{_____ h/day} = \text{_____ h/day}$ 余計
- 在庫量 = $(\text{_____ h/day})(\text{_____個/h}) = \text{_____個/day}$



制約条件理論 (Theory of Constraints)

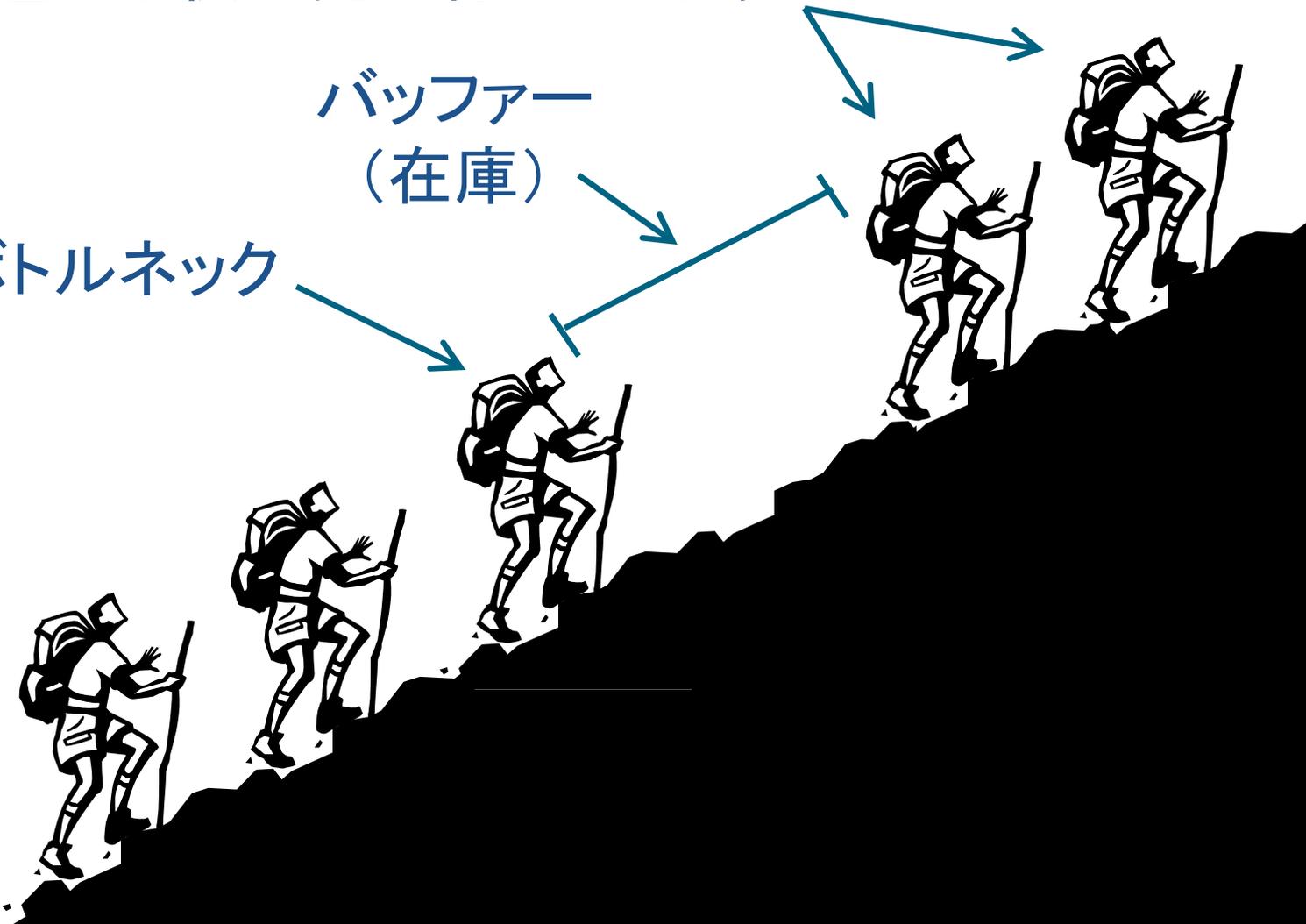
- Eliyahu Goldrattによる開発した生産プロセス改善の方法論
- ボトルネックが全体能力やスループットを制約する
- 1. ボトルネックを見つける
- 2. ボトルネックをどう活用するかを検討する
(例えば、安全在庫を上流側に設置する)
- 3. ボトルネックを解除する

Boy scoutsのアナロジー

足速い子供が先に行ってしまう

バッファー
(在庫)

ボトルネック



Boy scoutsのアナロジー

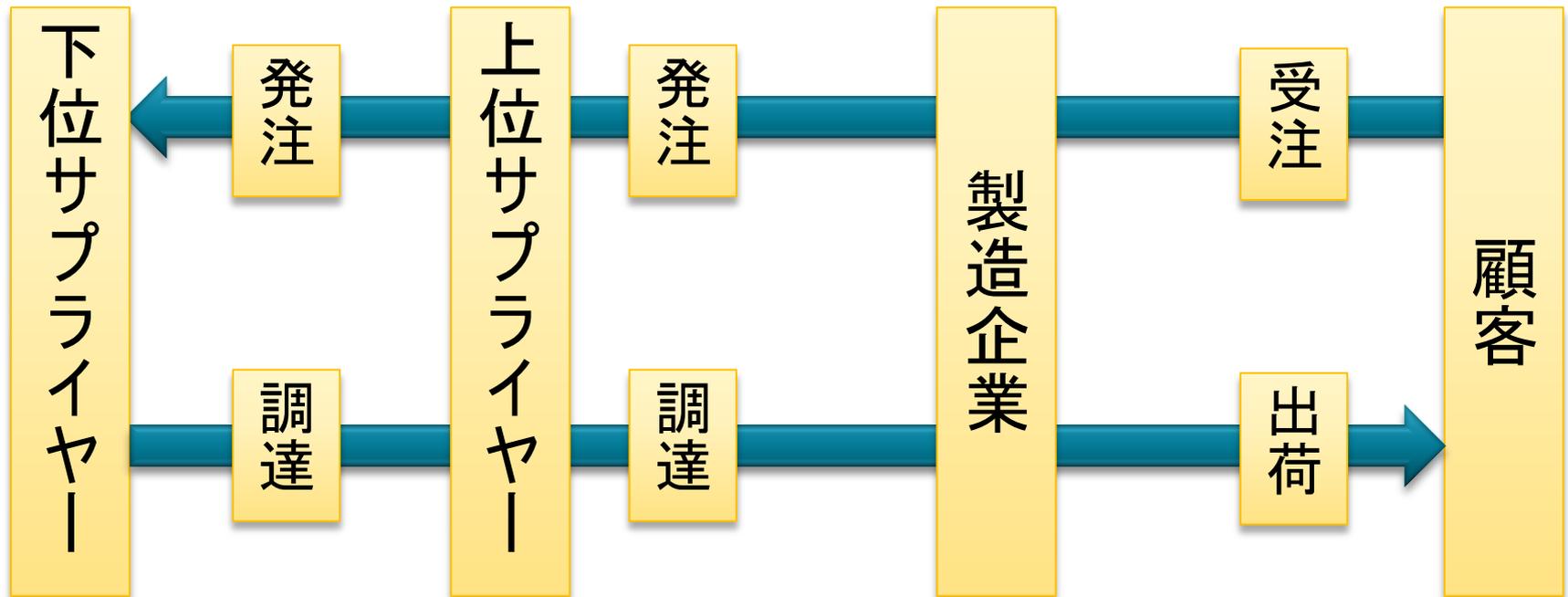
前の子供をロープでつなぐ

バッファー
(在庫)

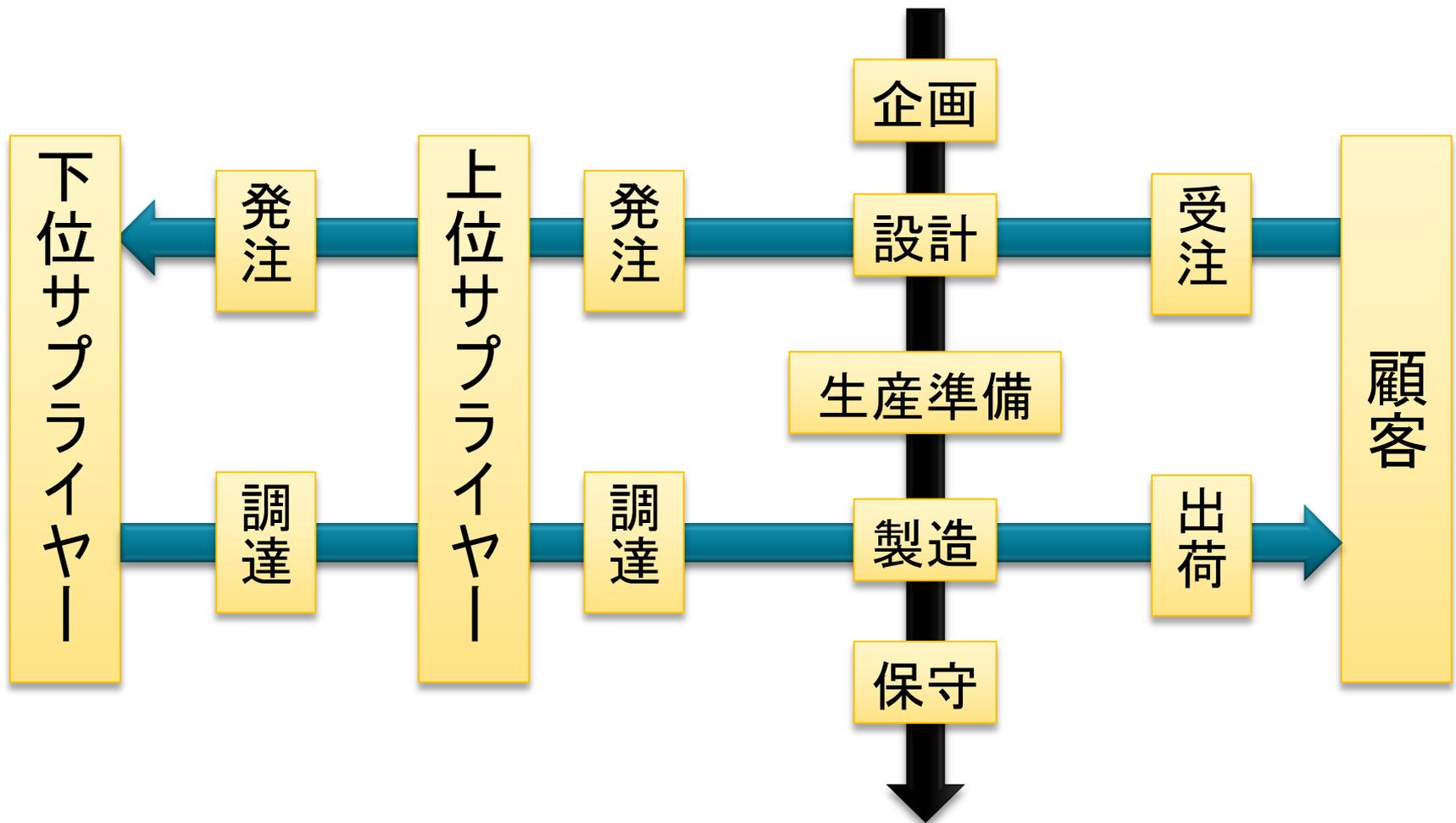
ボトルネック



製造業のサプライチェーン



製造業のサプライチェーン



生産時期による生産形態分類

- 生産時期による分類（受注生産と見込み生産）
- 生産方式による分類（個別生産，バッチ生産，連続生産）
- 設計レイアウトによる分類（ジョブショップ型とフローショップ型）
- 作業者と工程による分類（ライン生産とセル生産）
- 品種と生産量による分類（多品種少量，小品種多量）
- 工程への指示による分類（Push生産とPull生産）

