

第15回：フレキシビリティ

1. フレキシビリティの概念
2. 部品の共通化
3. 工程の汎用化

東京大学経済学部

藤本隆宏

「※:このマークが付してある著作物は、第三者が有する著作物ですので、同著作物の再使用、同著作物の二次的著作物の創作等については、著作権者より直接使用許諾を得る必要があります。」

1. フレキシビリティの概念

フレキシビリティの機能

フレキシビリティ = 柔軟性、融通性、弾力性、汎用性
変化・多様性に対するシステムの対応能力

QCDに比べれば、二次的、潜在的なファクター

何の何に対するフレキシビリティか？

- ・ コスト、品質、納期 etc. の
変化、多様性 etc. に対する フレキシビリティ

フレキシビリティの構造

(1) 共通モジュール(設備本体、汎用技能、共通部品など)

(2) 変化対応モジュール(金型、製品特殊技能、製品特殊部品)

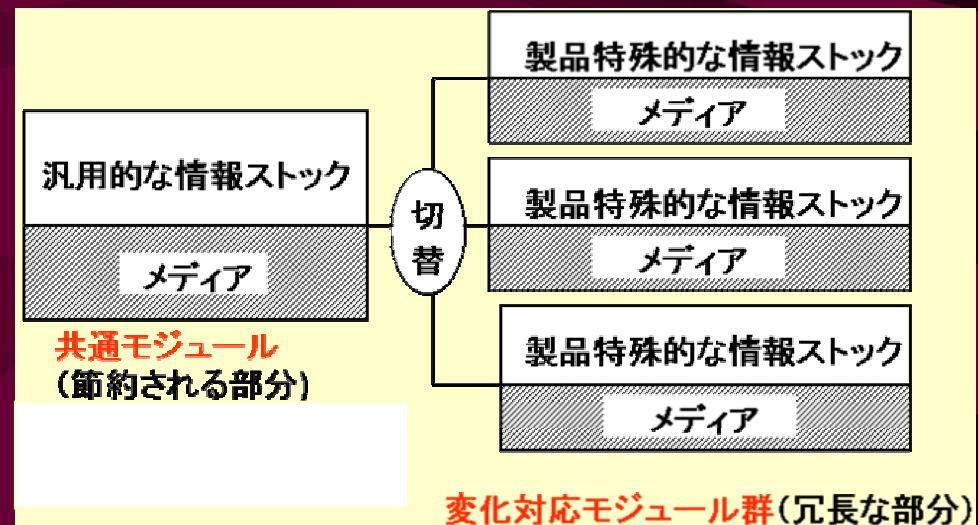
→ 冗長な部分

製品に応じて後者を切り替える。

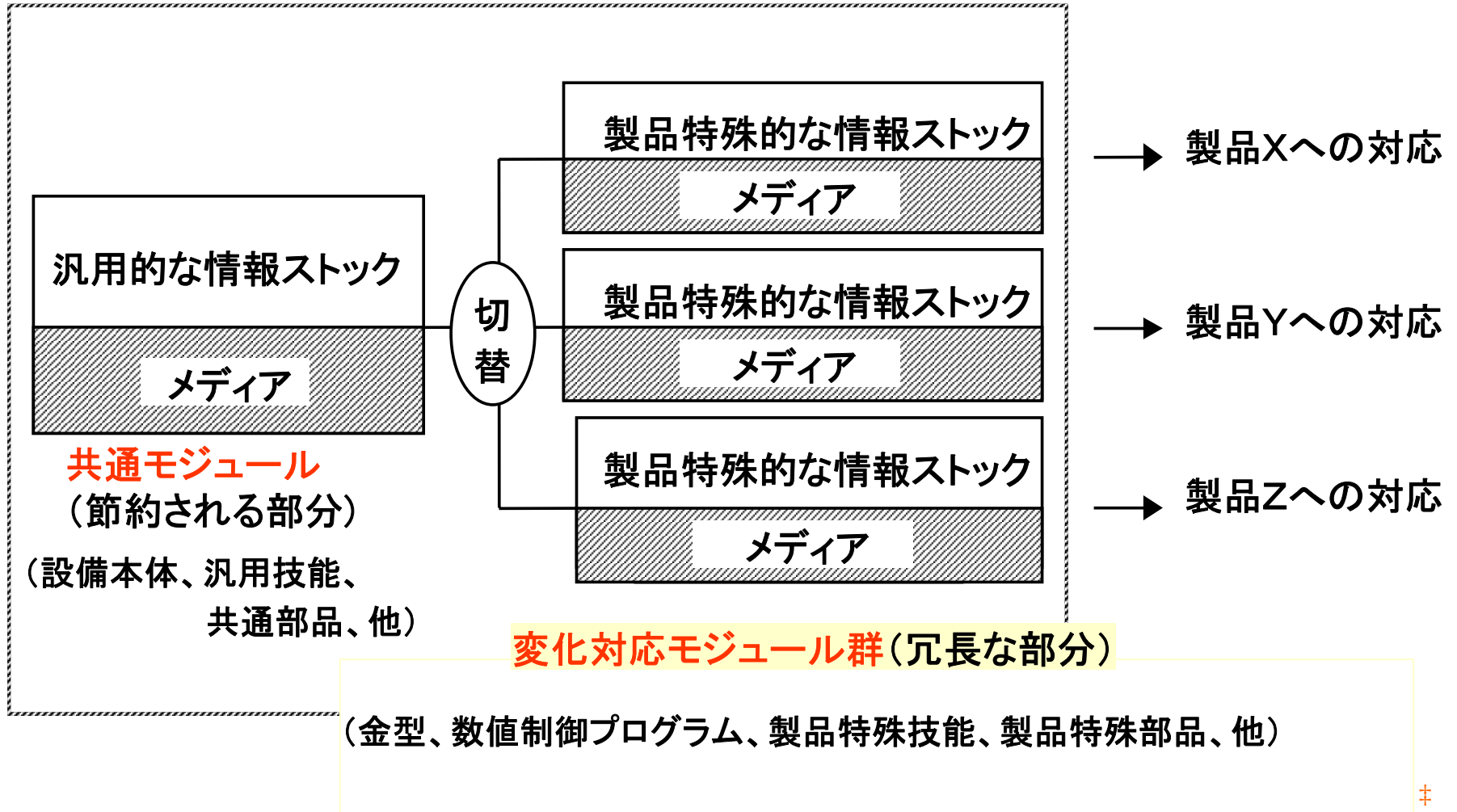
例 プレス機と金型

NC工作機とNCプログラム

共通部品と特殊部品



フレキシビリティの基本構造(製品多様性への対応)



フレキシビリティのタイプ (YのXに対する...)

(1) システム機能に関する分類 (Yの)

実行可能性に関する...

生産性に関する...

品質に関する...

(2) 環境変化に関する分類 (Xに対する)

生産数量に関する...

製品多様性に関する...

製品変化に関する...

他

フレキシビリティの尺度

システム機能の変化量／環境の変化量

例えば、 $TC = FC + VC \cdot X$

$$TC/X = AC = FC/X + VC$$

汎用設備と専用設備の比較

$$TC = FC + VC \cdot Q$$

$$AC = FC/Q + VC$$

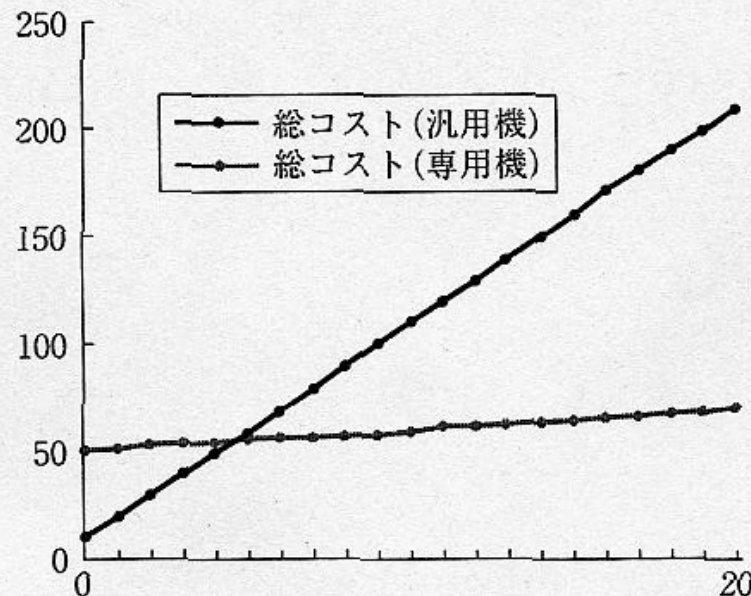
ただし

TC = 総製造費用 ; AC = 平均製造費用;
FC = 固定費用 ; VC = 変動費用 ; Q = 生産

数量に対するコストのフレキシビリティ (数値例)

