

## 第17回：設備管理と自動化

1. 設備投資の評価・決定
2. 自動化：生産技術の選択
3. 設備の故障と保全

東京大学経済学部

藤本隆宏

## 設備管理(広義)・・・

工場に配備される、製品設計情報のメディア(媒体)としての  
設備・治工具・金型など(tools and equipment)を、

どのようにして

- (1) 採用決定、
  - (2) 設計、
  - (3) 調達、
  - (4) 維持・改善
- するか。

# 1. 設備投資の評価・決定

## 設備投資の種類

取替投資

拡張投資

製品開発・改良投資

戦略投資

設備投資の意思決定・・・資本予算 (capital budgeting)

# 設備投資案の評価: 基本的な考え方

ベースケースに対する増分で評価

キャッシュフロー(償却前利益)

名目値

利払い前のキャッシュフロー

税金の効果を考慮(税引き後)

時間価値の考慮(現在価値)

キャッシュフロー = 営業利益 + 減価償却費 - 法人税等

# 設備投資評価方法の類型

## 回収期間法 (pay back)

「設備投資額＋増加運転資本－残存価額」を、  
「生産・販売活動からのキャッシュフロー」で回収。

## 投資収益率法 (return on investment)

予想営業利益(利払前) ÷ (設備投資額＋増加運転資本)

## 現在価値法 (discount cash flow)

「設備投資(負)＋キャッシュフロー」を資本コストで割り引いた  
正味現在価値 (net present value) がプラスか

## 内部収益率法 (internal rate of return)

DCFと原理は同じ。NPV=0 になる割引率を試行錯誤で発見

ただし、 割引率 = 資本コスト

## 加重平均資本コスト(WACC: Weighted Average Cost of Capital)

投資案件のリスクを考慮して、  
目標借入比率・自己資本比率(時価ベース)を設定。

この比率で、  
プロジェクトのリスクに見合った借入利率  
(ただし「1-法人税率」をかける)と、  
自己資本コスト(株価に対する比率)とを加重平均する。

自己資本コストの算出

・・・CAPM(Capital Asset Pricing Model)が標準的

戦後アメリカでは、WACCは10～15%で推移。

# 量販車メーカーにおける組立工場特性(1989年)

| 年                      | -1     | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 合計・備考  |
|------------------------|--------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| 設備投資・運転資本投資            | 100    |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |        |
| 売上高                    |        | 200  | 200  | 200  | 200  | 200  | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |        |
| 売上原価・販売管理費             |        | 190  | 190  | 190  | 190  | 190  | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 |        |
| 営業利益                   |        | 10   | 10   | 10   | 10   | 10   | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  |        |
| 支払金利                   |        | 4    | 4    | 4    | 4    | 4    | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   |        |
| 税引前利益                  |        | 6    | 6    | 6    | 6    | 6    | 6   | 6   | 6   | 6   | 6   |        |
| 法人税等                   |        | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   |        |
| 税引後利益                  |        | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   |        |
| 減価償却費                  |        | 10   | 10   | 10   | 10   | 10   | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  |        |
| 営業キャッシュフロー             |        | 17   | 17   | 17   | 17   | 17   | 17  | 17  | 17  | 17  | 17  |        |
| 正味現在価値<br>(NPV:割引率1.1) | -100   | 15.5 | 14.0 | 12.8 | 11.6 | 10.6 | 9.6 | 8.7 | 7.9 | 7.2 | 6.6 | 4.5    |
| 累積キャッシュフロー             | -100   | -83  | -66  | -49  | -32  | -15  | 2   | 19  | 36  | 53  | 70  | 約6年で回収 |
| ROI(営業利益ベース)           | 0.1    |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |        |
| IRRとそれに対応するNPV         | 0.1103 | 15.3 | 13.8 | 12.4 | 11.2 | 10.1 | 9.1 | 8.2 | 7.4 | 6.6 | 6.0 | 0.0    |