生産時期による分類

- 受注生産 (made to order)
 - 顧客からの発注に基づいて製品仕様を確認し、その注文を受けた製品品目の生産を行う生産。
- 見込生産 (made to stock)
 - 顧客のニーズに合いそうな製品仕様を受注前に確定してあらかじめ製造し、在庫品として溜えておき、注文に応じて出荷する生産。
- 半見込生産 (assemble to order)
 - 標準の部品が需要を見越して製造され、注文を受けると、顧客仕様に合う部品の合わせ合する生産。

次の型と当てはまるものを線で結べ。

家電

受注生産

注文建設

ウエディングケーキ

見込生産

薬品

自動車

半見込生産

飲料

家具

生産方式による生産の形態

- バッチ生産 (batch production)
 - 一定数量をひとまとめにし、その分を定期的に繰り返して生産する
- 組立生産 (assembly line)
 - 幾つかの部品から分解可能な製品を使う
- 連続生産 (continuous flow)
 - 生産量が多くて、標準特性の製品を作る

見込み生産の需要予測

- 移動平均法 (moving average)
 - 過去の売り上げの移動平均を算出して、今後の売り上げを予測する
 - 例: 過去の3か月の売り上げが「30億、35億、37億」だとすると、売り上げの平均「34億」を来月の売り上げ予測とする
- 指数平滑法 (exponential smoothing)
 - 過去の予測値と実績値を用いる方法
 - 予測値 = $w \times \text{前回の実績値} + (1 - w) \times \text{前回の予測値}$
- 回帰分析 (regression analysis)

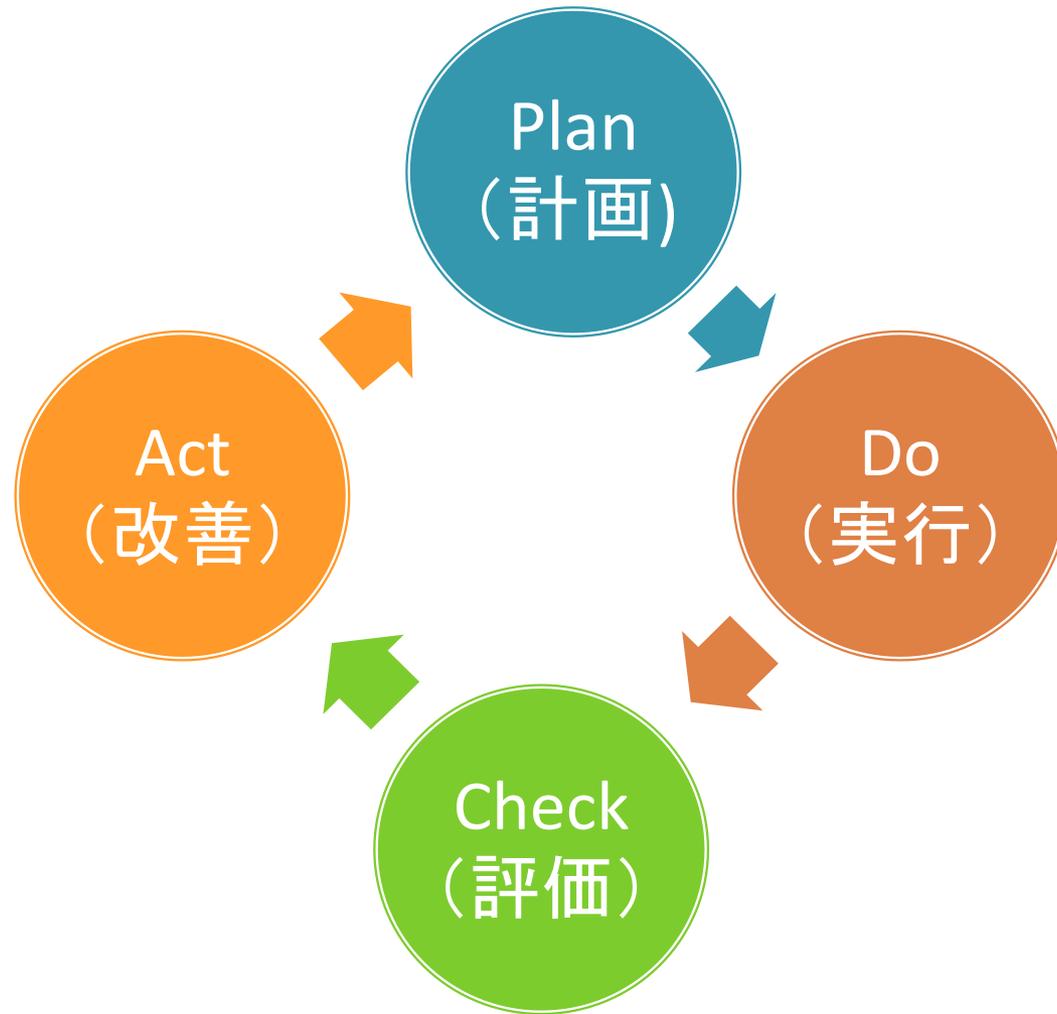
生産方式による生産の形態

	一品 少量 (Low Volume)	多品種 少量 (Low Volume)	少品種 大量 (High Volume)	1品種 大量 (High Volume)	
バッチ (Batch)	<div style="text-align: center;"> <p>薬品 喫茶店</p> <p>↓</p> <p>自動車 McDonalds</p> <p>↓</p> <p>砂糖 製油所</p> </div>				柔軟性(High) コスト (High)
ラインフロー (Assembly Line)					
連続 (Continuous)					柔軟性(Low) コスト (Low)

製造情報システムの機能

- 見えるか
 - What? 生産状況, 出荷の進捗, 在庫の状況の情報
 - How? リアルタイムで把握
- リードタイムの削減
 - 原材料が加工・組立の工程を経て製品が完成するまでの時間を短縮
- カイゼン
 - PDCAサイクルにより改善していく

PDCAサイクル



PDCAサイクル

- Plan (計画)
 - 目標および手順・方法の設定
- Do (実行)
 - 目標を達成するための手順・方法の実施
- Check (評価)
 - 結果を測定・評価
- Act (改善)
 - 継続的な向上に必要な措置を実施, 次のサイクルにつなぐ
 - 修正するか破棄を決定する

製造情報システムの利点

- 管理効率の向上
- 情報のデジタル化、正確性
- 計算機による計画作業の効率化

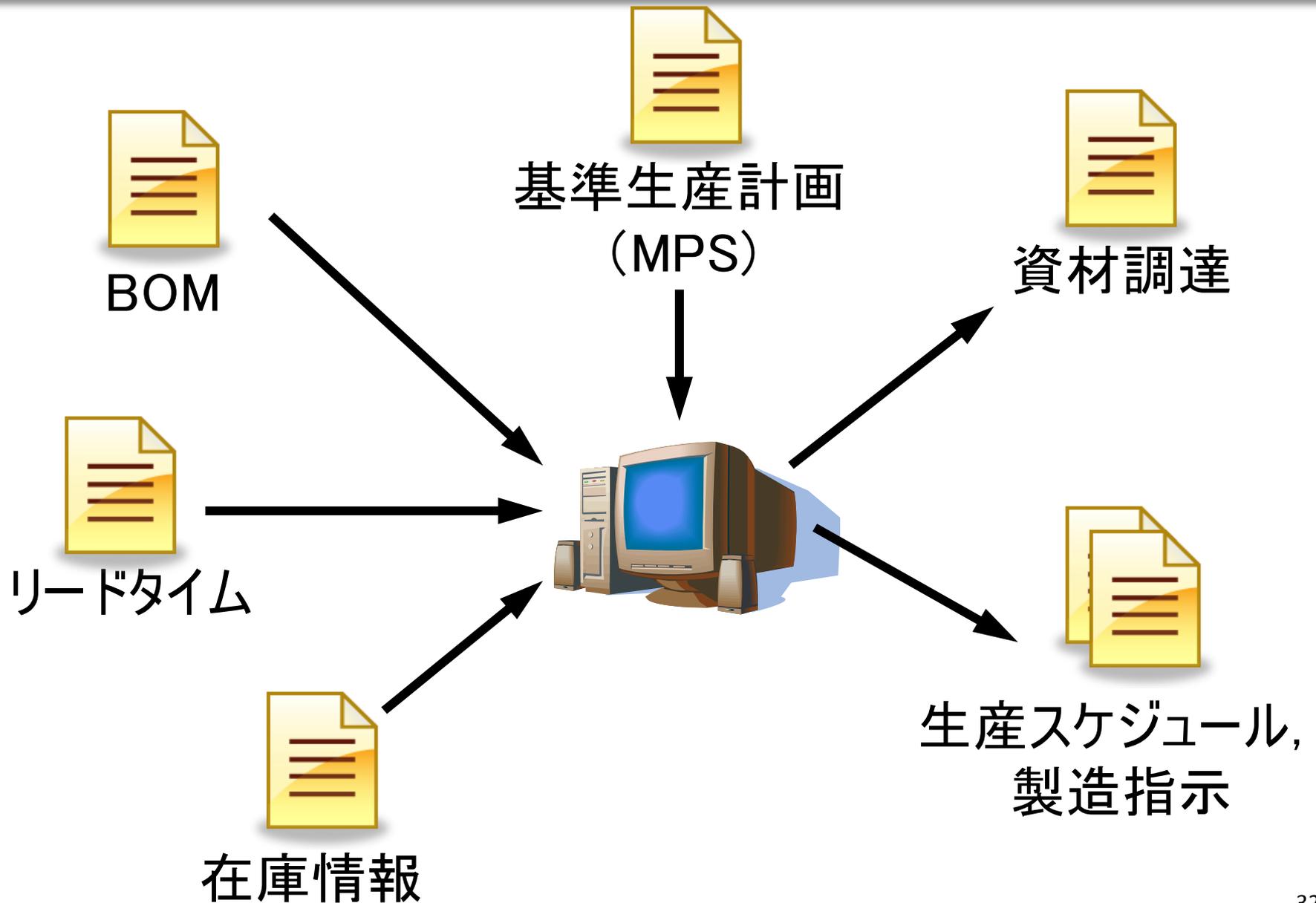
製造情報システム

- ERP（統合基幹業務システム）
- MRPII（製造資源計画システム）
- MRP（資材所要量計画システム）
- EDMS（文書管理システム）
- LIMS（ラボ情報管理システム）
- MES（製造実行システム）
- DCS（分散制御システム）

MRP (Material Requirement Planning)

- MRP (資材所要量計画)システム
- コンピュータを前提に開発された
- 1960年代にOliver W. Wightらによって提唱された
- Material Requirement Planningとは
 - 所定数量の製品を作るのに必要な材料, 部品の所要量の計算法
 - 機器を構成する部品の必要所要量を登録したBOMが必須

MRPシステム



標準生産計画 (MPS: Master Production Schedule)

- 標準生産計画 (MPS: Master Production Schedule) とは
 - 生産する製品品目, 生産時期, 生産すべき数量をあたえる計画書
- 組立生産 (自動車, 電気製品など)
 - 月間日別の計画が多い
- ロット生産 (部品など)
 - 週間日別の計画が多い

部品表 (BOM : Bill of Material)

- 製品を製造するために部品や原材料がいくつ必要かを計算するための一覧表です。
- BOMは製品がどの部品いくつから構成されるかの関係を示すのに使われる。
- Materialというものは
 - 部品
 - 素材
 - 原料・材料・資材
 - 中間品
 - 製品

生産スケジュール(日程計画)

- 生産スケジュール(Production Schedule)とは
 - 生産の実行計画
 - 各工程の作業日程を与える計画
 - 個別の加工・組立順序, 材料の手配, 外注の発注を計画して表すこと