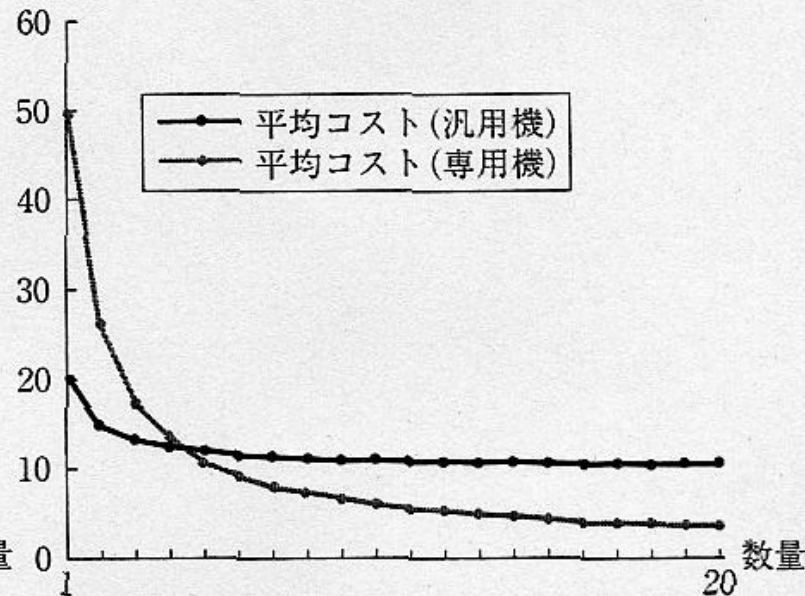
総製造費用
(TC)

総製造費用の比較 (数値例)



平均製造費用
(AC)

平均製造費用の比較 (数値例)



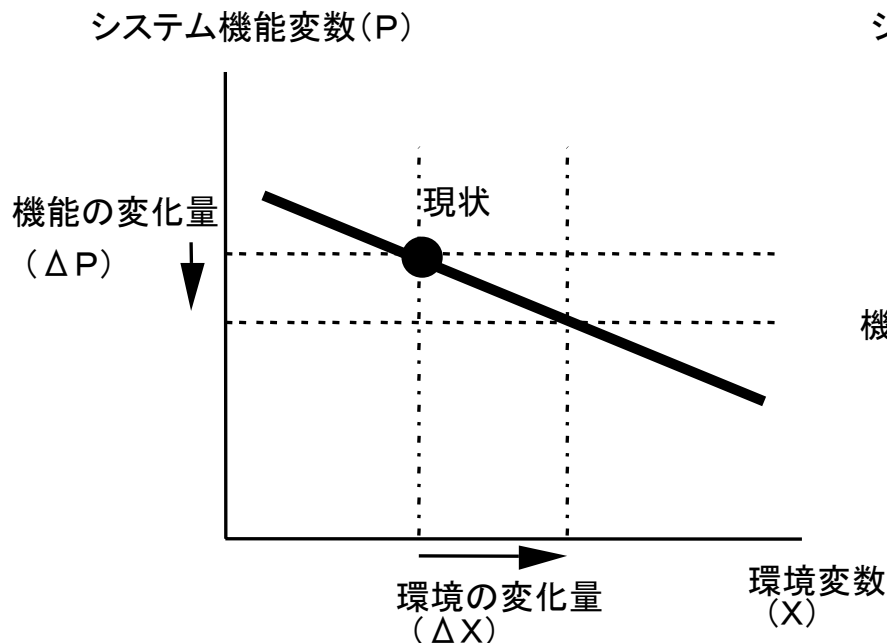
注：汎用機は、固定費用 = 10、変動費用 = 10 / 個、専用機は、固定費用 = 50、変動費用 = 1 / 個と仮定した。
費用は任意の貨幣単位とする。

+

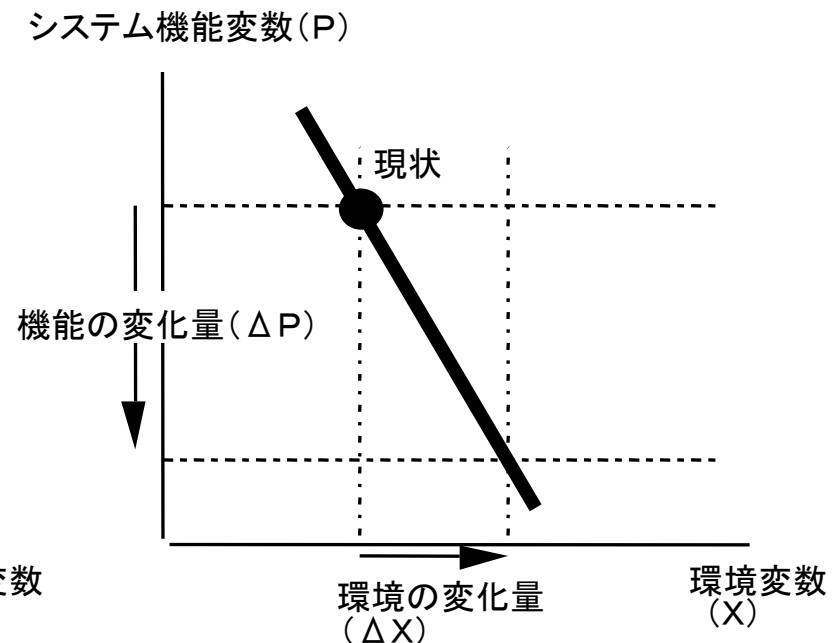
フレキシビリティの概念(1):「勾配の緩やかさ」による表現

$$\text{フレキシビリティ} = \text{システム機能の変化量} / \text{環境の変化量} = \Delta P / \Delta X$$

フレキシビリティの高いシステム



フレキシビリティの低いシステム



フレキシビリティの概念(2):「対応可能な領域の幅」による表現

フレキシビリティの概念 (2) : 「対応可能領域の幅」 による表現

環境変数が連続的に変化する場合

システム機能変数 (P)

フレキシビリティ

機能する

現状

機能しない

環境変数
(X)

環境変数が離散的に変化する場合

システム機能変数 (P)

フレキシビリティ

機能する

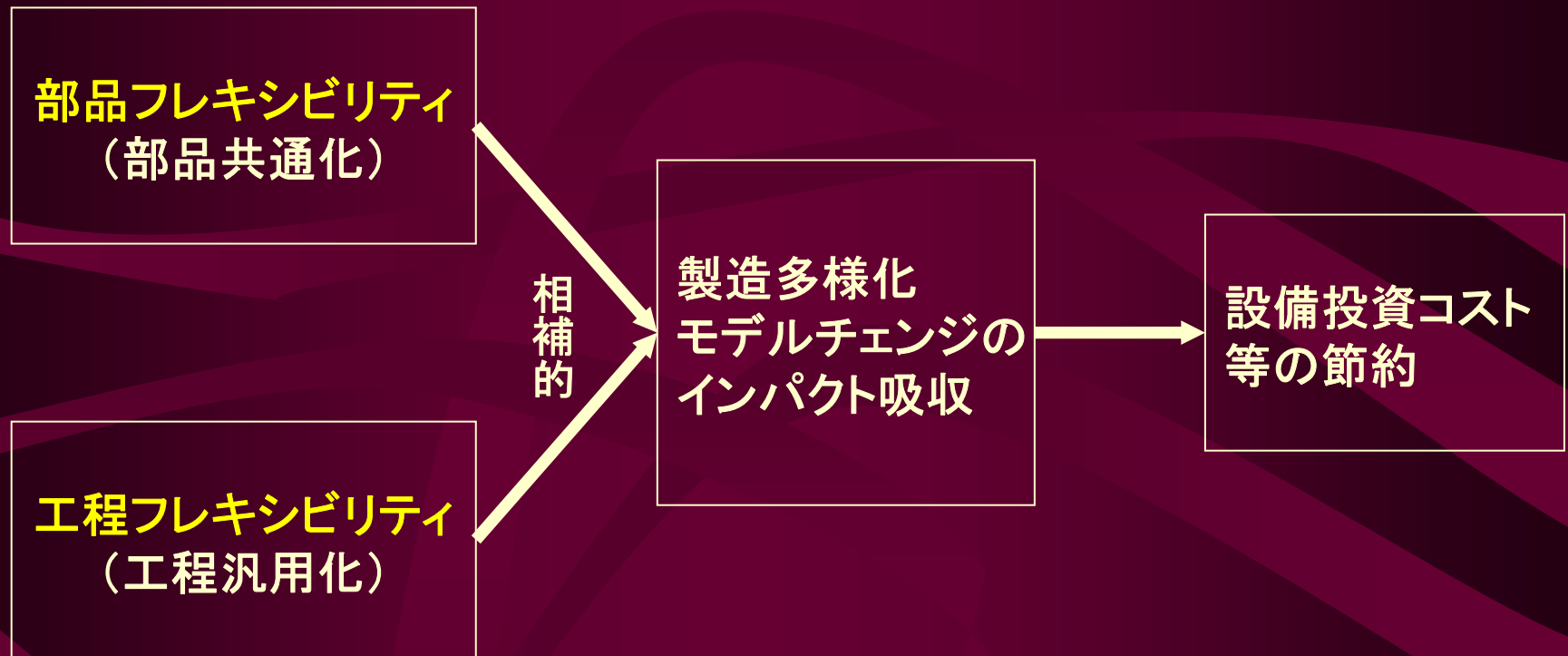
現状

機能
しない

環境変数
(X)