仮定:売上高利益率5%;10年定額償却;法人税率10%;運転資本増分は単純化のため無視;設備の残存価値はゼロ。単位は百万円。

# 資本予算制度と競争力: 80年代アメリカの反省

現状維持的なベースケース設定の問題点 → 投資遅れ

個別案件後との分離審査 → 既存工場の拡張投資が有利

定性的な要素の軽視 → 戦略的投資の却下

割引率の過大設定

専門スタッフへの審査能力集中 → 現場からの乖離

大型プロジェクト偏重

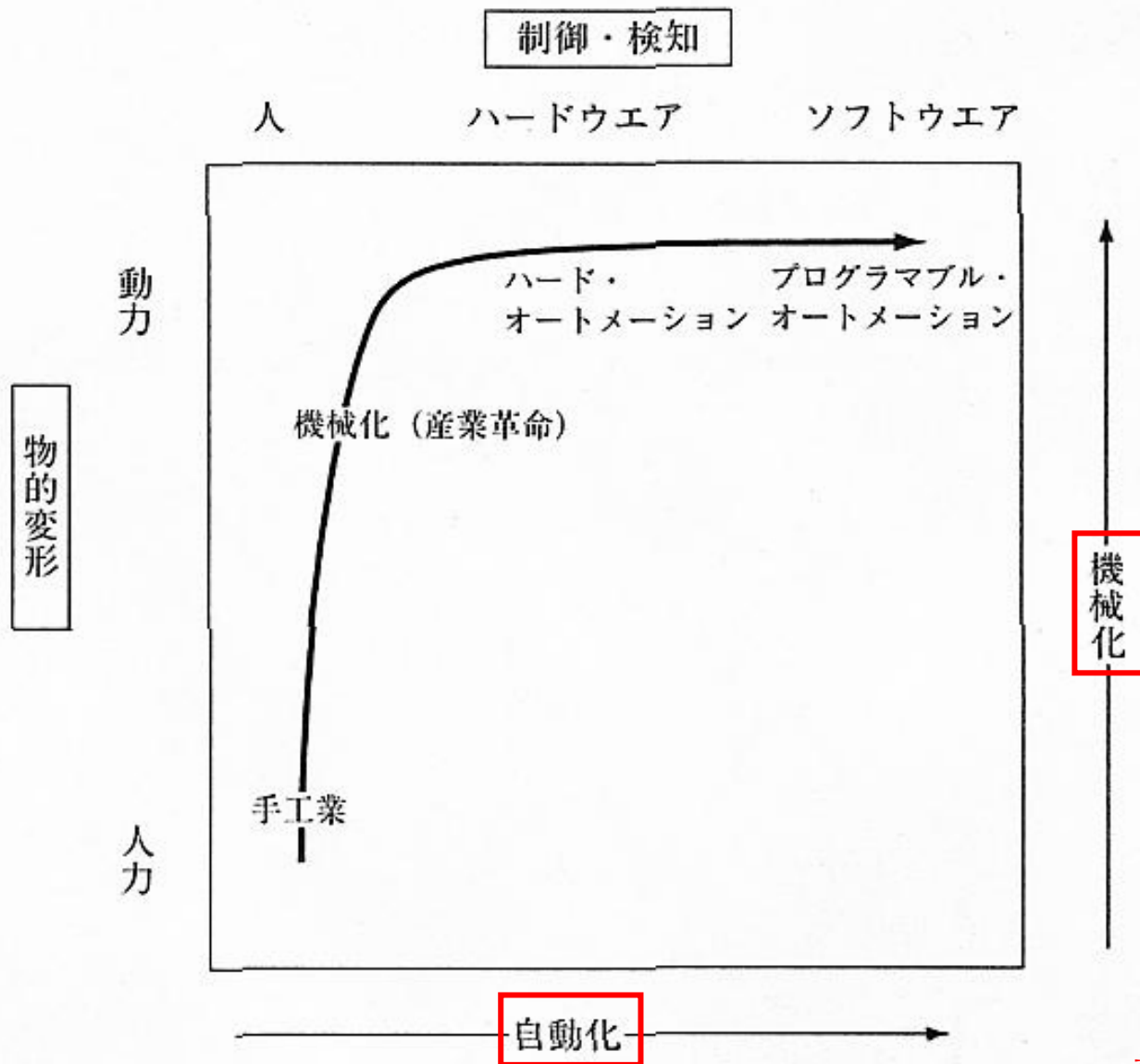


## 2. 自動化(Automation)

自動化 = 生産現場(工程)において、  
製品設計情報を蓄積するメディアを、  
ヒトやカミから機械のハードウェア・ソフトウェアに  
置き換えること。(メディアの代替)