リードタイム

リードタイムとは「ある目的のためにかかる時間(期間)」のことである。

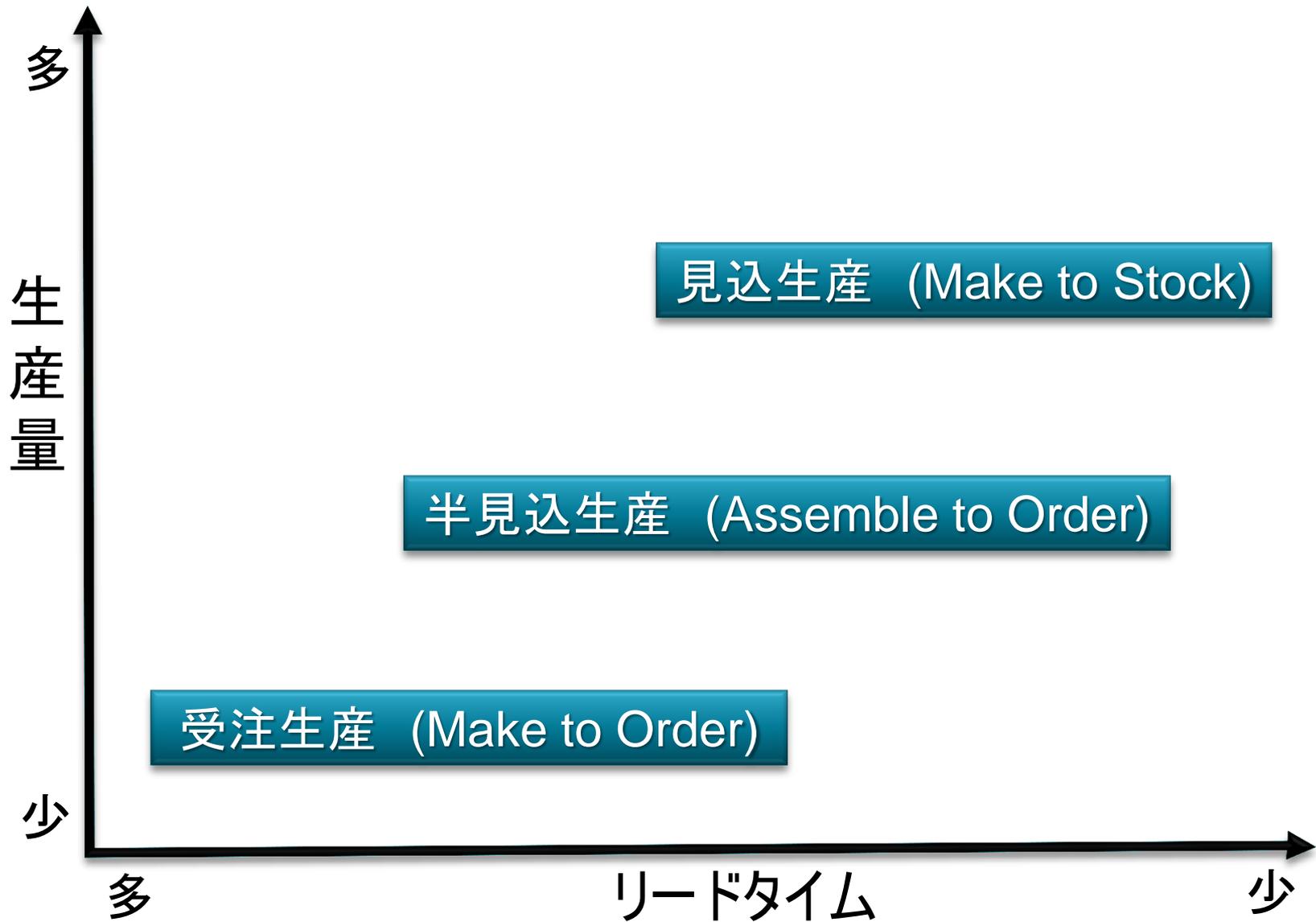
生産リードタイムは、生産に着手してから製品を出荷するまでの時間をいう。

生産リードタイム = 各工程の加工時間 + 検査時間 + 停滞時間

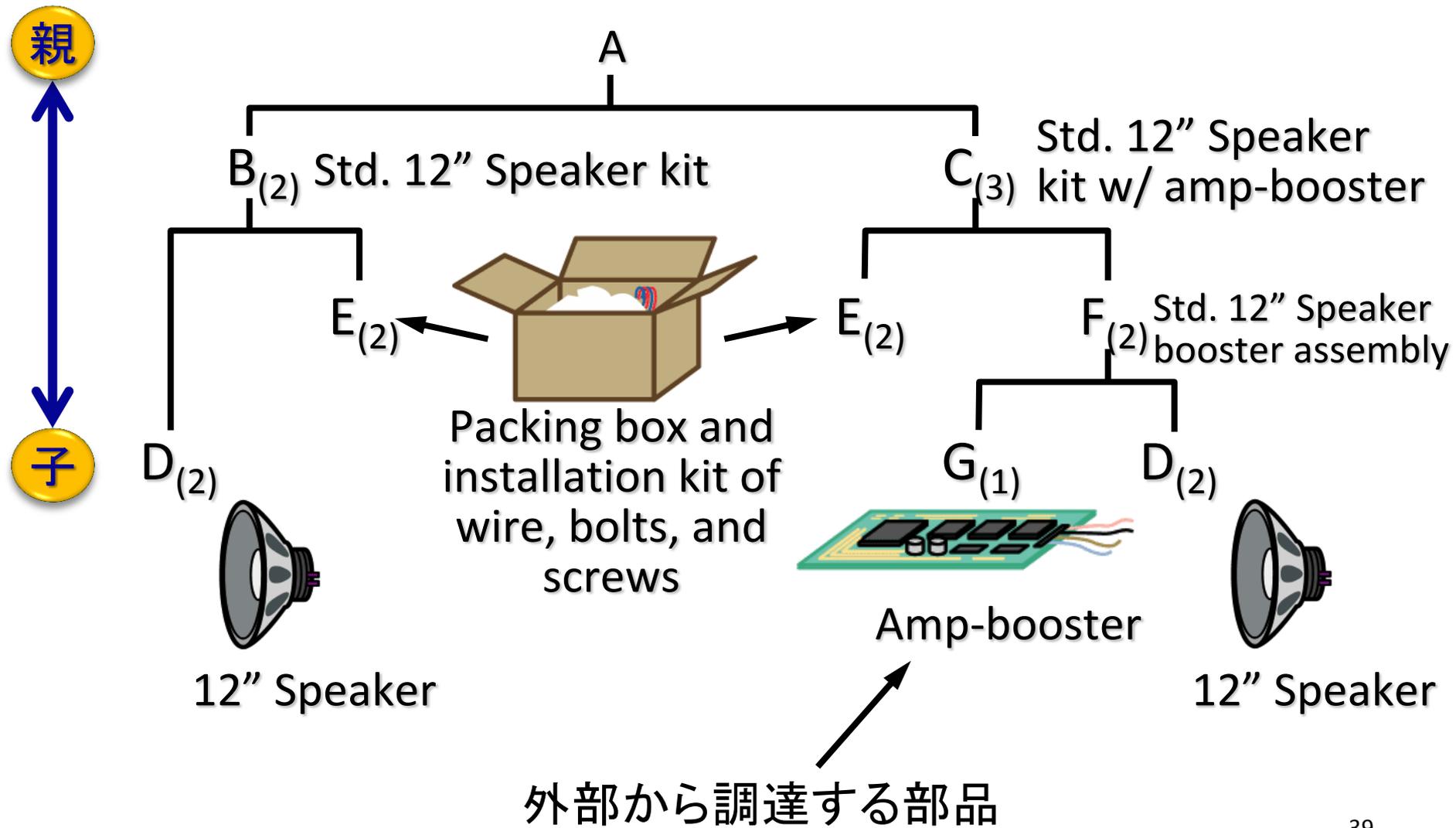
リードタイム

- 発注リードタイム
 - 顧客が発注してから手に入れるまでの待ち時間
- 調達リードタイム
 - 材料や部品の発注してから納品されるまでの期間
- 配送リードタイム
 - 工場から顧客の納入場所に届くまでの配送時間

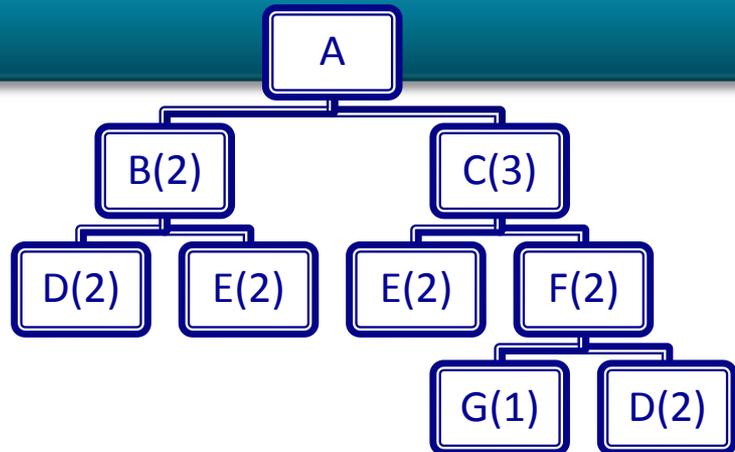
リードタイムと生産量



BOMの例:オーディオ機器のBOM



部品計算



部品B: $2 \times A$ の個数 =

部品C: $3 \times A$ の個数 =

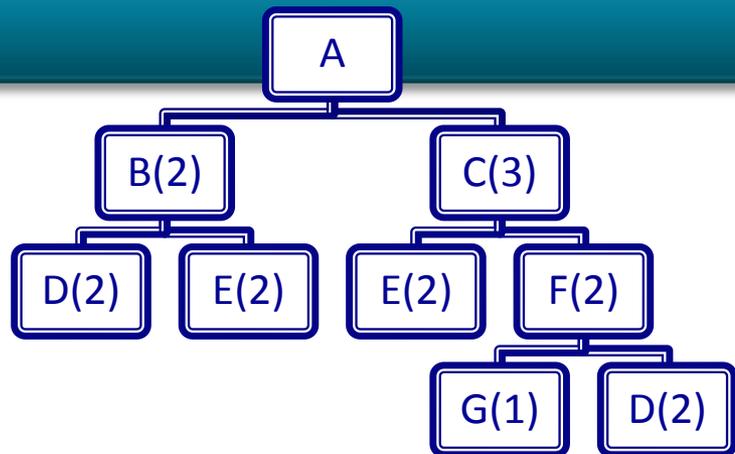
部品D: $2 \times B$ の個数
+ $2 \times F$ の個数 =