フレキシビリティの構成要素

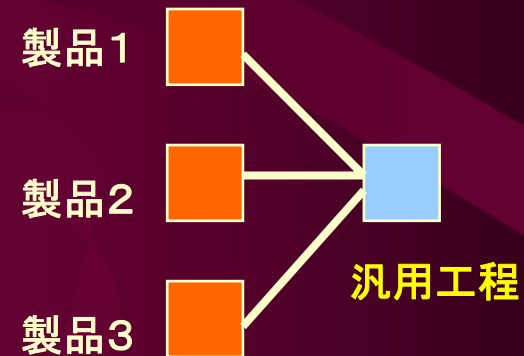
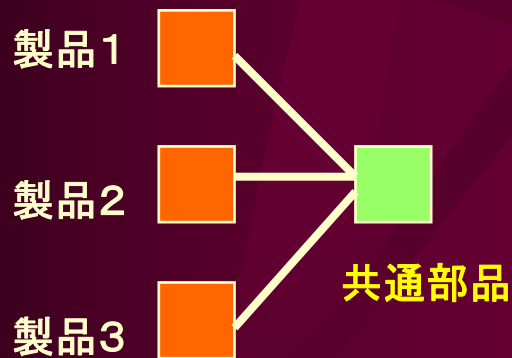
(部品フレキシビリティと工程フレキシビリティ)



例：製品の変化に対するコスト面でのフレキシビリティ

部品のフレキシビリティ = 部品共通化

工程のフレキシビリティ = 工程汎用化

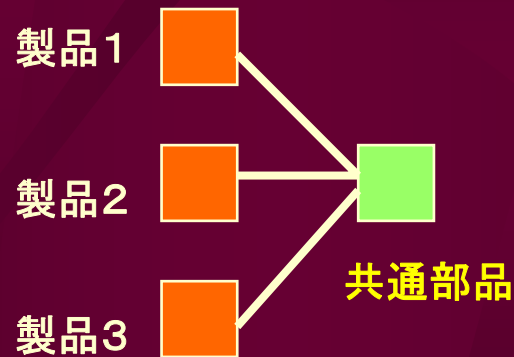


2. 部品の共通化

複数種類の最終製品が、同じ設計の部品を共有する

例： メーターゲージ

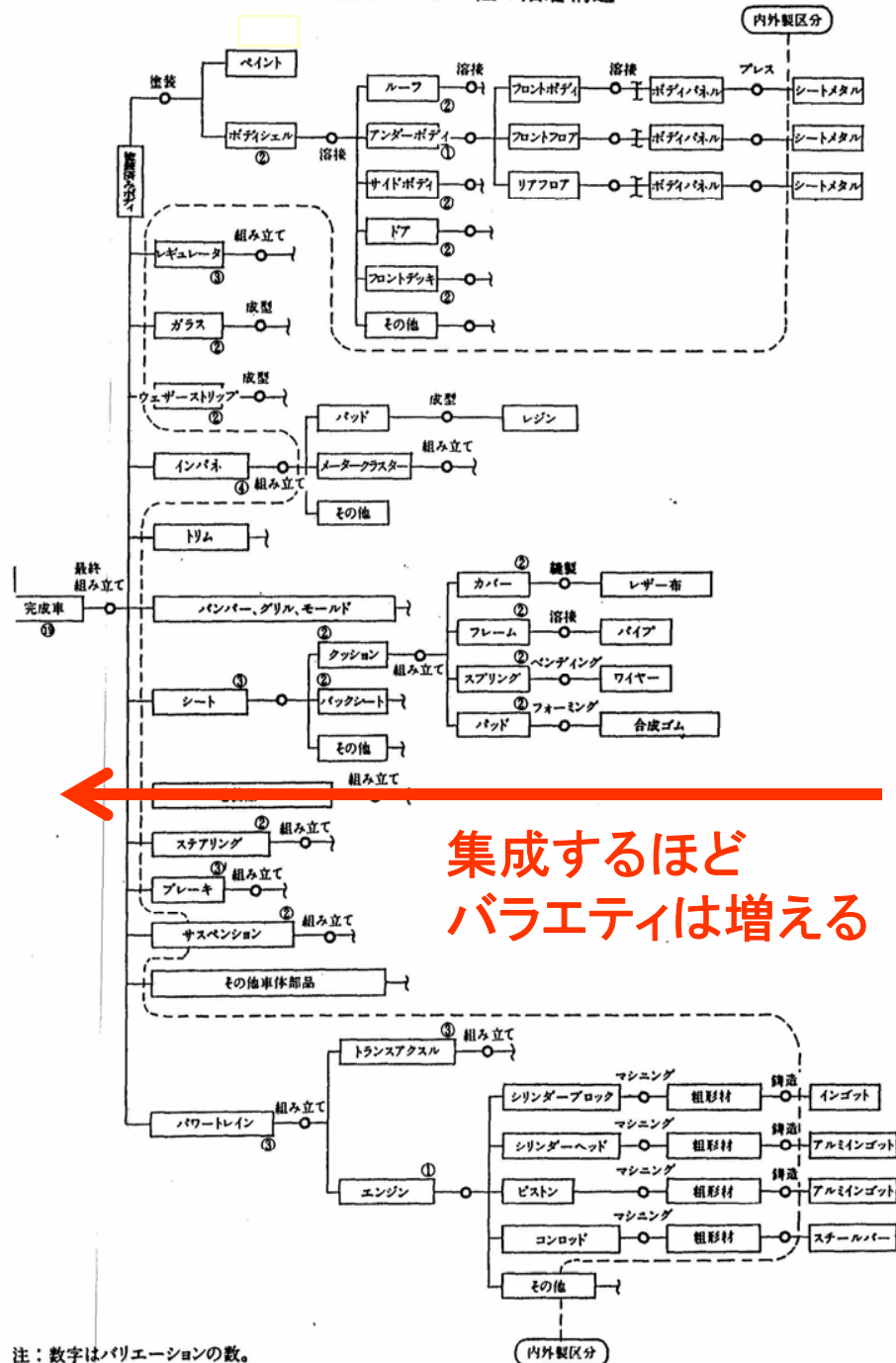
自動車（プラットフォームの共通化）



メーターゲージの部品共通化（デンソー）

部品名	旧システムでの品種数	新システムでの品種数
ケース	3	3
ターミナル	13	4
バイメタル	8	4
ボルテージ・レギュレータ	20	3
ベース	2	1
ベース・ケース	4	2
合計（A）	50	17
理論的に可能な組合せの数(B)	49,920	288
実際のメーター品種数(C)	60	60
共通化指数 C／B	0.1%	21%

図 8 製品および工程の階層構造



注：数字はバリエーションの数。

モジュラー的な部品の階層構造とバラエティの相乗効果(仮想例)