機械化(mechanization: 物的変形のエネルギー代替)と区別せよ

# 機械化・自動化の一般的経路



# 自動化の基本構造

検知

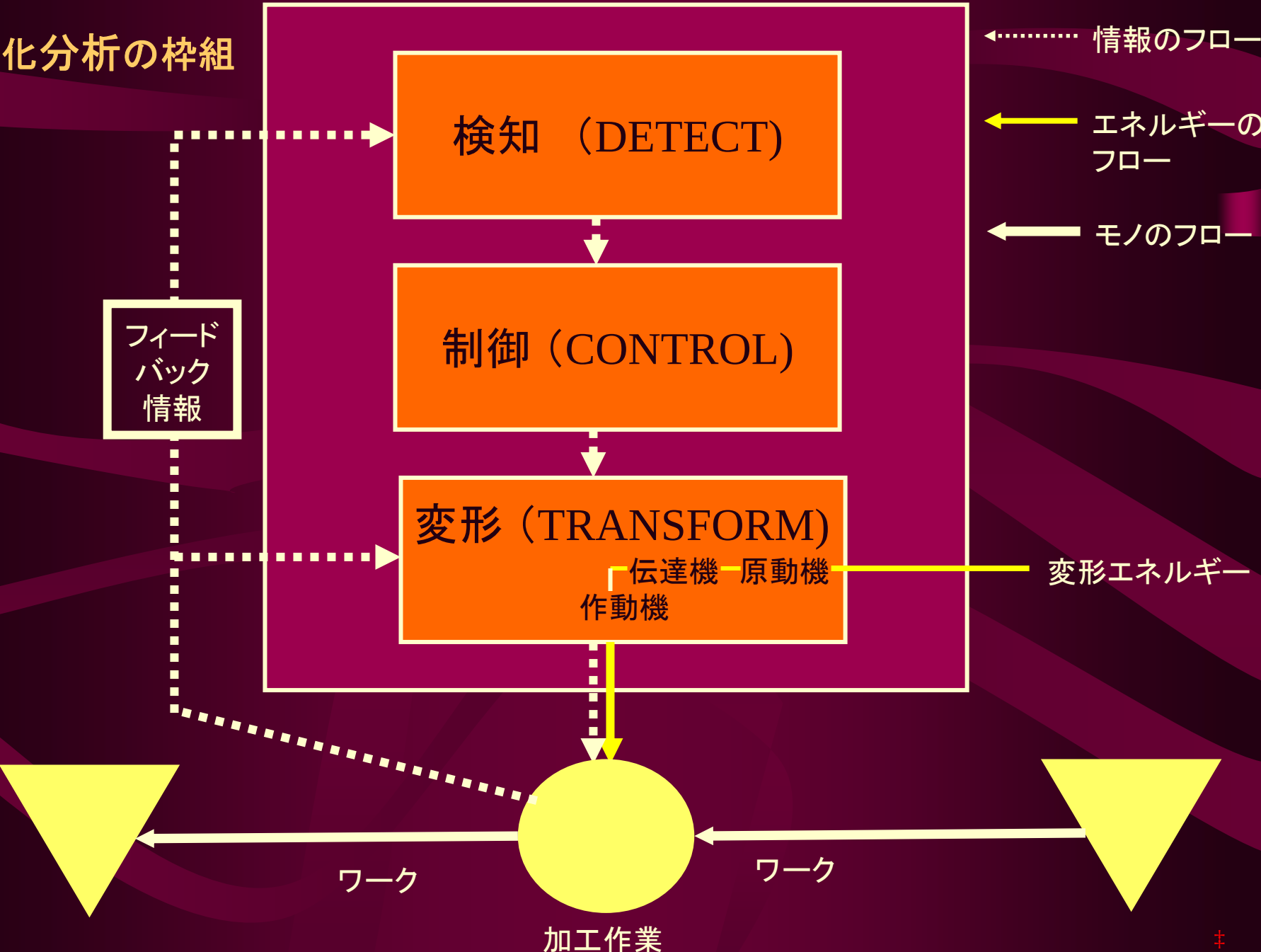
制御

変形

それぞれについて、自動化のレベル、スパン（範囲）、タイプ（何に情報を持たせるか）を分析

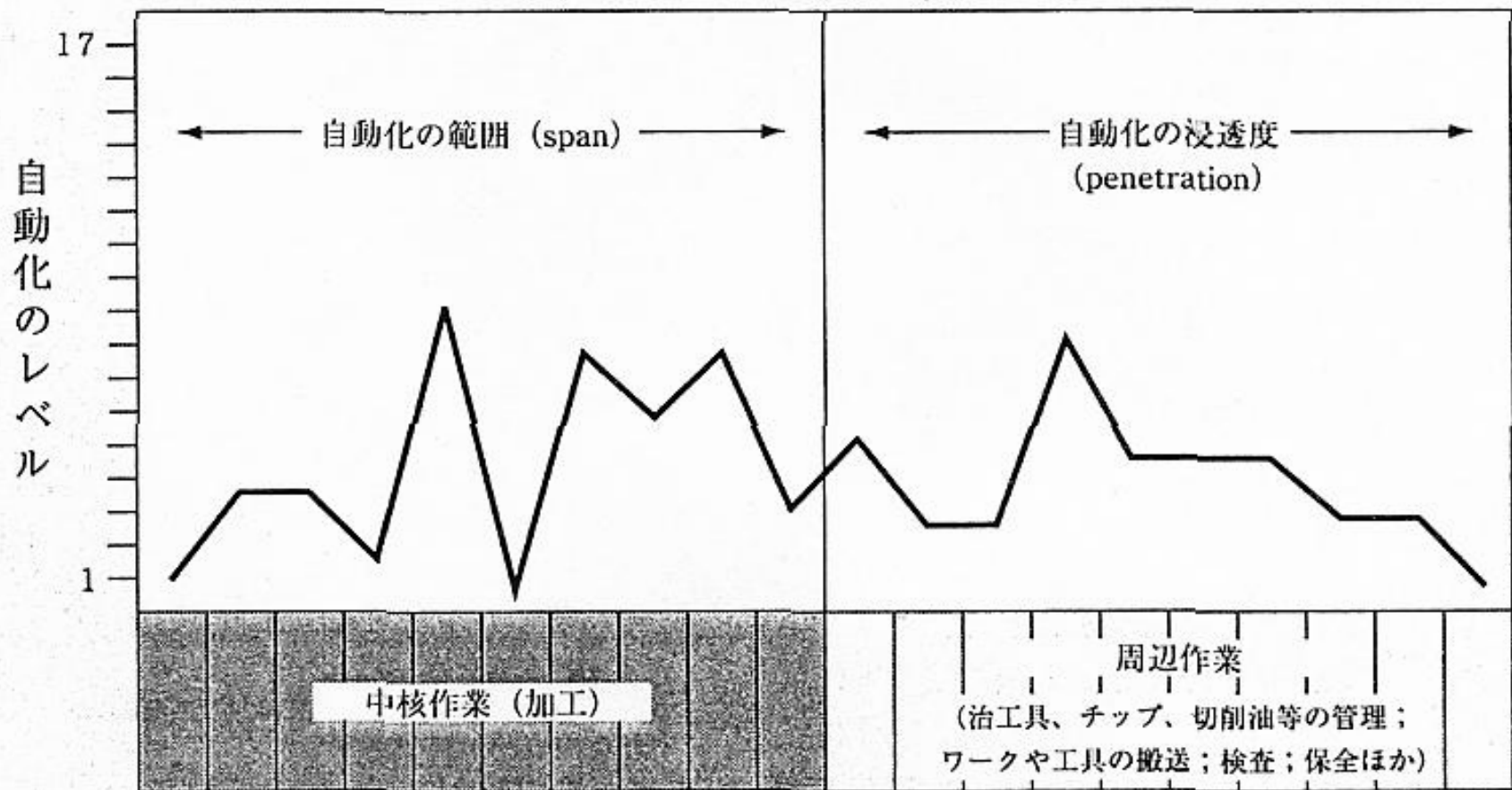
例：ブライト（Bright）の自動化分析

自動化分析の枠組



加工作業

## ブライトの機械化プロフィール（仮想例）

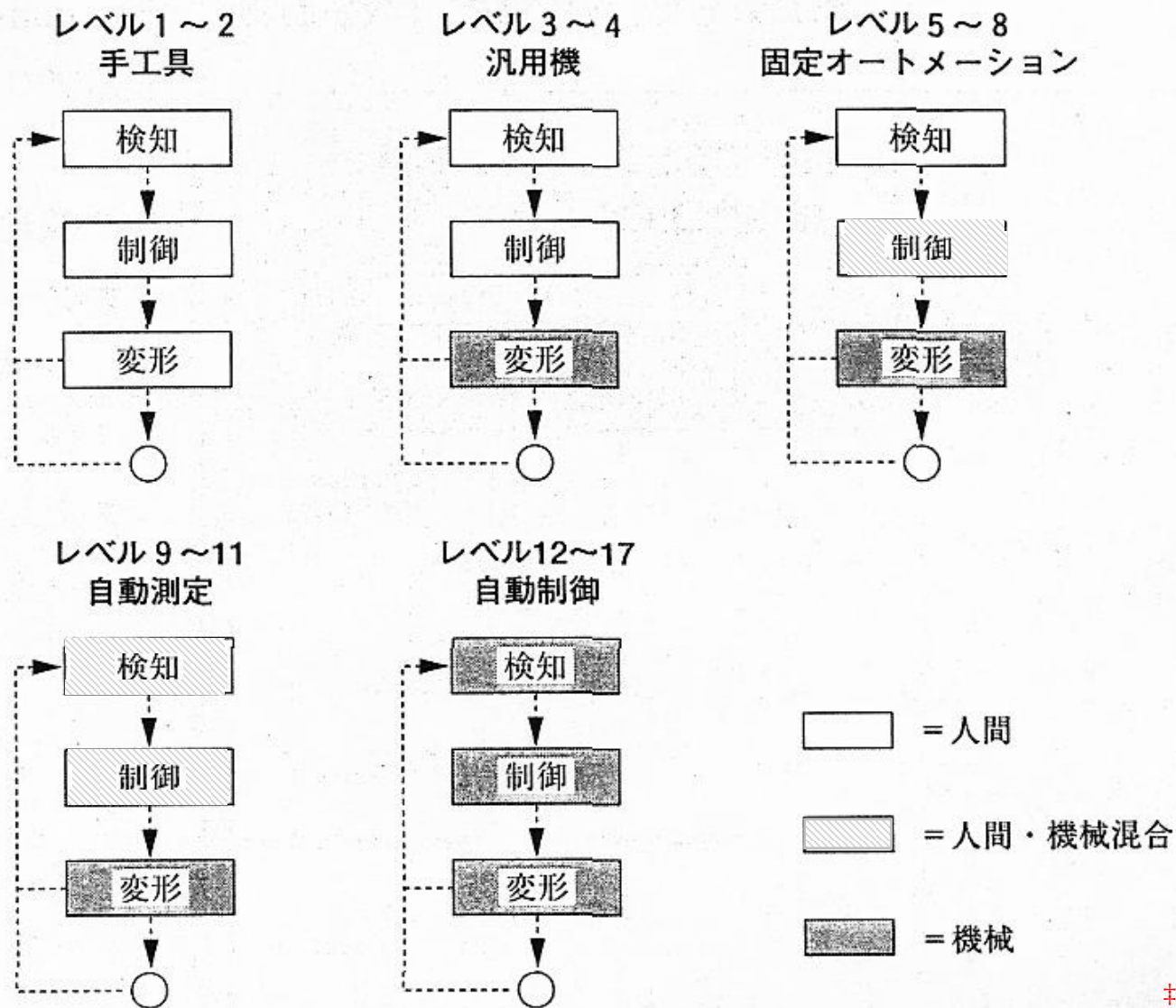


# Bright の自動化17段階評価

|                               | コントロール<br>インプット                              | アウトプット<br>パターン                    | 変形<br>エネルギー源 |                     |
|-------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------|--------------|---------------------|
| ▲ 17 必要な動作を推測して適応(フィード フォワード) |                                              |                                   |              |                     |
| 16 オペレーション中に動作を自動修正           |                                              | 無限定の<br>パターンから<br>選択する            |              | 自動<br>制御            |
| 15 オペレーション後に動作を自動修正           |                                              |                                   |              |                     |
| 14 最適の動作プログラムを選択する            |                                              | 限られた数<br>のレパートリー<br>から選択する        |              | Adaptive<br>control |