部品E: $2 \times B$ の個数
+ $2 \times C$ の個数 =

部品F: $2 \times C$ の個数 =

部品G: $1 \times F$ の個数 =

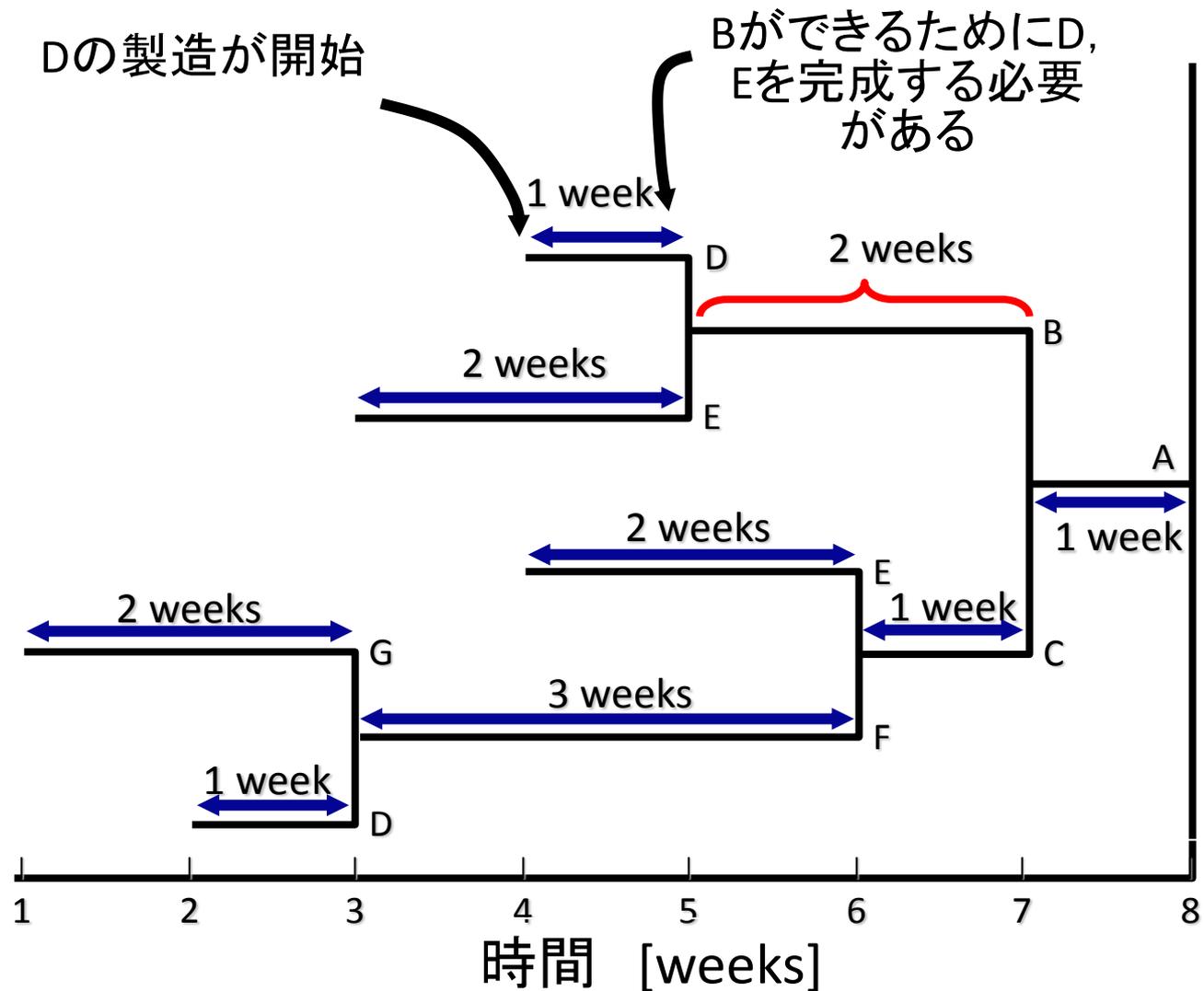
部品計算



Aを50個を生産
する場合

部品B:	$2 \times A$ の個数 =	$(2)(50) =$	100個
部品C:	$3 \times A$ の個数 =	$(3)(50) =$	150個
部品D:	$2 \times B$ の個数 + $2 \times F$ の個数 =	$(2)(100) + (2)(300) =$	800個
部品E:	$2 \times B$ の個数 + $2 \times C$ の個数 =	$(2)(100) + (2)(150) =$	500個
部品F:	$2 \times C$ の個数 =	$(2)(150) =$	300個
部品G:	$1 \times F$ の個数 =	$(1)(300) =$	300個

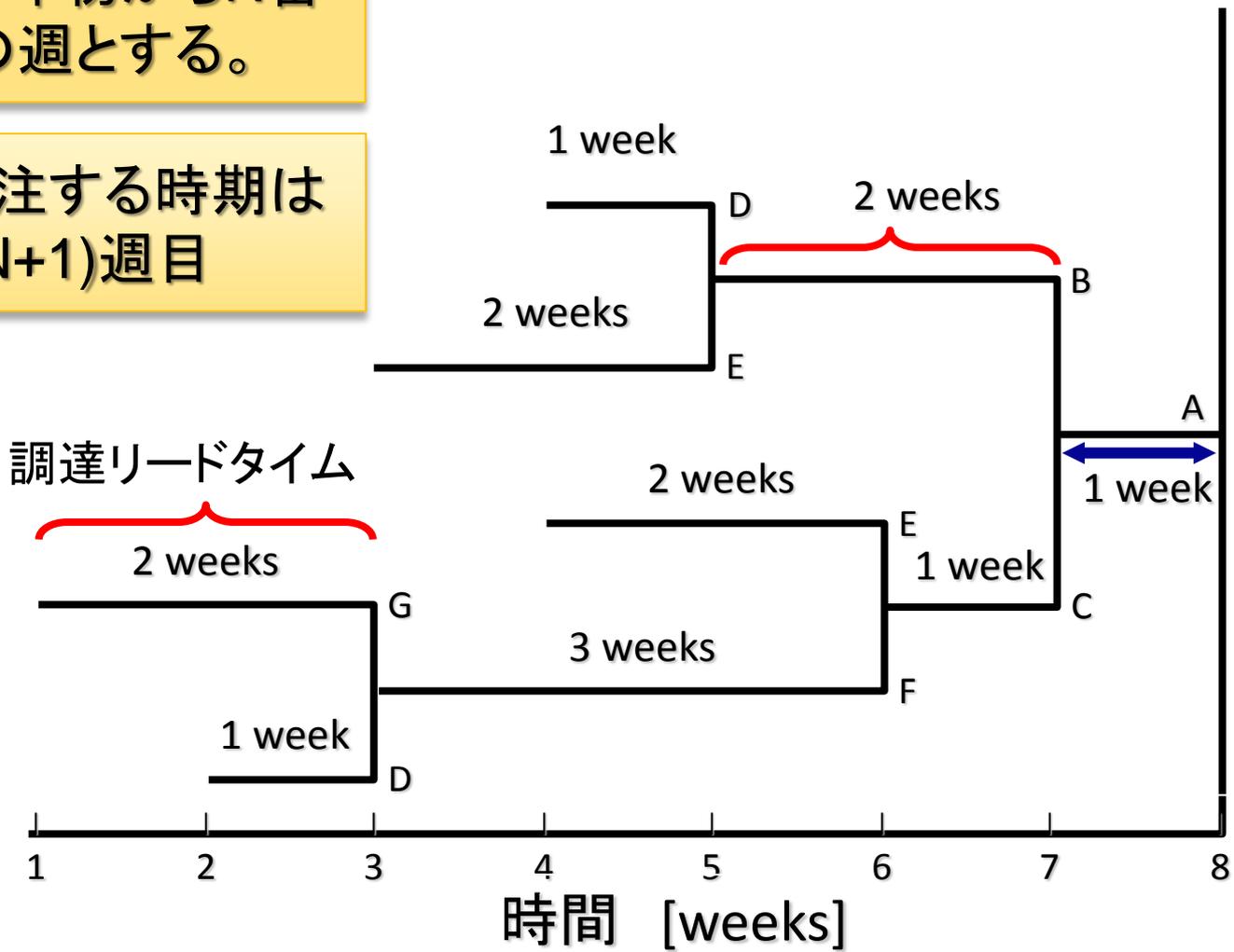
オーディオ機器の生産リードタイム



発注時間の計算

現在を年初からN番目の週とする。

Gを発注する時期は(N+1)週目



所要量 (Requirements)

所要量は必要な資材・部品の数量を表す量である。

正味所要量 = 総所要量 - 引当可能在庫量

引当可能在庫量は現在ある在庫のうちから使ってよい在庫の数量を表すものである。

正味所要量: net requirements

総所要量: gross requirements

引当可能在庫量: on-hand inventory

オーディオ機器の総所要量計算

所要量を期間ごとにまとめたものを総所要量という。

		Week							
		1	2	3	4	5	6	7	8
A	出荷予定								
	生産指示								
B	出荷予定								
	生産指示								
C	出荷予定								
	生産指示								
E	出荷予定								
	生産指示								
F	出荷予定								
	生産指示								
D	出荷予定								
	生産指示								
G	出荷予定								
	生産指示								

正味所要量 (Net Requirements)

正味所要量 = 総所要量 - 引当可能在庫量

例えば、オーディオ機器の正味所要量を計算しましょう。

現在を年初から N 番目の週、 a 週後を $(N+a)$ 週とする。
 $(N+8)$ 週目が納期となる製品Aを55個注文を受けた。現在、Aは在庫に12個の在庫があり、それ以前に7個を出荷することが決まっている。

なお、B、E、Fの引当できる在庫量が10個ずつあるとする。
C、Gの引当可能在庫量が0個だとする。
Dの引当可能在庫量が590個だとする。

オーディオ機器の正味所要量

		正味所要量計画							
		Week							
		1	2	3	4	5	6	7	8
A	総所要量								
	引当可能在庫量								
	正味所要量								
	計画注文量								
	計画発注量								

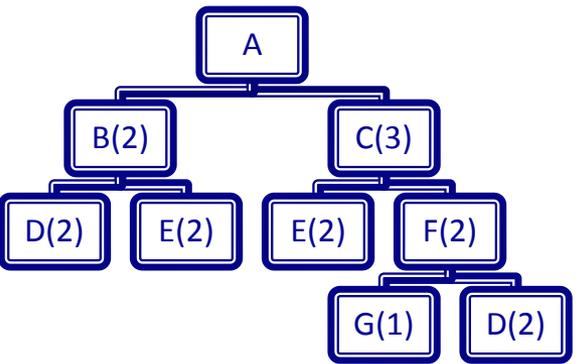
Aの総所要量 = 55個

Aの引当可能在庫量 = 12個 - 7個 = 5個

Aの正味所要量 = 55個 - 5個 = 50個

オーディオ機器の正味所要量

		Week							
		1	2	3	4	5	6	7	8
A	総所要量								
	引当可能在								
	正味所要量								
	計画注文量								
	計画発注量								
B	総所要量								
	引当可能在								
	正味所要量								
	計画注文量								
	計画発注量								



Bの総所要量 = $50 \times 2 = 100$ 個

Bの引当可能在庫量 = 10個

Bの正味所要量 = 100 個 - 10 個 = 90 個

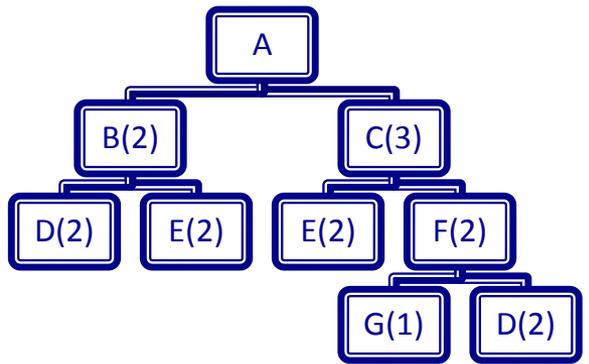
オーディオ機器の正味所要量

		Week							
		1	2	3	4	5	6	7	8
A	総所要量								
	引当可能在								
	正味所要量								
	計画注文量								
	計画発注量								
B	総所要量								
	引当可能在								
	正味所要量								
	計画注文量								
	計画発注量								
C	総所要量								
	引当可能在								
	正味所要量								
	計画注文量								
	計画発注量								

Cの正味所要量 = Cの総所要量 = $50 \times 3 = 150$ 個

オーディオ機器の正味所要量

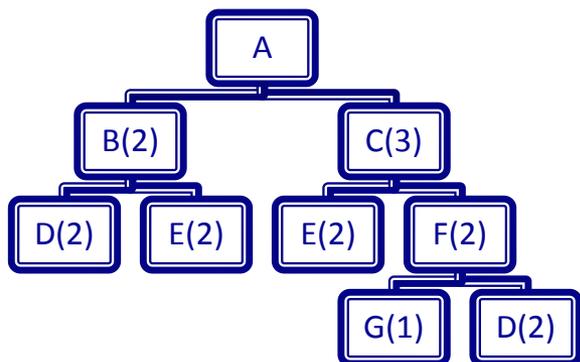
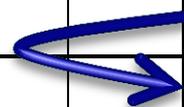
		Week							
		1	2	3	4	5	6	7	8
C	総所要量								
	引当可能在								
	正味所要量								
	計画注文量								
	計画発注量								
F	総所要量								
	引当可能在								
	正味所要量								
	計画注文量								
	計画発注量								