注: 各单体部品が5品種ずつあり、全ての組み合わせが商品化可能と仮定した場合。

アーキテクチャの違い

モジュラー・アーキテクチャ

機能完結、インターフェース標準化、組み合わせ容易

インテグラル・アーキテクチャ

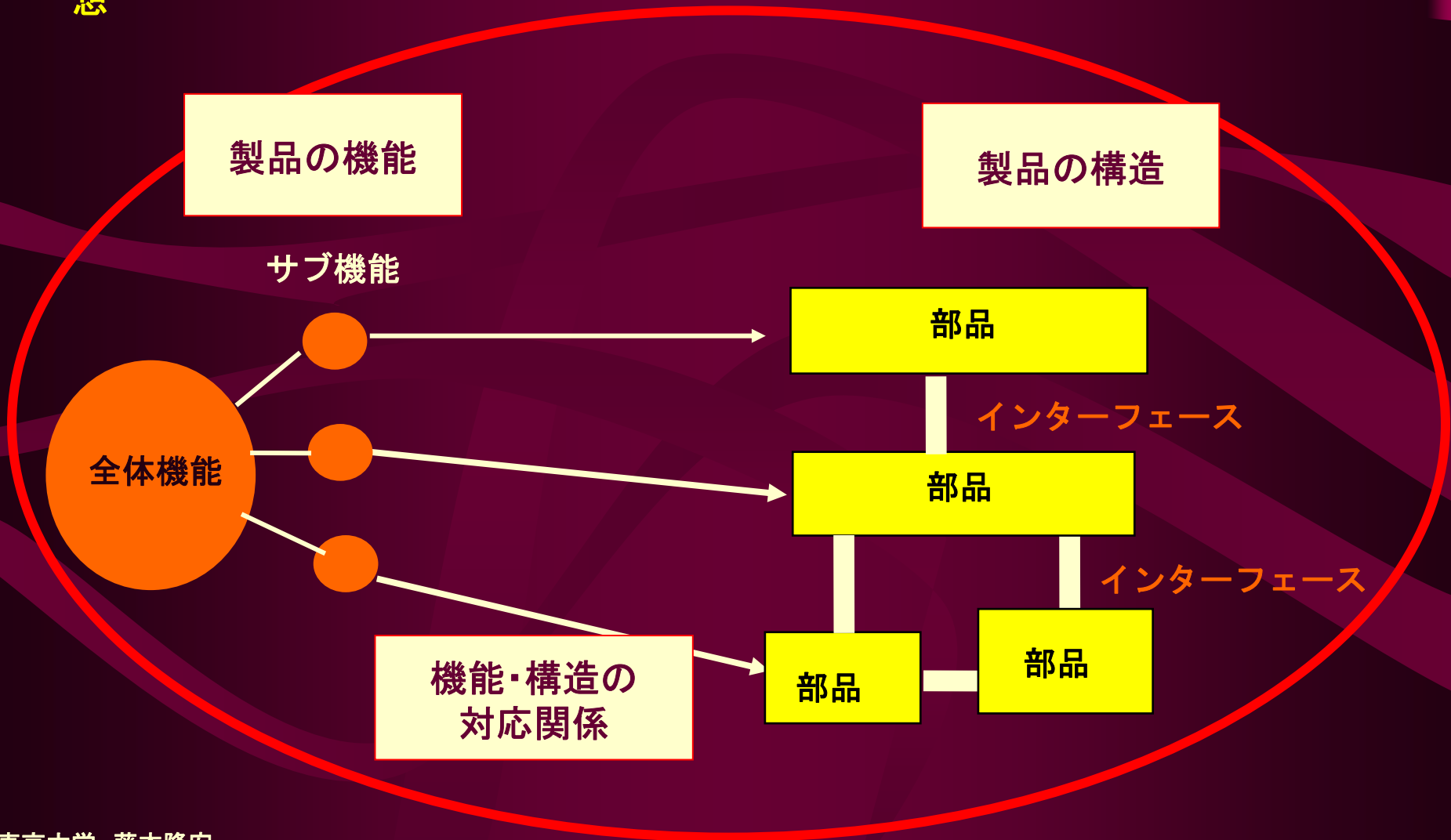
相互依存、インターフェース特殊、擦り合わせ必要

オープン・アーキテクチャ

インタフェースが業界で標準化
異なる企業間で寄せ集めが可能

「設計者の発想」のことを「アーキテクチャ」という

製品に要求される機能を、製品の各構造部分(部品)にどのように配分し、部品間のインターフェースをどのようにデザインするか、に関する、基本的な設計思想



モジュラー（組み合わせ）アーキテクチャと インテグラル（擦り合わせ）アーキテクチャ

Modular Architecture モジュラー（組み合わせ）型

パソコンのシステム

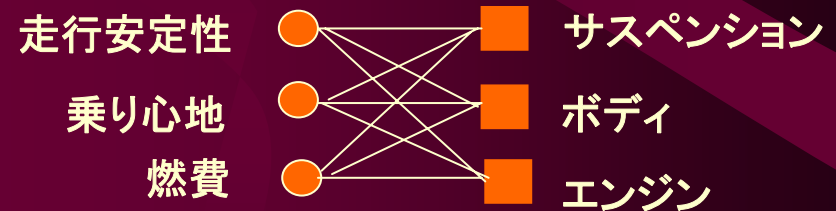


製品の機能

製品の構造

Integral Architecture インテグラル（擦り合わせ）型

乗用車



製品の機能

製品の構造

製品アーキテクチャの基本タイプ

最適設計された
専用部品

	インテグラル (擦り合わせ)	モジュラー (組み合わせ)
クローズド (囲い込み)	クローズド・インテグラル 乗用車、オートバイ ゲームソフト、 軽薄短小家電、他	クローズド・モジュラー メインフレーム、 工作機械、 レゴ
オープン (業界標準)		オープン・モジュラー パソコン、同ソフト、 インターネット、 新金融商品、自転車、

擦り合わせ型(クローズド・インテグラル)製品:乗用車



汎用部品(いろいろな会社の製品で使える)は10%以下

製品アーキテクチャの基本タイプ

	インテグラル (擦り合わせ)	モジュラー (組み合わせ)
クローズド (囲い込み)	クローズド・インテグラル 乗用車、オートバイ ゲームソフト、 軽薄短小家電、他	クローズド・モジュラー メインフレーム、 工作機械、 レゴ
オープン (業界標準)		オープン・モジュラー パソコン、同ソフト、 インターネット、 新金融商品、自転車、

汎用部品の
寄せ集め



オープン・モジュラー型の製品(パソコンシステム)



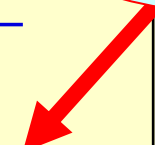
モニターは別売です。

汎用部品(いろいろな会社の製品で使える)は50%以上

製品アーキテクチャの基本タイプ

	インテグラル (擦り合わせ)	モジュラー (組み合わせ)
クローズド (囲い込み)	クローズド・インテグラル 乗用車、オートバイ ゲームソフト、 軽薄短小家電、他	クローズド・モジュラー メインフレーム、 工作機械、 レゴ
オープン (業界標準)		オープン・モジュラー パソコン、同ソフト、 インターネット、 新金融商品、自転車、

社内共通部品の
寄せ集め



クローズド・モジュラーの製品（メインフレーム・コンピュータ）



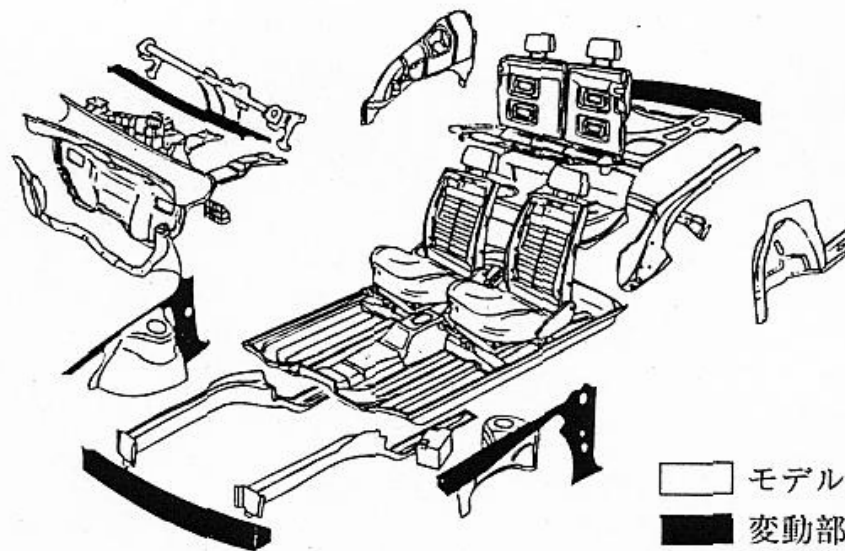
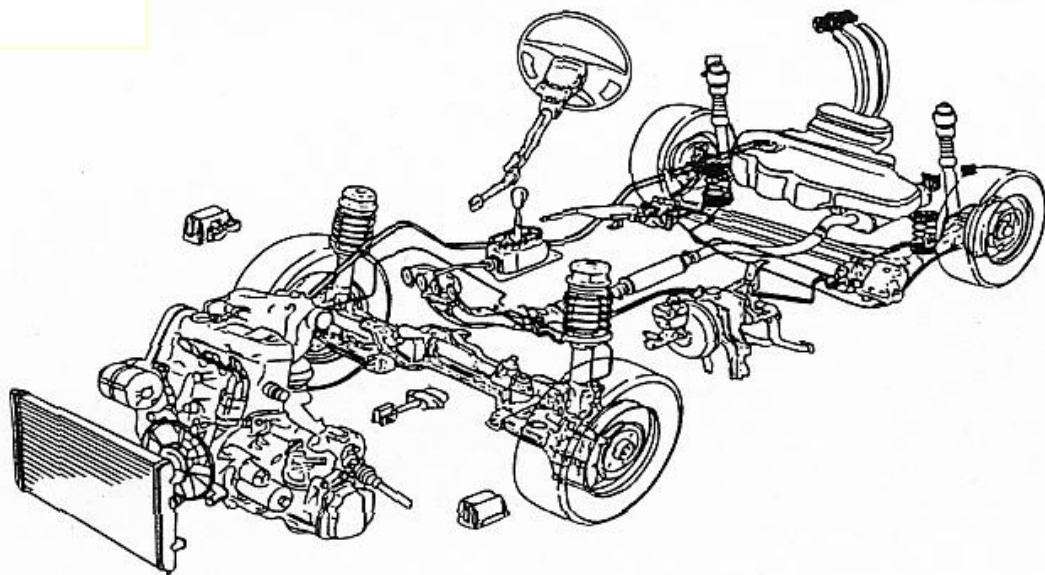
自分の会社で設計した「社内共通部品」を寄せ集めて、多くの種類の製品を作る

クローズド・モジュラー(レゴ)



自動車の プラットフォーム

自動車の共通プラットフォーム部品 (1998年VW社の例)