| 13 測定結果にしたがって選別を行う            |                                              |                                   | 機            |                     |
| 12 測定結果にしたがってスピード／方向／位置をかえる   | 測定された<br>環境変数<br>にあわせて<br>適応コント<br>ロール<br>する |                                   | 械            | close loop          |
| 11 パフォーマンスを記録する               |                                              |                                   | 動            |                     |
| 10 エラー検出など、あらかじめセットされた値を送信    |                                              | シグナルで<br>出力する                     | 力            | 自動測定                |
| 9 ワークの性質を測定する                 |                                              |                                   |              |                     |
| 8 ワークの投入によって始動する              |                                              |                                   |              | メカニカル<br>コントロール     |
| 7 リモートコントロールのパワーツールシステム       | あらかじめ<br>セットされた<br>メカニズムが<br>コントロール<br>する    | 可能な<br>動作が<br>機械的に<br>固定されて<br>いる |              |                     |
| 6 固定シーケンス、プログラムコントロールのパワーツール  |                                              |                                   |              |                     |
| 5 固定シーケンス、単能のパワーツール           |                                              |                                   |              |                     |
| 4 ハンド・コントロールのパワーツール(汎用機)      |                                              |                                   |              | ハンド<br>コントロール       |
| 3 動力工具(Powered Hand Tool)     | 人間が<br>コントロール<br>する                          | 自由に動く<br>(variable)               |              |                     |
| 2 手工具(Hand Tool)              |                                              |                                   | 手            |                     |
| 1 手                           |                                              |                                   |              |                     |

# 自動化のレベル（ブライト）：

自動化分析の枠組み                      による再解釈



+

## ポジション制御(位置制御)

・・・工作物(ワーク)と工具の相対位置を拘束

ハードウェア(機械構造そのもの)による拘束  
ソフトウェアによる拘束(モーター等を介して)

## シーケンス制御

・・・機械の動作順序をコントロールする

例: 全自動洗濯機、からくり人形



# 位置制御とシーケンス制御

(機械加工の例)