Fの総所要量 = $150 \times 2 = 300$ 個
 Fの正味所要量 = 300 個 - 10 個 = 290 個

オーディオ機器の正味所要量

		Week								
		1	2	3	4	5	6	7	8	
B	総所要量								100	
	引当可能在庫量								10	
	正味所要量								90	
	計画注文量								90	
	計画発注量					90				
D	総所要量					180				
	引当可能在庫量									
	正味所要量									
	計画注文量									
	計画発注量									



Dの総所要量 = $90 \times 2 = 180$ 個

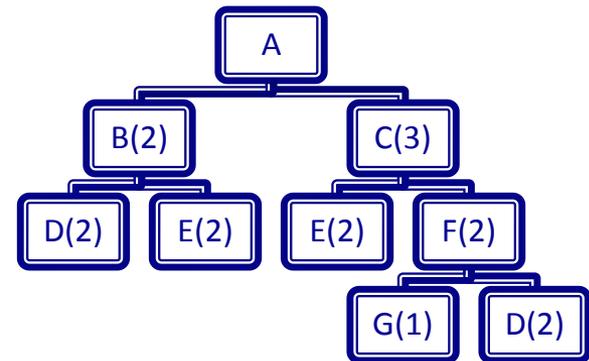
Dの引当可能在庫量 =

Dの正味所要量 =

オーディオ機器の正味所要量

正味所要量計画

		Week							
		1	2	3	4	5	6	7	8
F	総所要量						300	100	
	引当可能在						10	10	
	正味所要量						290	90	
	計画注文量						290	90	
	計画発注量			290					
D	総所要量					180			
	引当可能在								
	正味所要量								
	計画注文量								
	計画発注量								



部品の正味所要量のまとめ

Aの総所要量 = 55個

Aの引当可能在庫量 = 12個 - 7個 = 5個

Aの正味所要量 = 55個 - 5個 = 50個

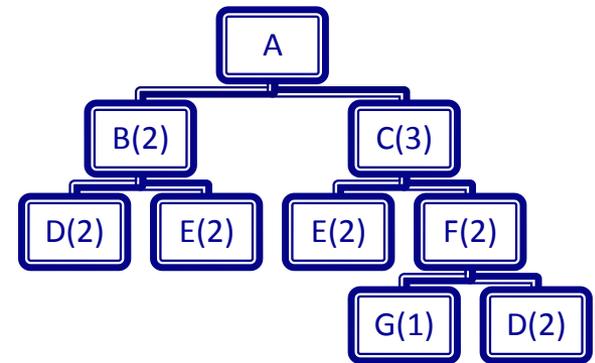
Bの総所要量 = $50 \times 2 = 100$ 個

Bの正味所要量 = 100個 - 10個 = 90個

Cの正味所要量 = Cの総所要量 = $50 \times 3 = 150$ 個

Fの総所要量 = $150 \times 2 = 300$ 個

Fの正味所要量 = 300個 - 10個 = 290個



部品の正味所要量のまとめ

Aの正味所要量 = 50個

Bの正味所要量 = 90個

Cの正味所要量 = 150個

Fの正味所要量 = 290個

Dの計算:

1) Bを作るための分

Dの総所要量 = $90 \times 2 = 180$ 個

Dの引当可能在庫量 = 10個

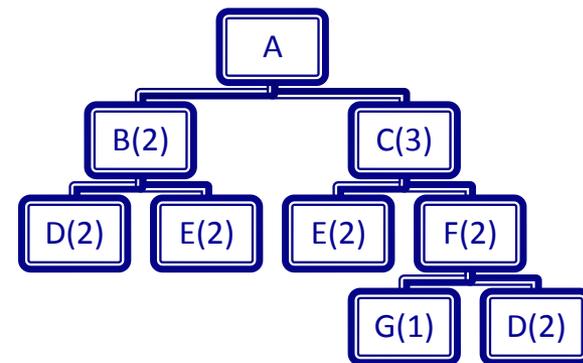
Dの正味所要量 = 180 個 - 10 個 = 170 個

2) Fを作るための分

Dの総所要量 = $290 \times 2 = 580$ 個

Dの引当可能在庫量 = 590個

Dの正味所要量 = 580 個 - 590 個 = 0 個



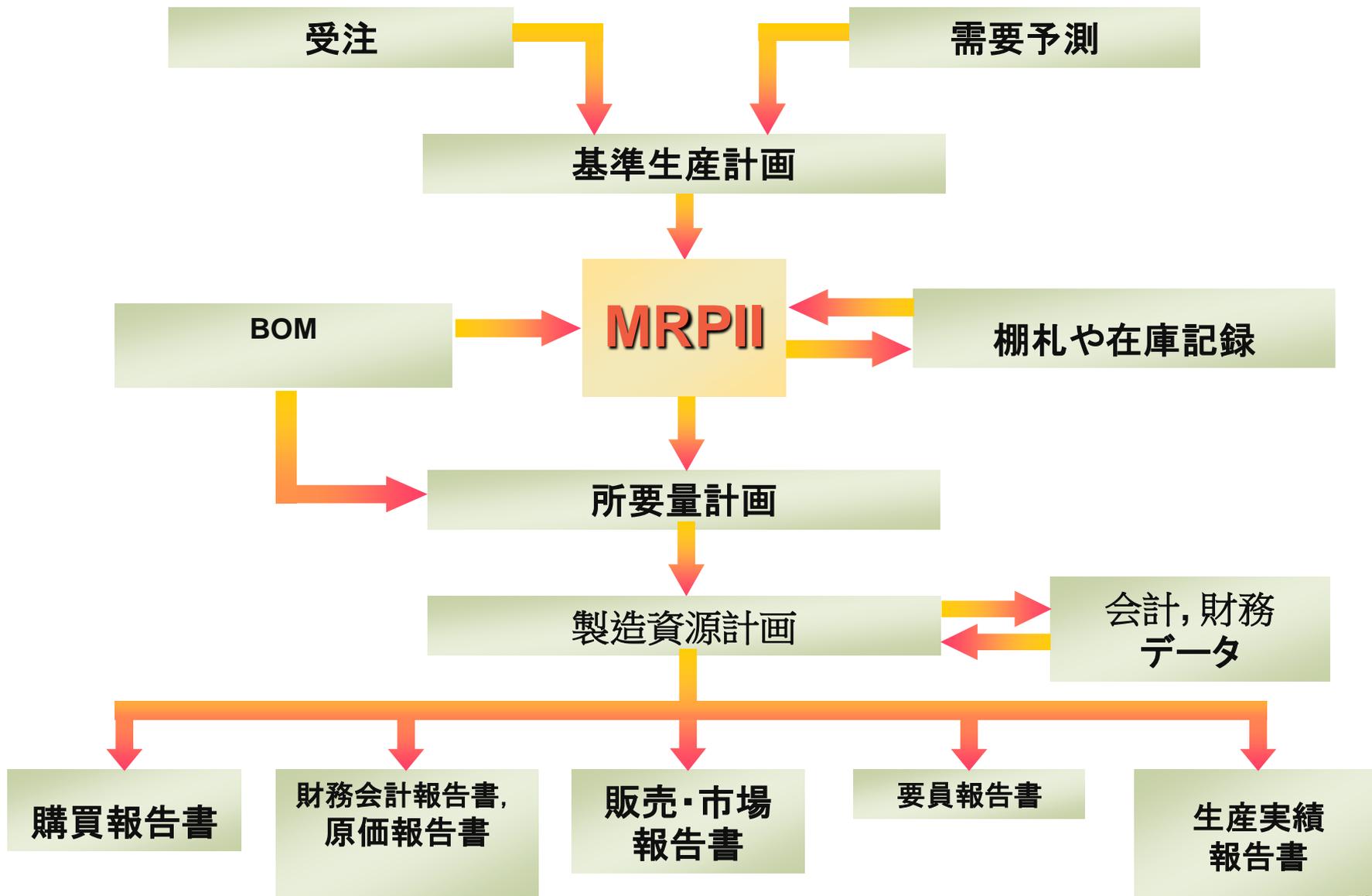
残る在庫

590 個 - 580 個 = 10 個

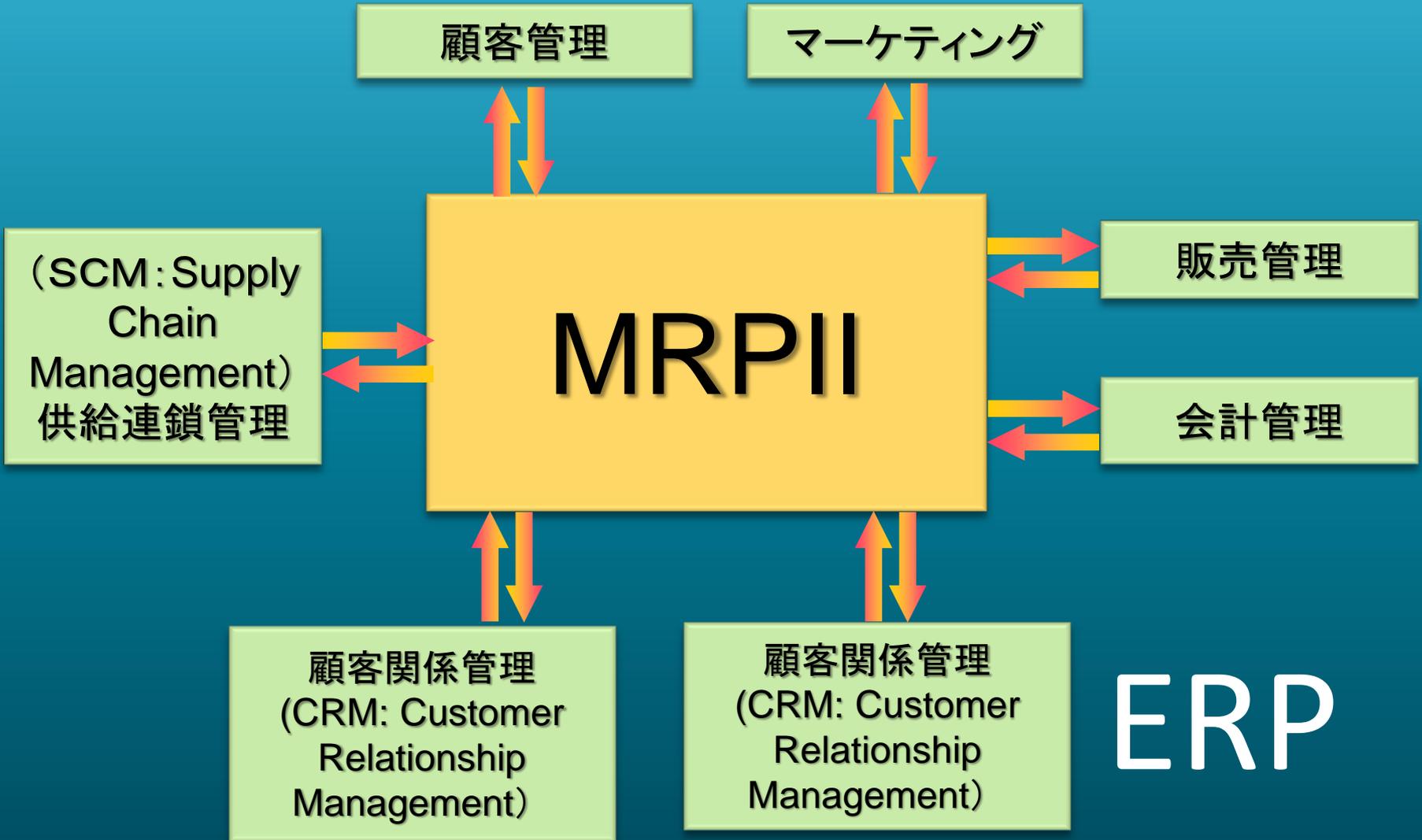
MRPII (Manufacturing Resource Planning)