□ モデル間共通部分
■ 変動部分

出所：VW社

※

プラットフォームを共通とするモデル(例)・・・古い事例

セリカ リフトバック 1800 ST



カリーナ セダン 1600 DOHC GT



プラットフォームを共通とするモデル(例) 近年は洗練されてきた



レガシィ



レガシィ ツーリングワゴン



レガシィ ランカスター



フォレスター



インプレッサ



インプレッサ スポーツワゴン

部品の加工形状要素の共通化

コスト低減にとって重要なことは、
部品設計そのものの共通化よりはむしろ、
生産設備・治工具を共有できることである。

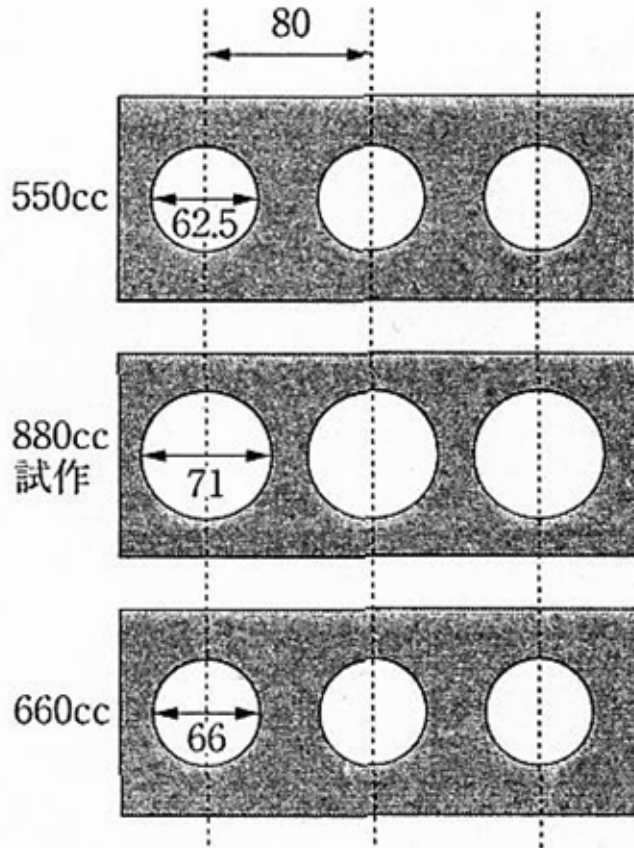
→ **加工形状要素の共通化**

例：4気筒エンジンと3気筒エンジン

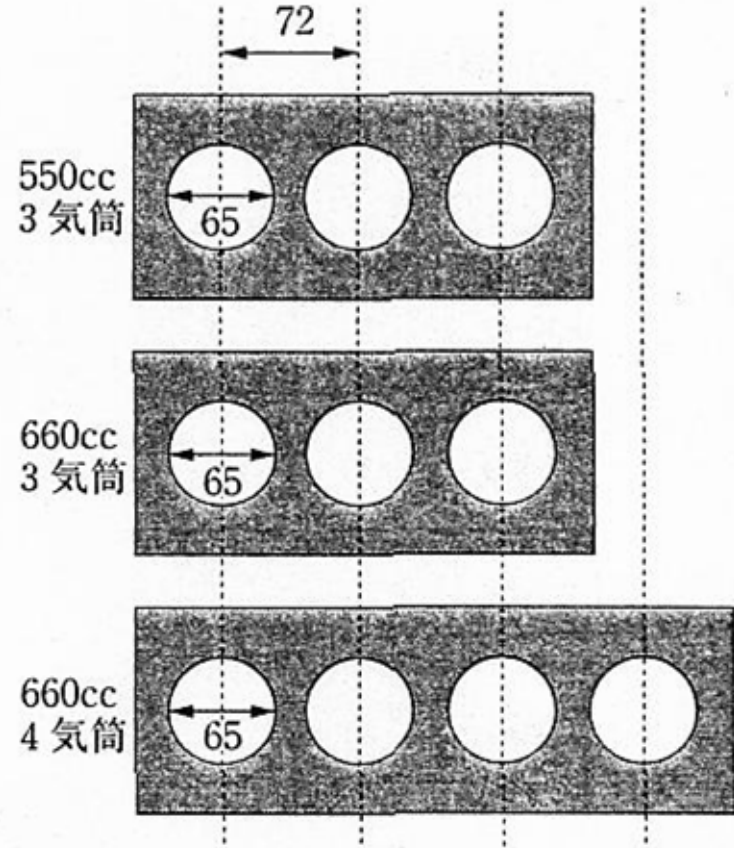
参考：グループ・テクノロジー(GT)

エンジンブロック設計における加工形状要素 (ボアピッチ) 共通化の例

本田技研工業



スズキ



注：エンジンのシリンダーブロックを上から見た概念図。円の部分がシリンダーの空洞で、ここを多軸工作機で切削加工する。

✚

エンジンの部分的共通化による既存生産設備の活用

新型エンジンの型式	旧型エンジン	新旧エンジンの共通点	新型エンジンの相違点
ポンティアック 4.3ℓV8 (1980年型)	4.9ℓV8 (301CID)	シリンダー・ブロック素材 コネクティング・ロッド、ピン、 オイルパン、ポンプ、ポートなど	シリンダーボアの縮小 オール・アルミ・ピストン シリンダーヘッド、バルブの縮小
シボレー 3.8ℓV6 (1980年型)	5.0ℓV8 (305CID)	シリンダーボア、圧縮比、 吸・排気バルブ	気筒数の減少(V8→V6) プラグ位置の修正
ビュイック 4.1ℓV6 (1980年型)	3.8ℓV6	シリンダーブロック素材 クランクシャフト	シリンダーボアの拡大
フォード 1.6ℓL4 (1981年型) * フォード 1.3ℓL4	—	シリンダーブロック素材 シリンダーブロック内径 シリンダーヘッド、カムシャフト インテークマニフォールドなど	シリンダーブロックの高さ ピストン、コンロッド、 クランクシャフト
フォード 2.3ℓL4 (1983年型)	3.3ℓL6	シリンダーボア、圧縮比	気筒数の減少(L6→L4)

注:*は結局設計に問題があり、生産中止となった。資料:Automotive Industries 1979, 10, 他.三菱総研1981

部品共通化の得失

- 量産効果 → コスト低減
- 既存設計流用 → 品質安定
- 補修部品の入手可能性
- 在庫管理が容易に
- 納期短縮(ベネトンのセーター)
- 製品統合性(Product Integrity)を損なう恐れ
- 製品差別化(Product Differentiation)を阻害する恐れ

X 車のボディ・パネル共通化状況・・共通化のやりすぎ？

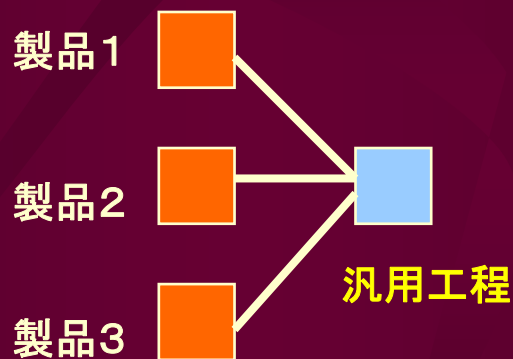
銘柄	ボディ・ タイプ	フロント フェンダー	リア フェンダー	ドア	ウインド シールド	フロント グリル
シボレー サイテーション	2ドア セダン	①	①	①	①	①
	2ドア リフトバック	①	②	①	①	①
	4ドア リフトバック	①	③	②	①	①
ポンティアック フェニックス	2ドア セダン	②	④	①	①	②
	4ドア リフトバック	②	⑤	②	①	②
オールズ モビル オメガ	2ドア セダン	③	⑥	③	②	③
	4ドア セダン	③	⑦	④	②	③
ビュイック スカイラック	2ドア セダン	④	⑧	③	②	④
	4ドア セダン	④	⑨	④	②	④
合計タイプ数	9	4	9	4	2	4

3. 工程の汎用化(工程のフレキシビリティ)

一つの工程(設備、作業者など)が、

複数の製品設計情報のストックを持ち、
それを切り替えることによって、
複数の加工物に対応すること。

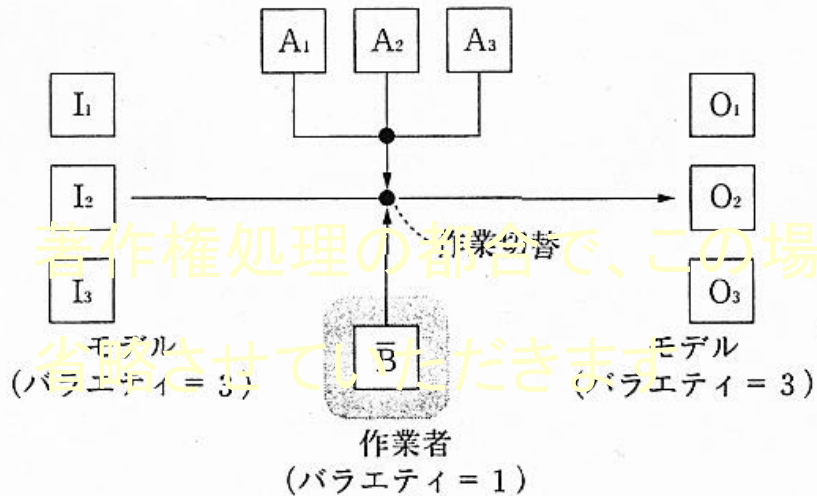
「**段取り替え**」の時間・コストがかからないこと。



工程フレキシビリティの例

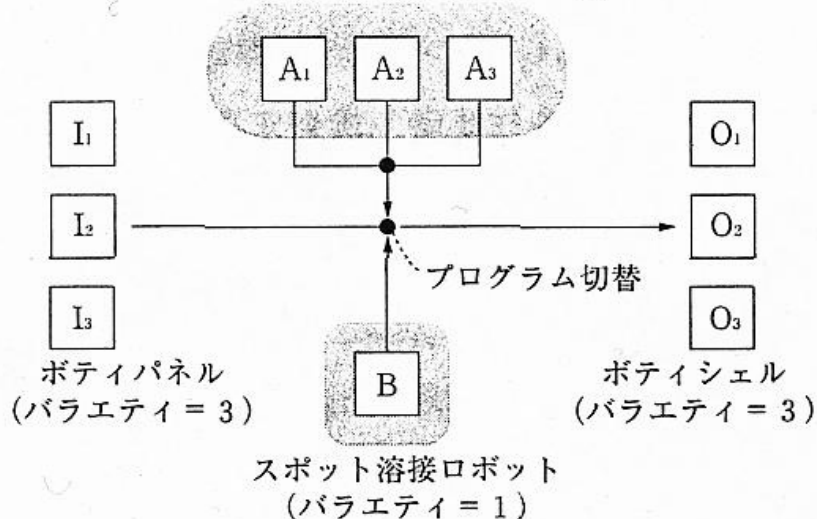
a. 多能工による組立作業

作業 (バラエティ = 3)