## ポジション(位置)制御

人

ハード  
ウェア

ソフト  
ウェア

ソフト  
ウェア

FMS  
NC工作機

プログラマブル・  
コントローラ

ハード  
ウェア

トランスファーマシン

専用工作機

汎用工作機

人

手作業

シー  
ケ  
ン  
ス  
制  
御

# 固定オートメーション

## 専用機

高速化に適する

高い繰り返し精度

しかし、フレキシビリティに欠ける

# プログラマブル・オートメーション

数値制御 (NC: Numerical Control: プログラム変更可能)

プログラム →

制御装置 →

本体 (モーター → ボールスクリュウ → テーブル・軸頭)

# 工作機械のタイプ

## ①汎用工作機:

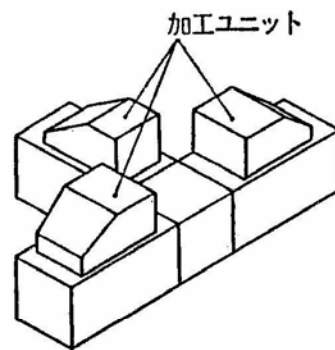
工具の回転などは機械化しているが、ワークと工具の相対位置(加工形状)は完全に拘束されていない。ハンドルなどの操作を通じてこれに拘束を加えるのは、結局**熟練した作業者**(施盤工など)の腕である。したがって、腕のよい熟練工がつけば、何でも作れるフレキシビリティがあるが、一般に加工速度は遅く、同一品種の大量生産には向かない。

## ②専用自動工作機(fixed automation):

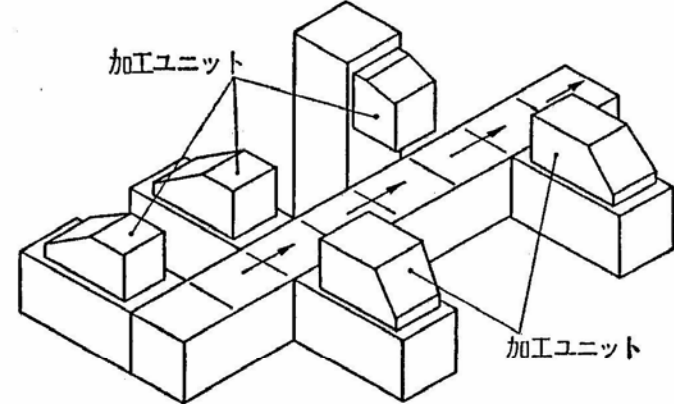
固定オートメーション。機械の動作の自由度(位置、加工順序)が、**機械の構造によって拘束**されるタイプの工作機械。加工順序(シーケンス)は電気機械式の**リレースイッチ**、位置のコントロールは機械の構造そのもので拘束する(このほか、不具合の自動検知、機械停止、部品排除)。

専用機は一般に、汎用機より高いが、NCよりは安い。また、ハードウェア構造で動作を拘束するため、スピードと繰り返し精度で有利である。しかし、複雑な動きは不得手で、フレキシビリティに欠ける。もっとも、固定オートメーションといっても、治具の段取り替え、多軸ヘッドチェンジャーなどにより、ある程度の多品種対応のフレキシビリティを持たせられる(ワンタッチ段取り、おむすび方式、他)。専用機単体のほか、ロータリー・インデックス・マシン、自動搬送機で結んでライン化した**トランスファー・ライン**等がある。