- MRPII (製造資源計画)
- 所要量
 - 資材 (material)
 - 要員 (labor)
 - 機器・設備 (equipment)
 - その他の経営資源 (other resources)
- 工程能力を考慮する
- 会計とシミュレーション機能を持つ

MRPII



「ERP」は、(Enterprise Resource Planning: 統合基幹業務システム)と呼ばれ、データベースが一元化され、各サブシステム、会計、購買、在庫、販売、生産が連携されていて受注から生産、出荷、売上まで管理できる統合化されたソフトです。



ERPパッケージ採用による利点

- サプライチェーン, 生産, 経営の統合化
- 手作業の軽減・信頼性の向上が可能になる
- 情報の統一性が可能になる
- 企業グループ全体の統一的な内部統制の構築が可能になる
- 共通データベースの利用ができる
- 会社のニーズにカスタマイズができる

ERPパッケージ採用による欠点

- ERPの導入コストが巨額になる
- システム部門だけでなく、ERPと関連する部門にも変化が必要な場合がある
- カスタマイズが容易でないため、限られているERP専門家が必要
- システム維持費が高い

日本の製造業でのMRP, ERPの使用

なかなかうまくいかないケースが多い

なぜ？

生産管理, ITがわかるSE (System Engineers)が
すくないということが大きな原因です。

製造実行システム(MES)→製造管理システム

- 製造実行システム(MES)は、製造情報システムと工程制御・管理システムの間を双方向につなぐ情報システムとして考察された。
- 近年、MESはManufacturing Execution SystemからManufacturing Enterprise Solutionsに展開し、またMOMS(Manufacturing Operations Management System: 製造管理システム, 製造オペレーション・システム)としても知られている

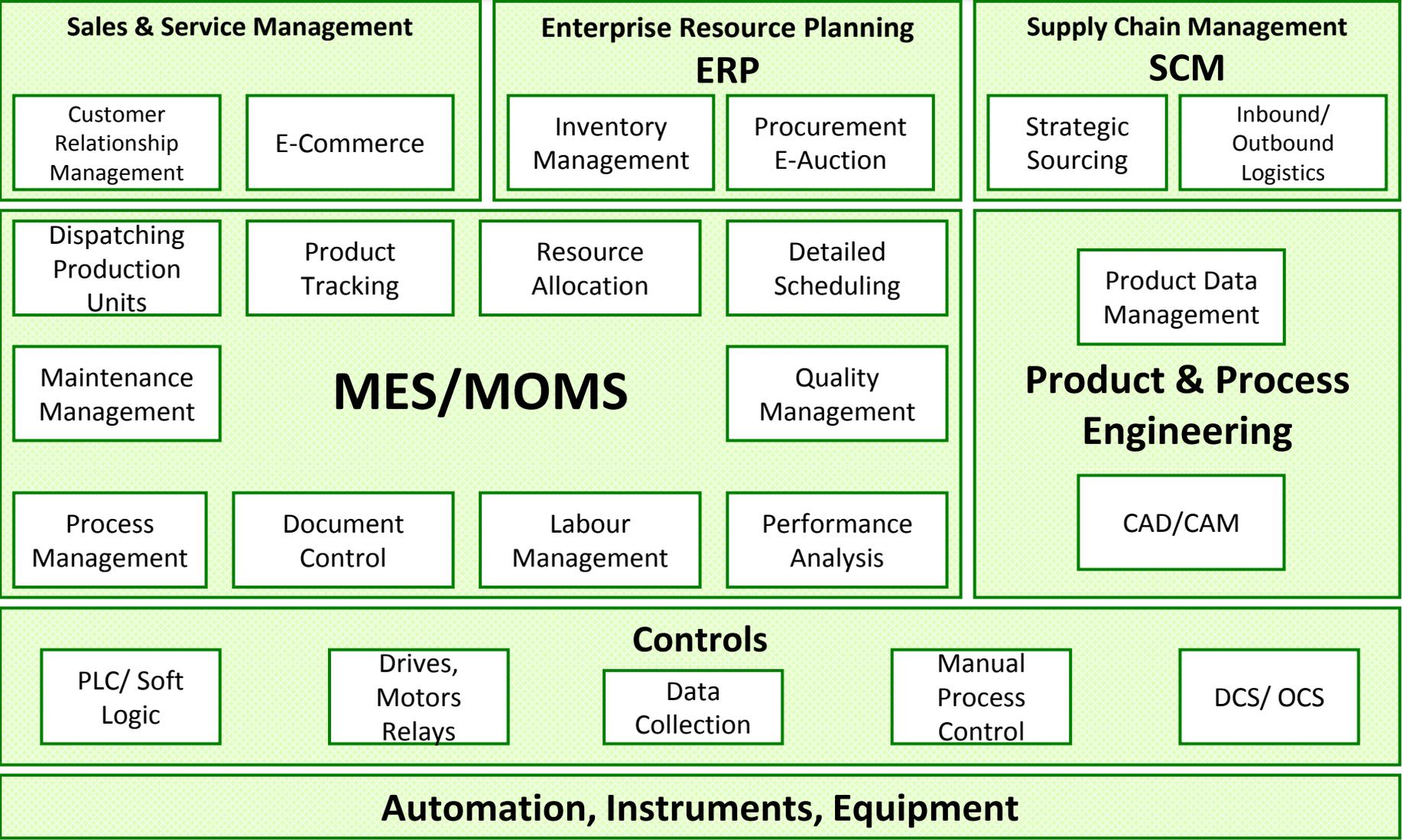
- 1. 詳細スケジューリング (detailed scheduling)
- 2. 設備, 人, 資材などの生産資源の配分・監視 (resource allocation and status)
- 3. 差立て・製造指示 (dispatching production units)
- 4. 仕様・文書管理 (document control)
- 5. 情報収集 (data collection/acquisition)
- 6. 作業管理 (labor management)
- 7. 製品品質管理 (quality management)
- 8. 生産工程の管理 (process management)

- 9. 設備の保守・保全管理 (maintenance management)
- 10. 製品追跡と製品体系管理 (product tracking and genealogy)
- 11. 実績分析 (performance analysis)

その他の情報システム

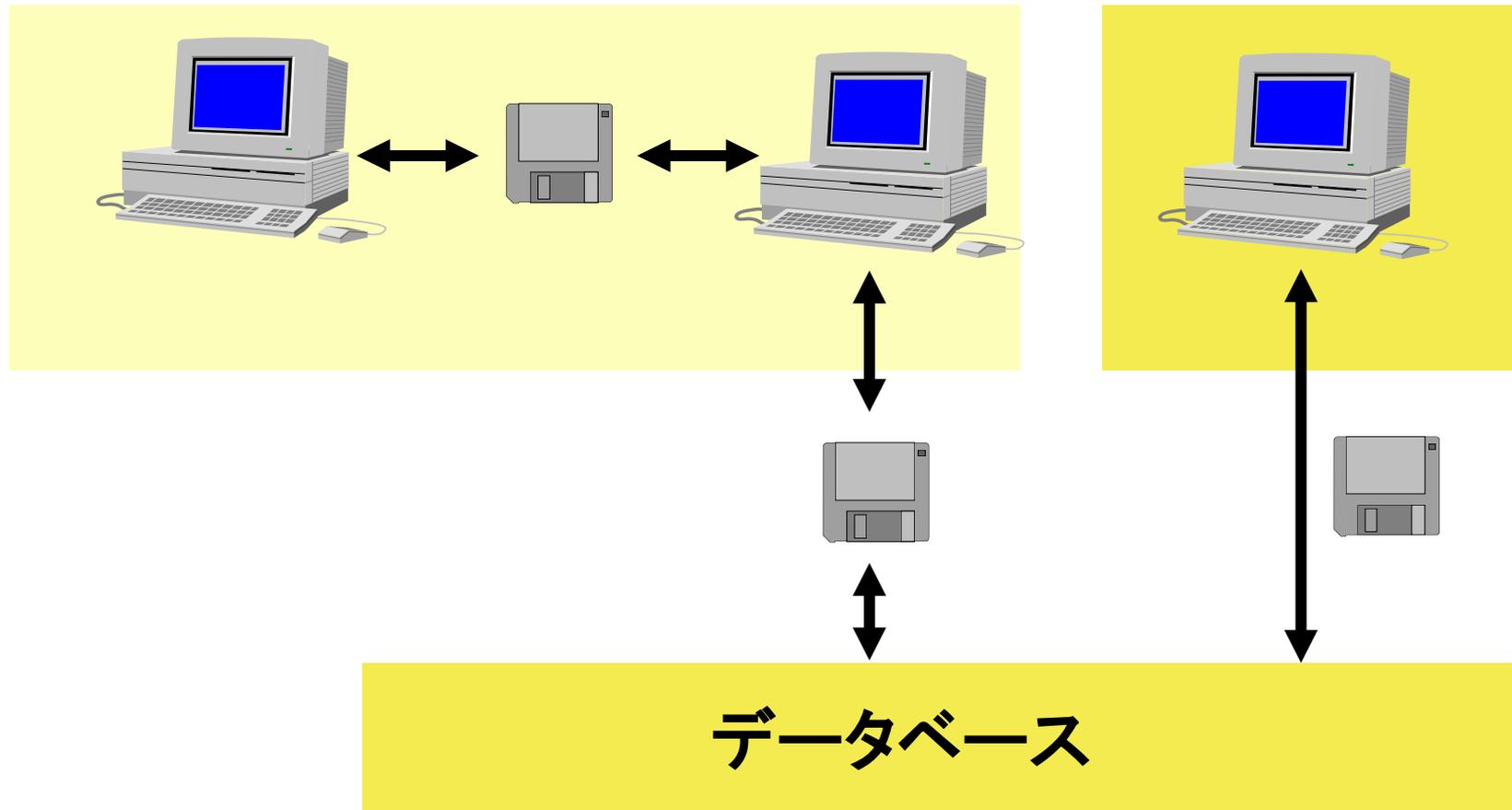
- APS (Advanced Planning and Scheduling, 先進的スケジューリング)
- LIMS (Laboratory Information Management System: ラボ情報管理システム)
- DCS (Distributed Control System: 分散制御システム)
- PDM (Product Data Management: 製品データ管理 / 設計技術情報管理)
- CAD (Computer Aided Design: コンピュータ支援設計)

情報システムの全体構成



出典: H. Kirmann (ABB Research Center). Industrial Automation (2005)

統合化



● 統合化が困難

- 経営のロジスティックスと製造オペレーション・システムとの統合化が困難
- 製造オペレーション・システムとその他のシステムの統合化が困難
- 生産, メンテナンス, 研究開発などの統合化が困難
- 統合プロジェクトは通常1年以上かかる
- 用語が異なり, 専門用語がばらばら
- 異なるコンピュータシステム
- それぞれ異なる組織文化

- 製造向けアプリケーションの統合化
 - 多くの製造拠点には複数のベンダーのアプリケーションがある
 - それぞれのバージョンも異なる
 - 統合化はプロジェクト全体コストの50%～80%を占める

- 統合化規格である
- 米国のANSI規格であり, IEC/ISO 62264規格としても利用可能になっている
- ボランティアのエキスパートからなるISA委員会によって開発された