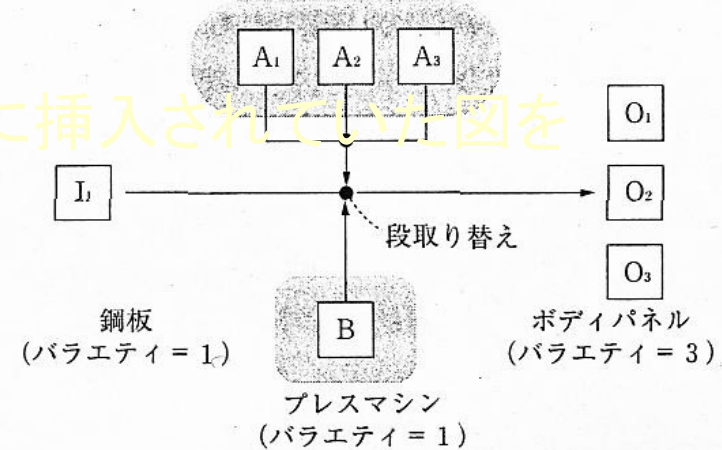
b. スポット溶接ロボット

NCプログラム (バラエティ = 3)



c. プレス機械

金型 (バラエティ = 3)

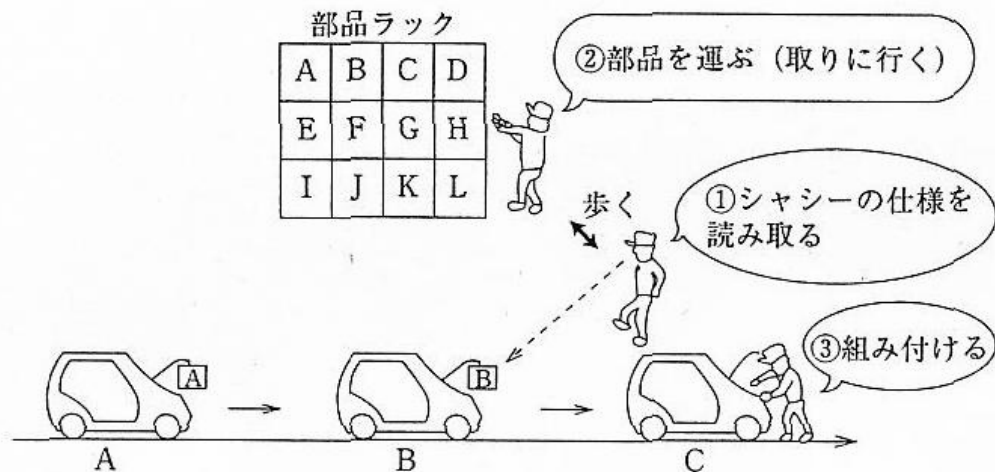


藤本隆宏「テクノロジーシステムに関するノート」
(土屋守章『技術革新と経営戦略』日本経済新聞社 (p.153 図10))

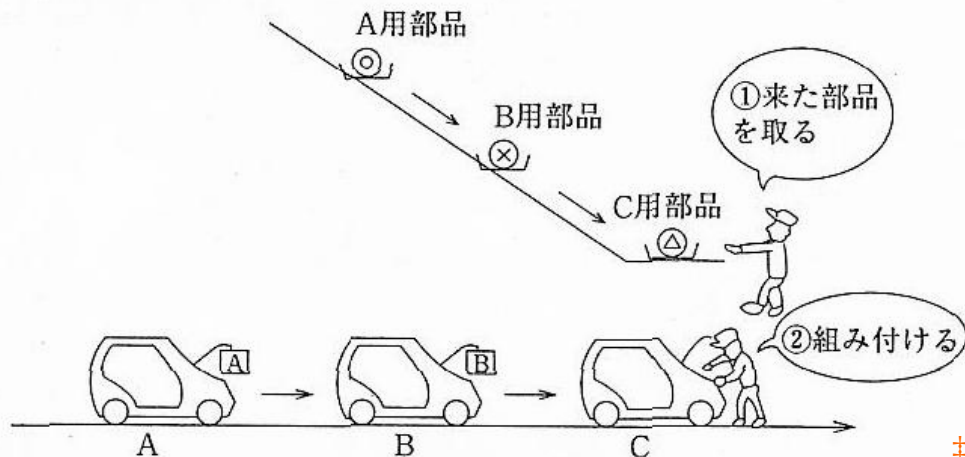
組立ラインの 多品種対応

組立ラインにおける多品種化への対応

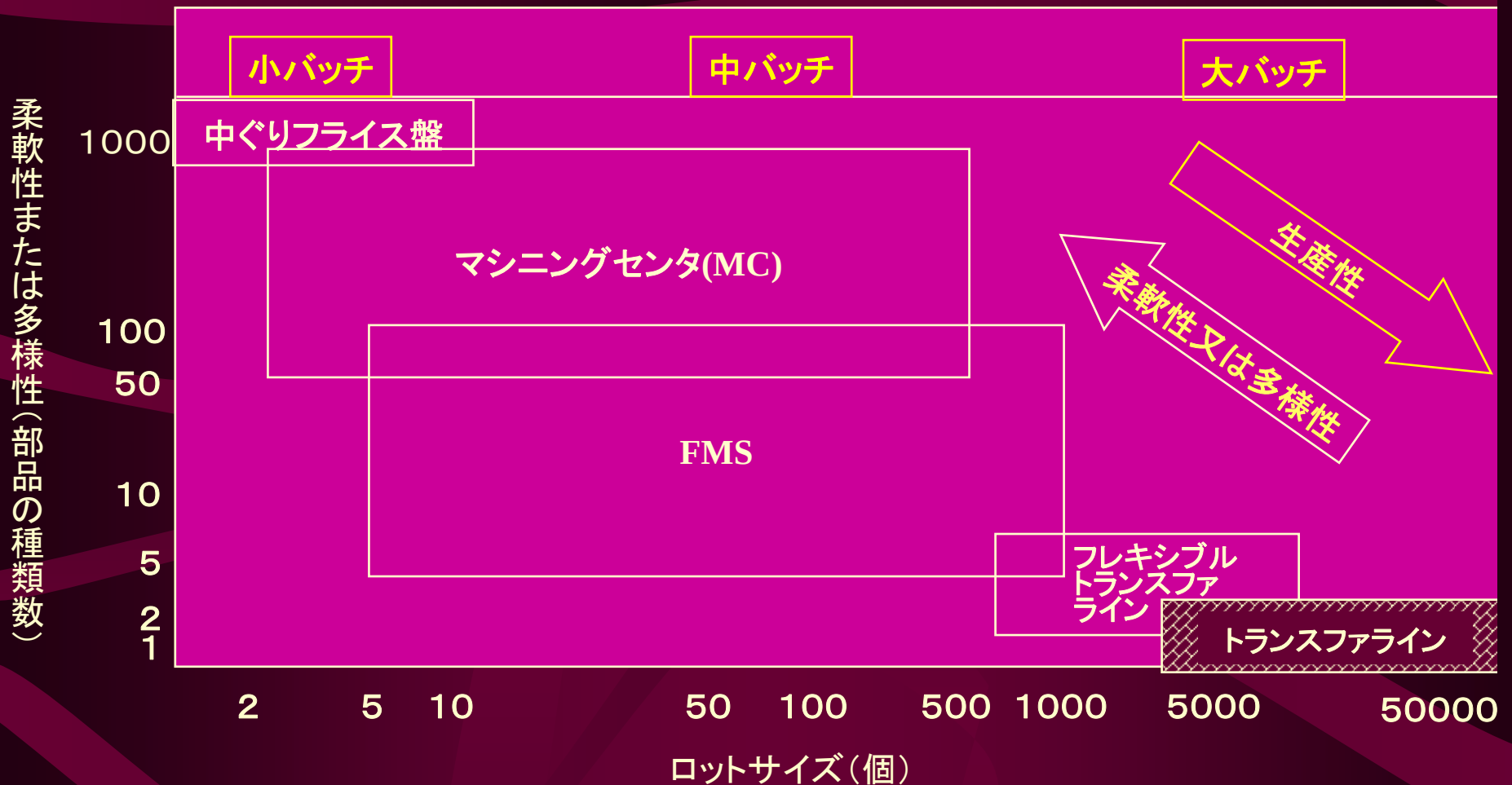
a. 作業者が部品ラックから部品を運ぶ



b. 部品をラインサイドに順序供給する



工作機械の汎用性



従来の概念によるFMSの適合範囲(Klahorstによる) (伊東岩田)