S95の統合化層

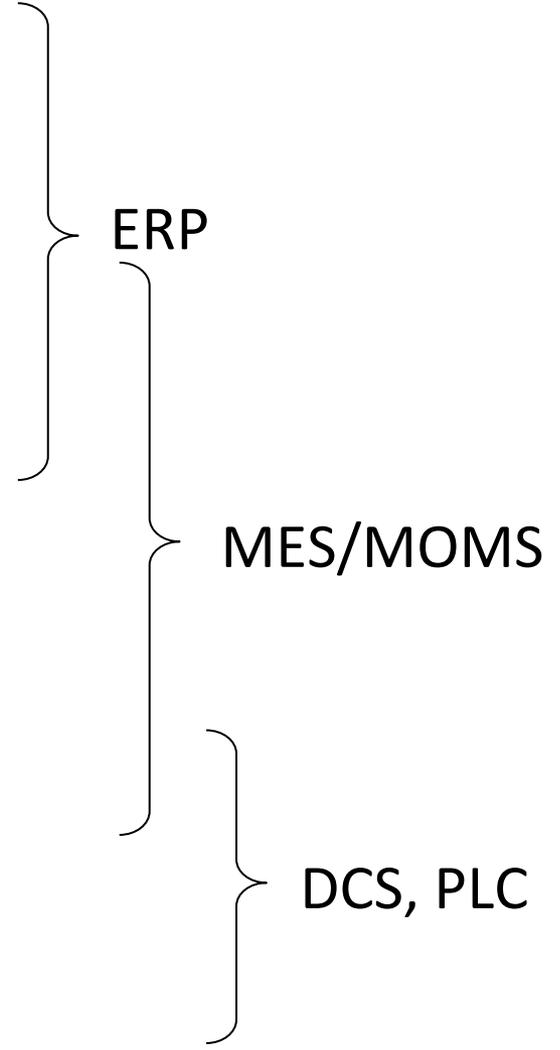
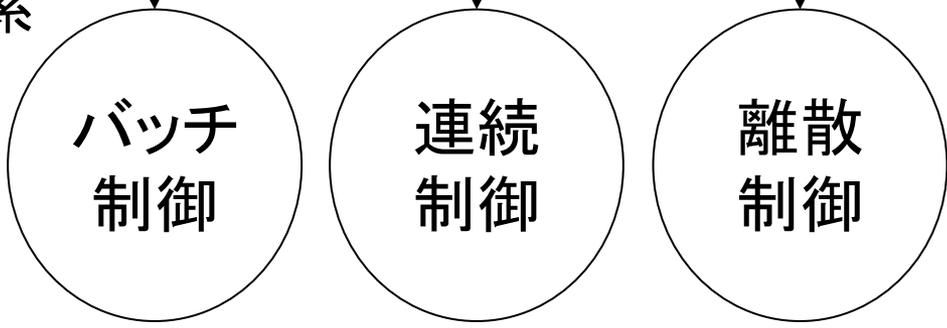
業務計画系



製造管理系



制御系

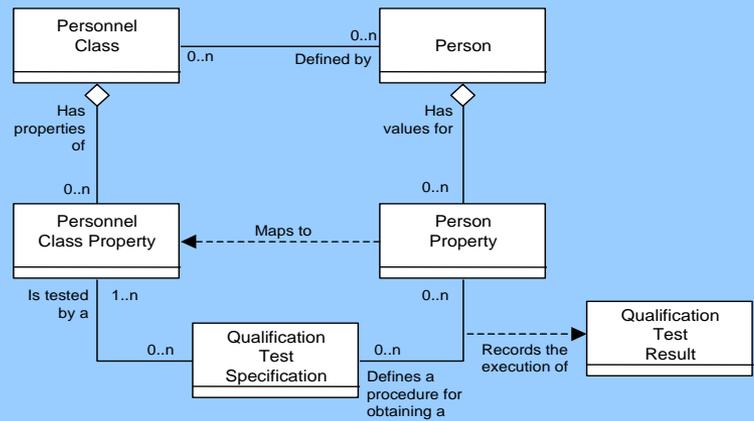


ISA 95はデータモデルを定義する

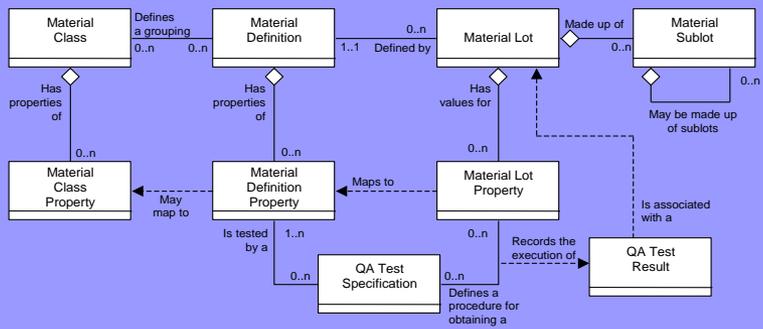
- データモデル
 - 情報を交換するためのモデル
 - ベンダーに依存しない情報記述
- UMLによる定義
 - UML (Unified Modeling Language)
 - ISO/IEC 19501-1, 情報技術—Unified Modeling Language (UML)—Part 1: 仕様
- WBF(The Organization for Production Technology)のB2MMLスキーマを用いて実装
 - XML (eXtensible Markup Language)
 - XMLスキーマ定義

S95 UML モデル

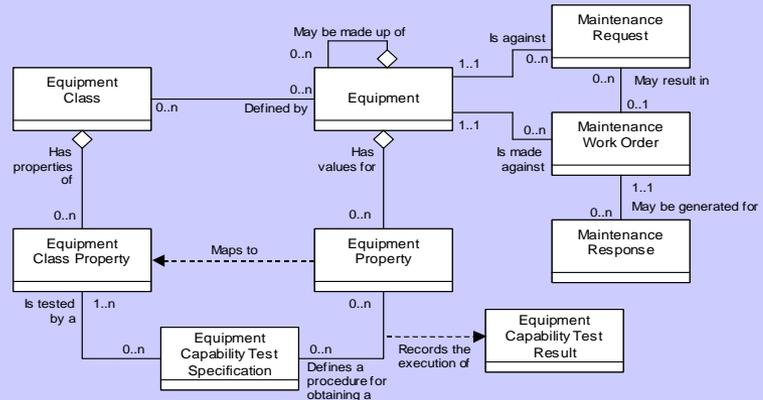
Personnel Model



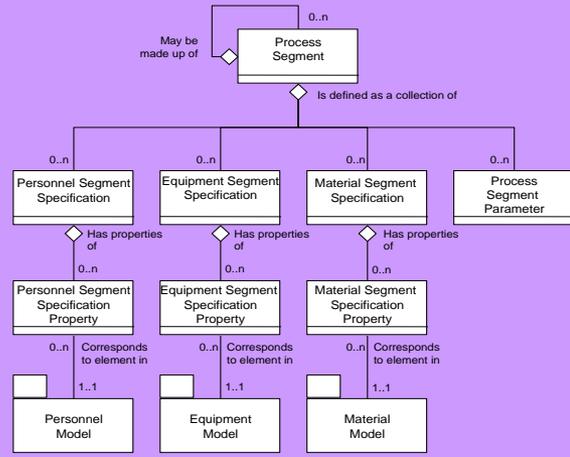
Material Model



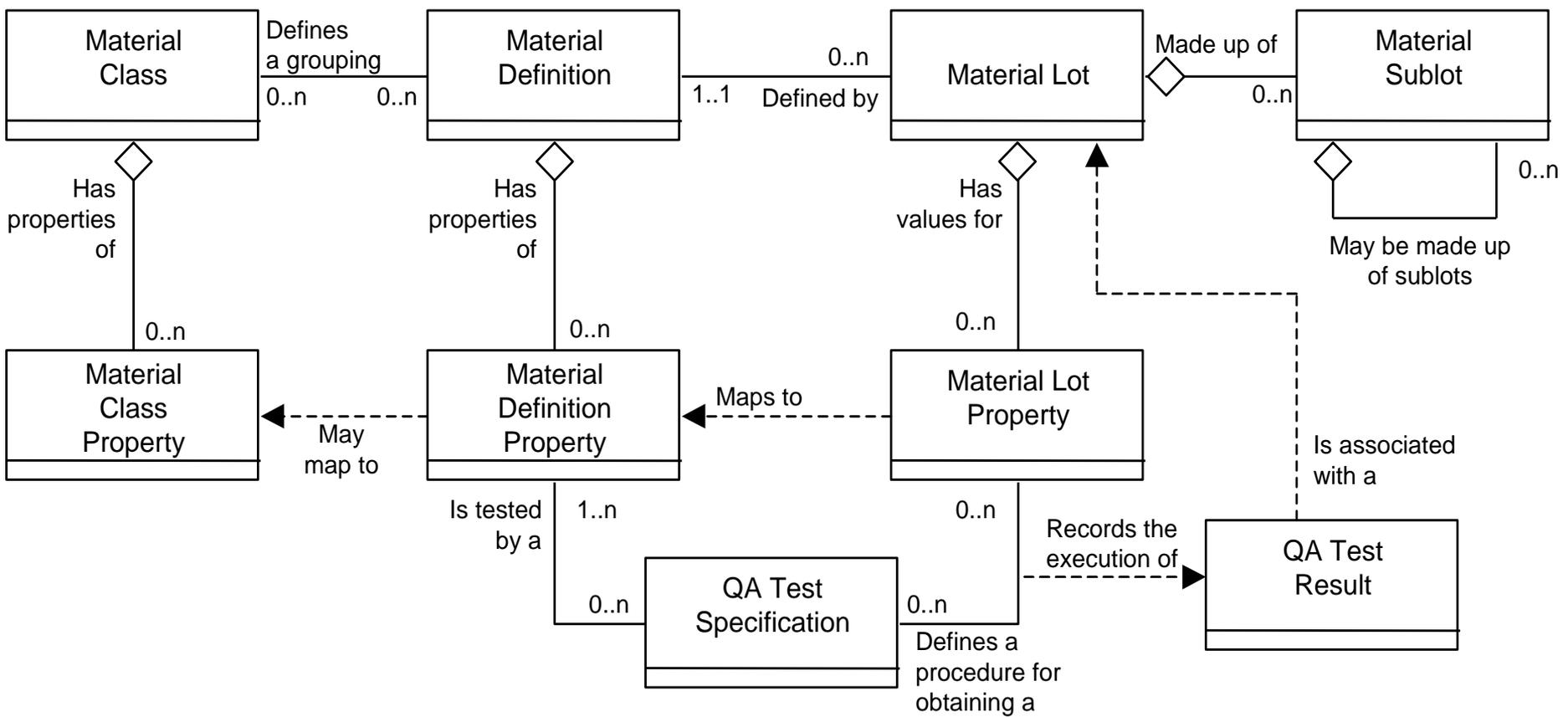
Equipment Model



Process Model



S95のUMLモデルの例: Material Model



B2MMLの例 (生産ロット)

```
<Material>
  <MaterialLot>
    <ID> W89 </ID>
    <Description> A lot of material </Description>
    <MaterialDefinitionID>WXE908</MaterialDefinitionID>
    <Location> Tank 1 </Location>
    <Quantity UnitOfMeasure = "KL" > 4500
  </Quantity>
  <MaterialLotProperty>
    <ID> dateTimeProduction </ID>
    <Value> 2001-01-06T00:14:23+11:30 </Value>
  </MaterialLotProperty>
  <MaterialLotProperty>
    <ID> Quality Status </ID>
    <Value> Good </Value>
  </MaterialLotProperty>
</MaterialLot>
</Material>
```