「段取り替え」とその改善

内段取り = 加工作業の中断を伴う品種切り替え

外段取り = 加工作業の中断を伴わぬ品種切り替え

・・・まず「**内段取りの外段取り化**」が定石

段取り替えのコスト分析

事例：プレス工程； 織物工程

段取替えのコスト分析

段取替えのコスト計算は、前提条件によって違うが、標準的な例は次の通りである。

単純化のため、生産能力は一定で、フル稼働が維持できるものとする。まず、ロット(同じ品種をまとめて生産するときの、ひとまとまりの数)における 工数(ワーク1個当たりの労働ないし機械時間)を、次のように考える。

$$T_w = T_p + (T_s / X)$$

ただし、 T_w = ワーク1個あたり所要工数

T_p = ワーク1個あたり加工作業工数

T_s = ロットあたり段取替え作業工数

X = ロットサイズ

従って、時間当たり人件費を C_w 、時間当たり資本費(あるいは経費)を C_c とすると、ワーク1個あたりの製品コスト (AC) は、

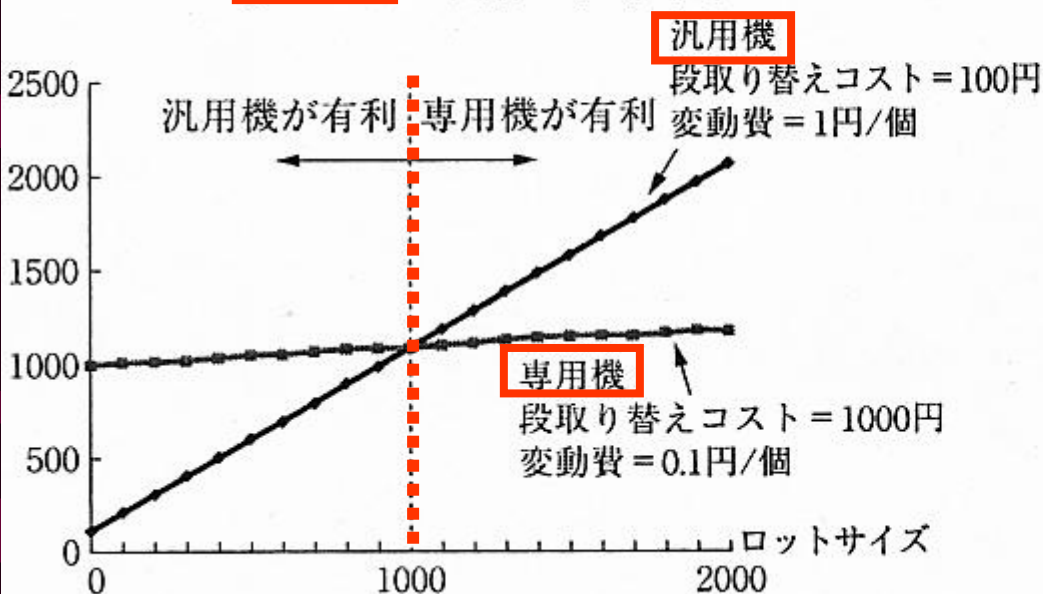
$$AC = (C_w + C_c) T_w = [(C_w + C_c)] T_p + [(C_w + C_c) (T_s / X)]$$

で示される。ただし、加工作業のみ自動化している工程では、第1項の C_w はゼロとなる。また、段取替えの必要ない工程では、当然 $T_s = 0$ で、第2項が消える。

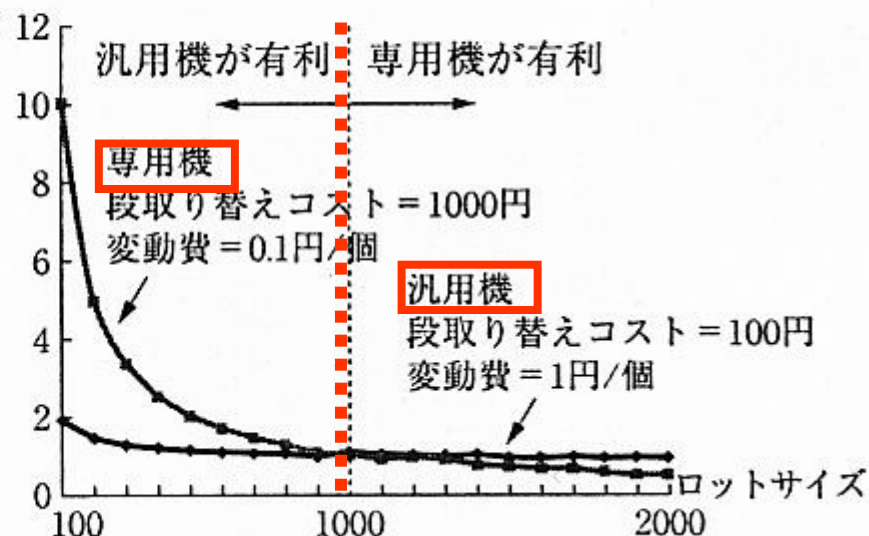
専用機と汎用機：段取替えコストの比較

段取り替えコストの比較（数値例）

総コストの比較（数値例）



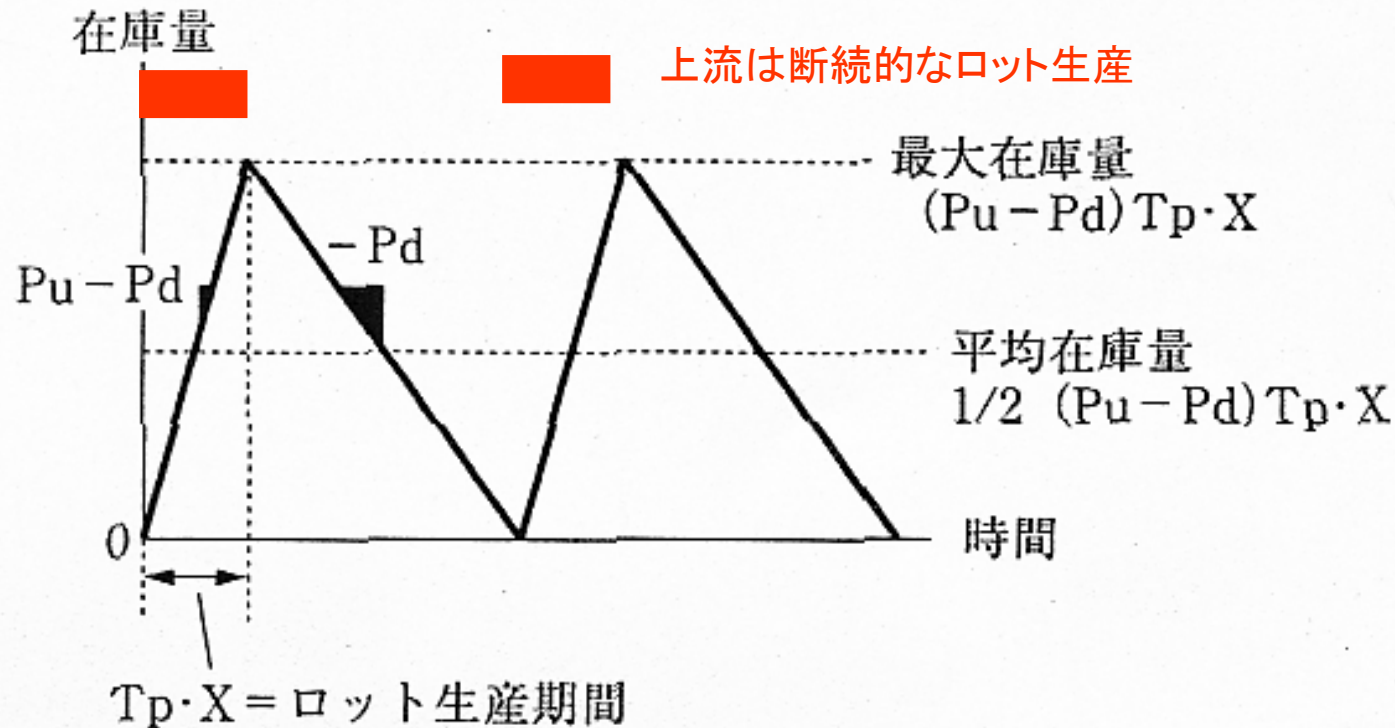
平均コストの比較（数値例）



例えば上流がプレス of 断続ロット生産、下流が溶接 of 連続生産なら

参考:

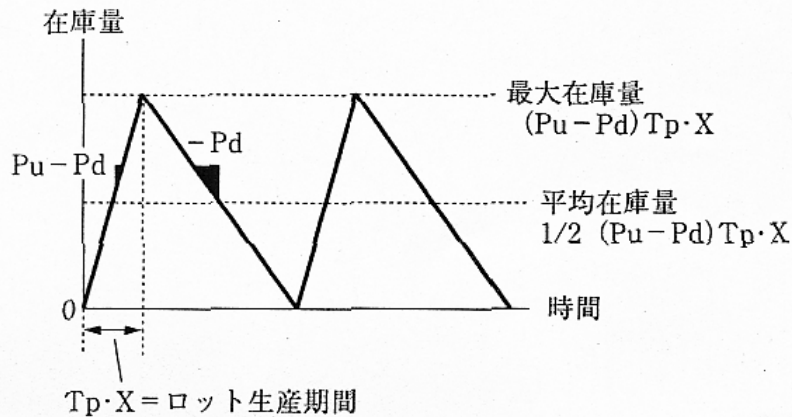
上流工程が高速でロット生産をする場合の
サイクル在庫の動き



- T_p = ワーク1個あたり加工作業工数
- X = ロットサイズ
- P_u = 上流(ロット生産)の時間当たり生産個数
- P_d = 下流(連続生産)の時間当たり生産個数

藤本隆宏 『生産マネジメント入門』
日本経済新聞社 2001 (I p337 図8.18)

上流工程が高速でロット生産をする場合の
サイクル在庫の動き



C_w = 時間あたり人件費

C_c = 時間あたり資本費

C_s = 1回当たり段取替え費用

C_i = 1個あたり在庫コスト

したがって、在庫コスト・段取替コストを加えた平均コストは、

$$AC = (C_w + C_c) T_p + C_s/X + 1/2[C_i(P_u - P_d) T_p \cdot X]$$

コスト最小のロットサイズを計算するため、Xについて微分してゼロとすると、

$$-C_s/X^2 + 1/2 [C_i(P_u - P_d) T_p] = 0$$

したがって、**最適ロットサイズ**(X)は:

$$X^2 = \frac{2 C_s}{C_i (P_u - P_d) T_p} \quad \therefore X = \sqrt{\frac{2 C_s}{C_i (P_u - P_d) T_p}} = \sqrt{\frac{2 C_s \cdot P_u}{C_i (P_u - P_d)}}$$

生産の総量の変化に対するフレキシビリティ

ジャスト・イン・タイム(JIT)の考え方...

平準化

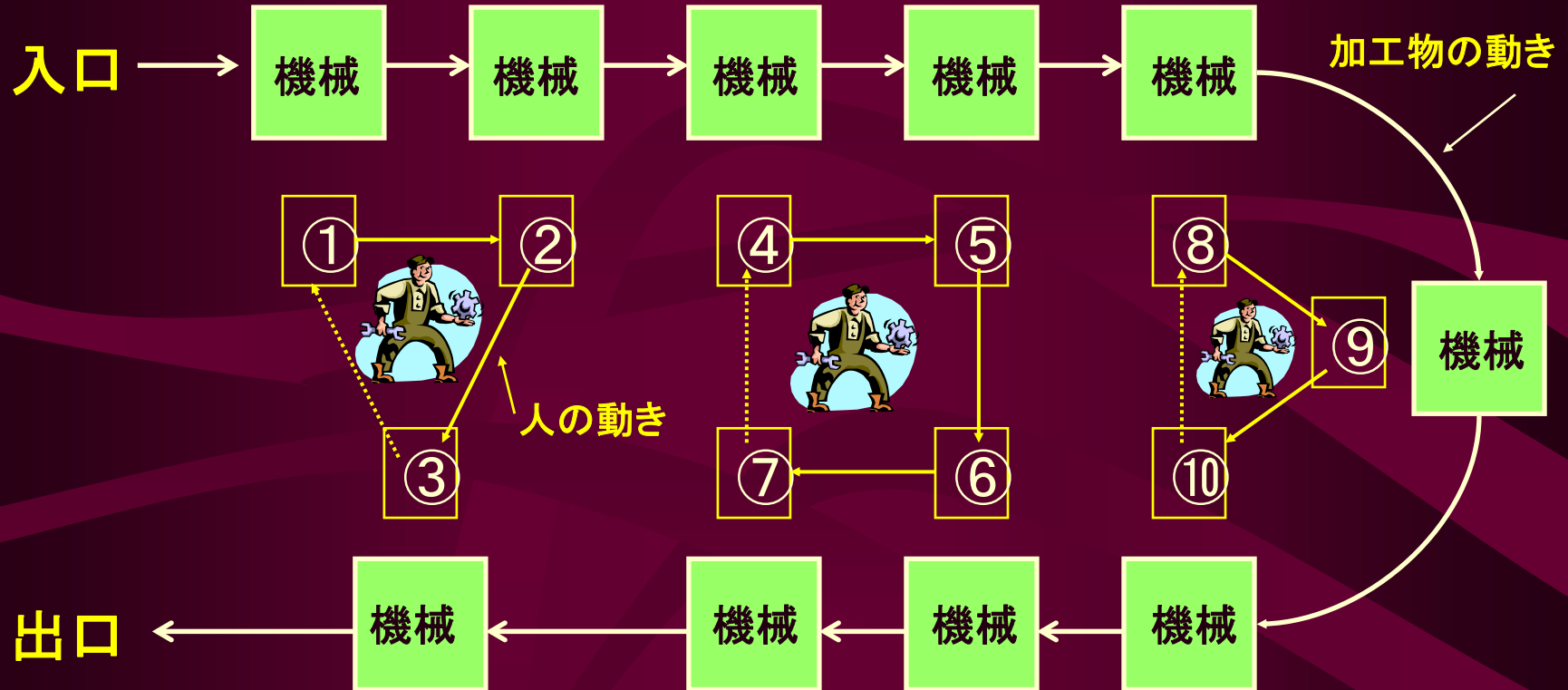
サイクルタイムの遵守

数量に関する工程のフレキシビリティを追求

多能工、多工程持ち

U字型ライン、「少人化」

U字型ライン



多工程持ち。機械を巡回し歩行のムダを減らす。入口と出口は同じ人。
生産量が減れば、人を減らし、1人あたりの範囲を広げる

まとめ： フレキシビリティの全体最適化

市場ニーズの多様化・変化を段階的に吸収する

製品のフレキシビリティ(T型フォード)

部品のフレキシビリティ(GMのスローン主義)

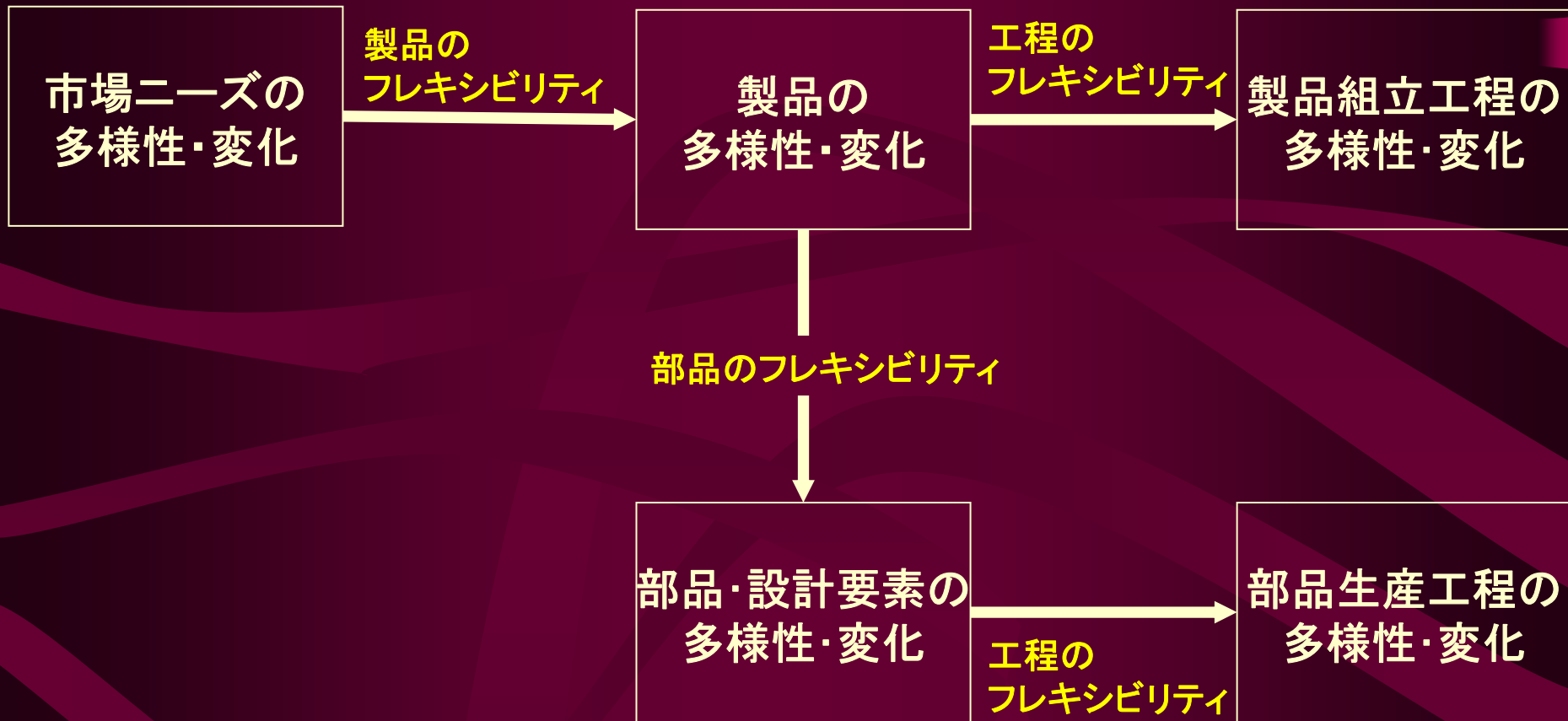
工程のフレキシビリティ(トヨタ)

フレキシビリティには、それなりにお金がかかる

フレキシビリティは必要悪と考えるべし(自己目的化しない)

最小限の製品・部品・工程フレキシビリティで最大の市場効果を

フレキシビリティによる多様性・変化の多段階吸収



おもにどこで多様性・変化を吸収するか・・・フレキシビリティの配分に関する全体観をもつべし