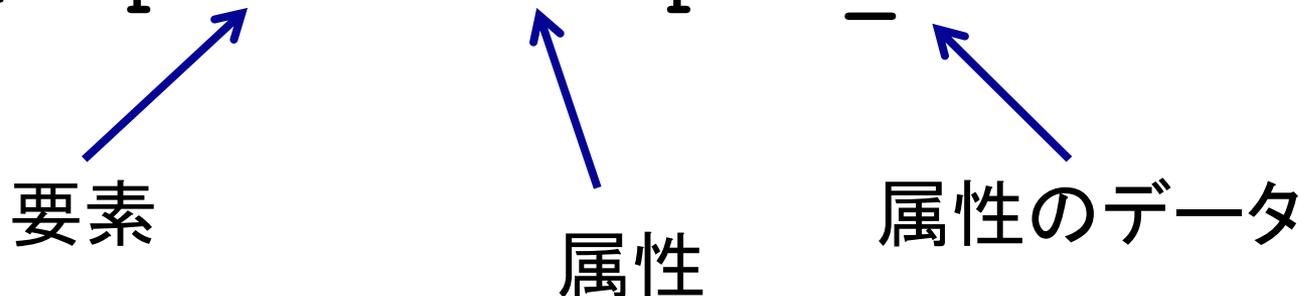
- eXtensible Markup Languageの略
- 広く使われているデータ記述・共有・転送言語
- インターネット上で交換可能なデータの標準フォーマット
- テキスト形式
- 同じファイルは異なる目的を持つ複数ソフトで使える
- 階層構造
 - 短い時間で処理ができる

- 要素 (element)

- 名前の付けられた構成要素
- elementは木構造で結ばれデータを構成する
- 根を root element
- 例: `<product> ... </product>`
- タグは開きタグ `<abc>` と閉じタグ `</abc>` で一対

- 属性 (attribute)

- 例: `<product id="prod_123">`



- DTD (Document Type Definition)
 - タグの定義などを行う
 - 要素と要素の階層構造の関係を定義
 - XML内部または外部記述として使用可能
- XMLスキーマ
 - XMLスキーマ実体はXMLで記述されている
 - DTDの代替
 - 名前空間(namespace)とデータ型(data types)を使用

内容	意味
要素型宣言 (ELEMENT)	XMLインスタンスで使用できる要素、要素名、階層を定義
属性リスト(ATTRLIST)	属性のリストを宣言
実体宣言(ENTITY)	実体(文字、文字列、読み込むファイル)を宣言
記法宣言(NOTATION)	外部ファイルとして参照するXML以外の形式を定義

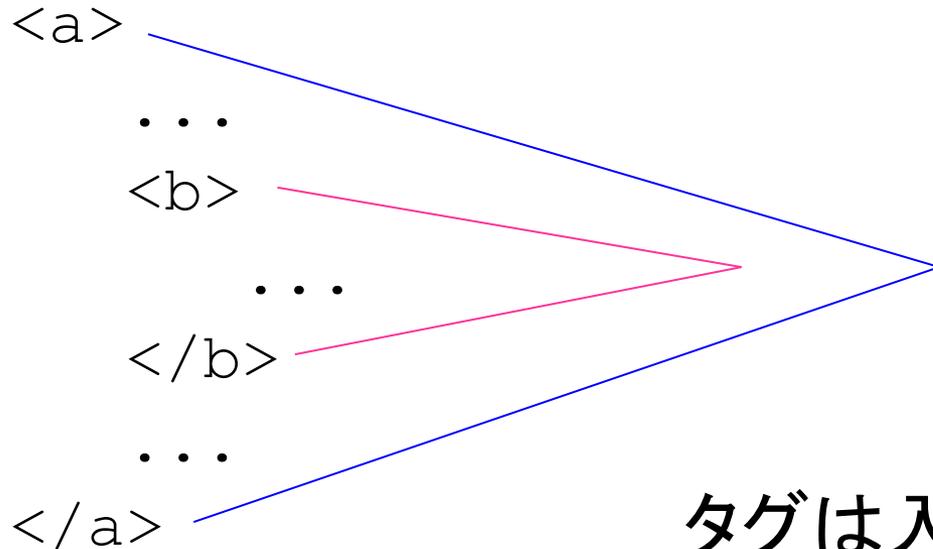
XMLの例

```
<$xml version="1.0" encoding="shift_jis"?>
<!DOCTYPE product[
  <!ELEMENT product (product_name, price)>
  <!ELEMENT product_name (#PCDATA)>
  <!ELEMENT price (#PCDATA)>
  <!ATTLIST product id ID #REQUIRED>
]>
```

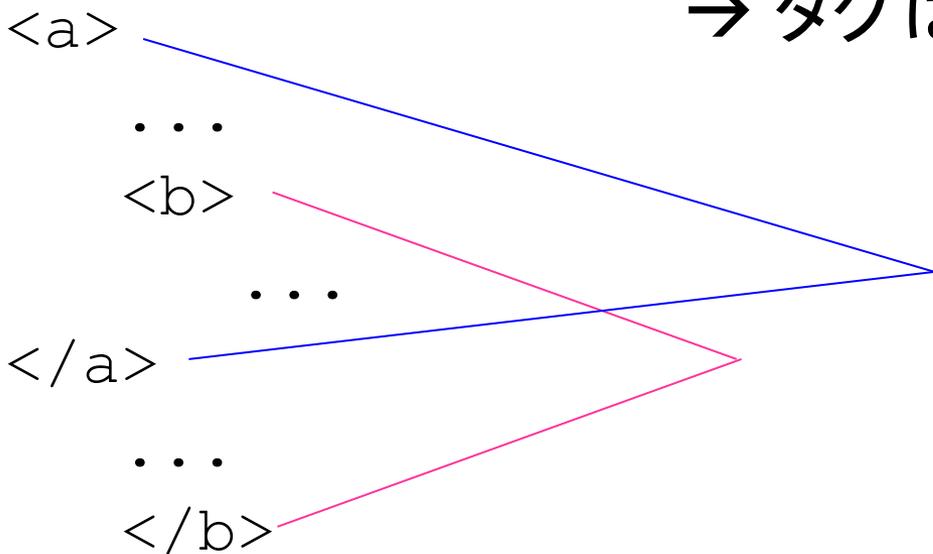
DTD

```
<product id="prod_123">
  <product_name>マウスパッド</product_name>
  <price>1200円</price>
</product>
```

XMLタグの構成



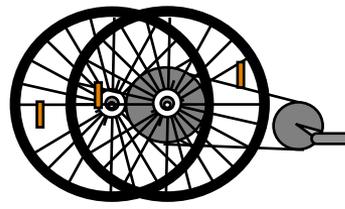
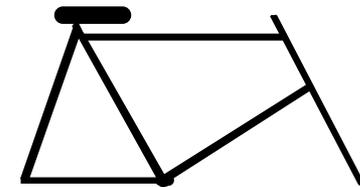
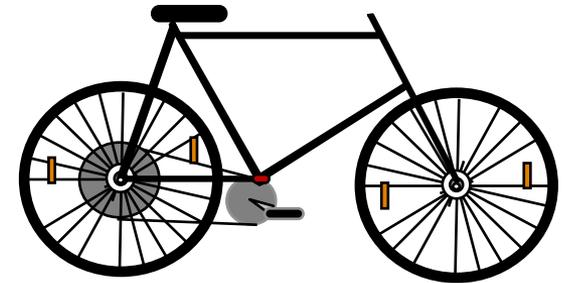
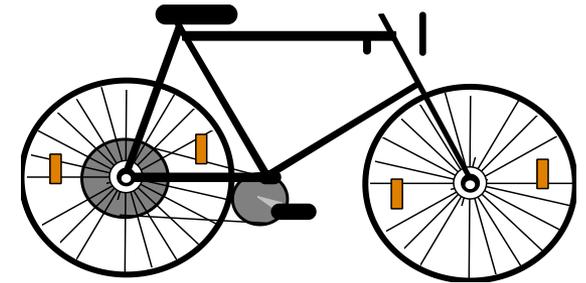
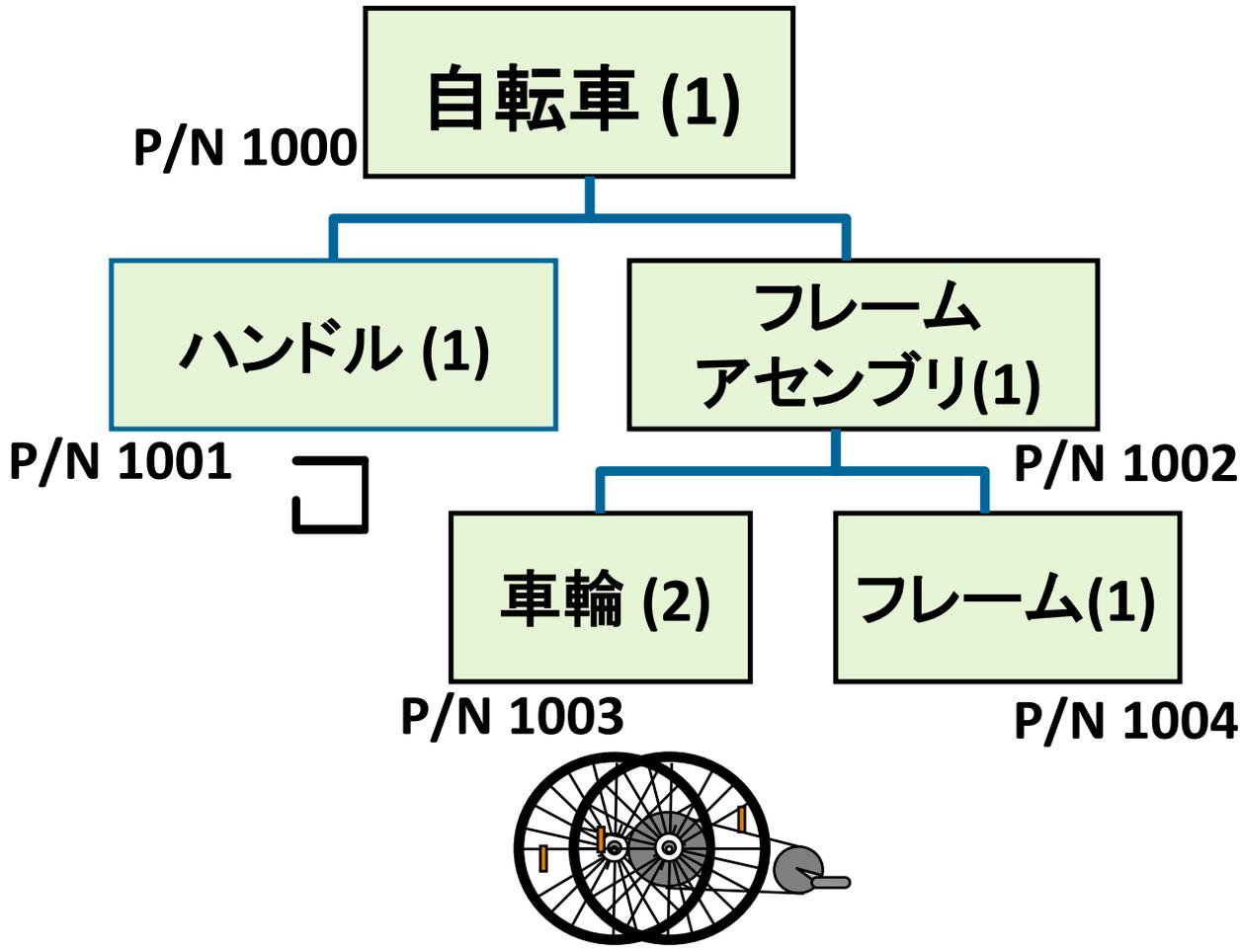
タグは入れ子でなければならない。
→ タグは交差してはいけない



- XML Cooktop
 - DTD, XML作成機能がある
 - <http://xmlcooktop.com>
- Xerlin
 - DTD作成機能がない
 - <http://www.xerlin.org/>.

自転車のBOM

「bill_of_material」、「product」、「part」、「amount」という要素を使って、次の自転車のBOMをXMLで記述してください。



自転車のBOM