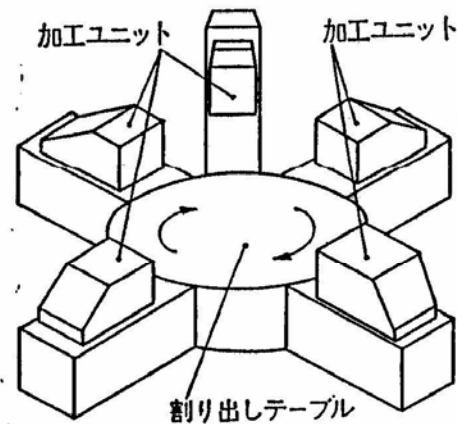
# 固定オートメーション (専用機システム)のタイプ



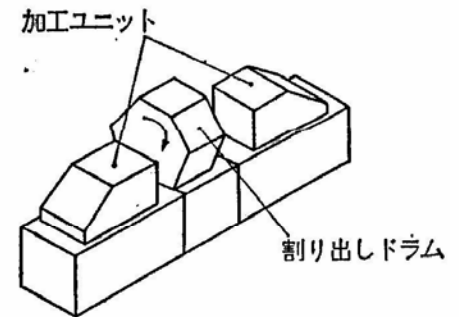
(i) シングルステーションマシン



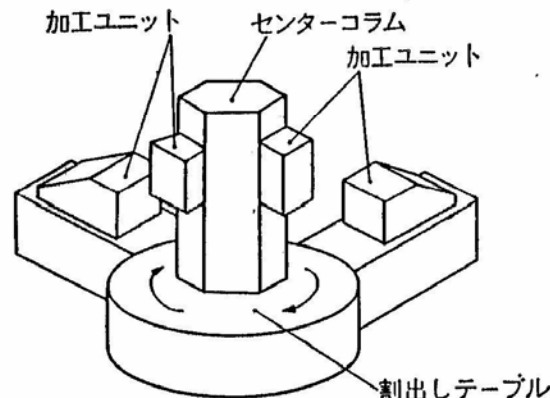
(ii) トランスファマシン



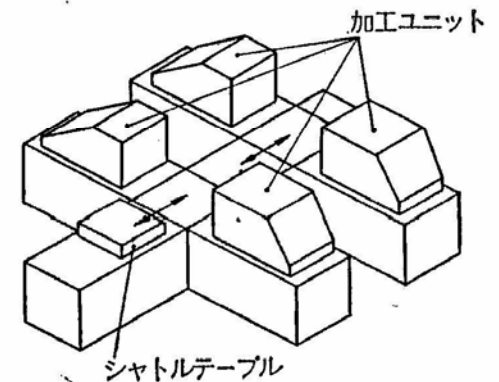
(iii) ダイヤルインデックスマシン



(iv) トラニオンタイプマシン

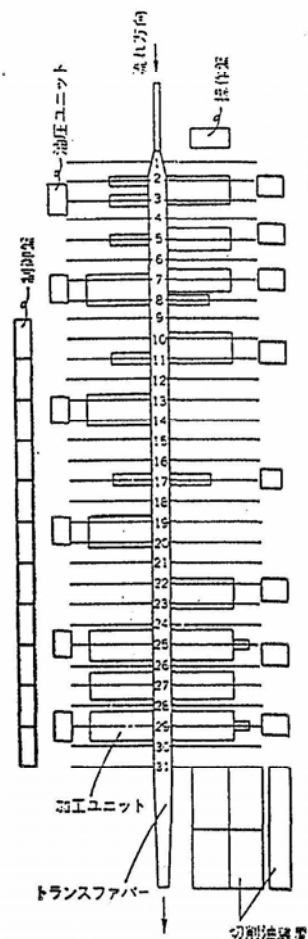


(v) センターコラムマシン



(vi) シャトルタイプマシン

# トランスファー・マシン



(ディファレンシャルケースの例)

| No. | ステーション別加工図 | No. | ステーション別加工図 |
|-----|------------|-----|------------|
| 1   | 取付け        | 17  | 穴あけ        |
| 2   | 戻ぐり        | 19  | 戻ぐり (粗)    |
| 3   | 穴あけ        | 20  | 戻ぐり (仕上げ)  |
| 5   | 穴あけ        | 22  | 戻ぐり (粗)    |
| 6   | 穴あけ        | 23  | 戻ぐり (仕上げ)  |
| 7   | 戻ぐり        | 25  | 仕上げ 中ぐり    |
| 8   | 戻ぐり        | 27  | 測定         |
| 10  | 戻ぐり (粗)    | 29  | 仕上げ 中ぐり    |
| 11  | 戻ぐり (仕上げ)  | 31  | 取りはずし      |
| 13  | 戻ぐり (粗)    |     |            |
| 14  | 戻ぐり (仕上げ)  |     |            |

資料：関敏郎監修『自動車の製造法』山海堂

### ③NC(Numerical Control):

加工形状、加工順序などの情報を数学的に定義し、数値制御プログラムを通じてコントロール(動作を拘束)する。プログラマブル・オートメーションともいう。NC単体の構成は、工作機本体(サーボモーターとリードスクリュウ)などによってテーブルと軸頭の位置を拘束する)、コントローラユニット(プログラム読み取り、加工信号出力など、情報処理)、インストラクション・プログラムの3要素からなる。従来は1インチ幅の紙テープ(8桁パンチテープ)に加工情報を蓄積、これを光学的に読み取って機械動作に変換する。しかし、プログラムミスやテープのメンテナンス、テープリーダーの信頼性などに難があった。現在ではコンピュータメモリーに形状情報を蓄積するCNC(コンピュータNC。機械語との小型コンピュータによる分散制御)、DNC(ダイレクトNC、大型コンピュータによる集中制御)が増えている。情報蓄積の信頼性、プログラム編集の容易さなどが利点である。

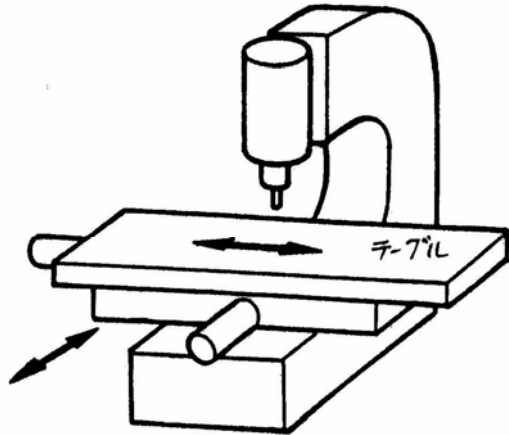
### ④FMS:

多品種少量生産を目的とし、フレキシブルな工作機械をフレキシブルな搬送装置でつないだもの。加工経路などに拘束があるため、スタンドアロンのNC工作機よりはややロットが大きく、多様性の少ない領域に適合するといわれる(ロットサイズ5-1000、品種5から1000程度)。FMSの構成要素としては、フレキシブルな工作機(NC、マシニングセンターなど)、自動工具交換・搬送、フレキシブルなワーク搬送システム、仕掛品貯蔵エリア、コンピュータ・コントロール・システムなどがある。さらに細かく分ければ、FMC(Flexible Machining Cell、CNC1台と自動搬出搬入装置のみ)、狭義のFMS(FMCの連結されたもので、加工経路選択のフレキシビリティがある)、FTL(Flexible Transfer Line、加工ルートは固定)などがある。



# NC工作機械の基本構成

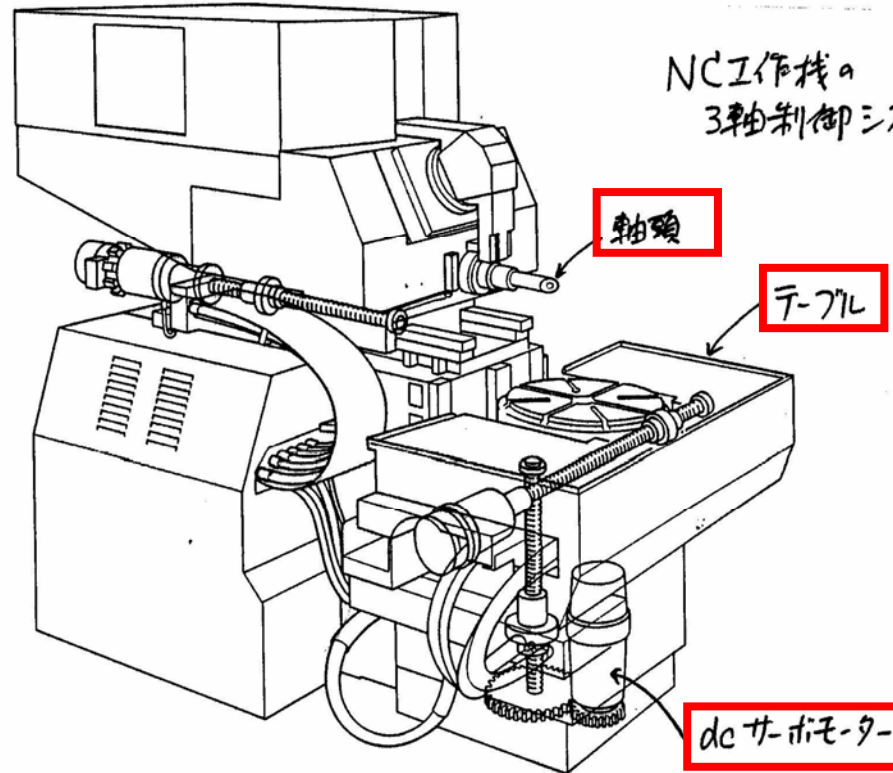
NC工作機のXYテーブル  
(フライス盤)



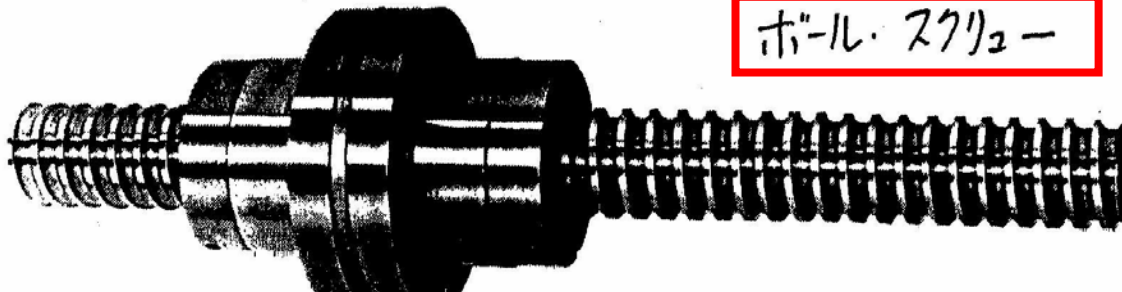
第 1 図

『最新メカトロニクス技術百科』オーム社

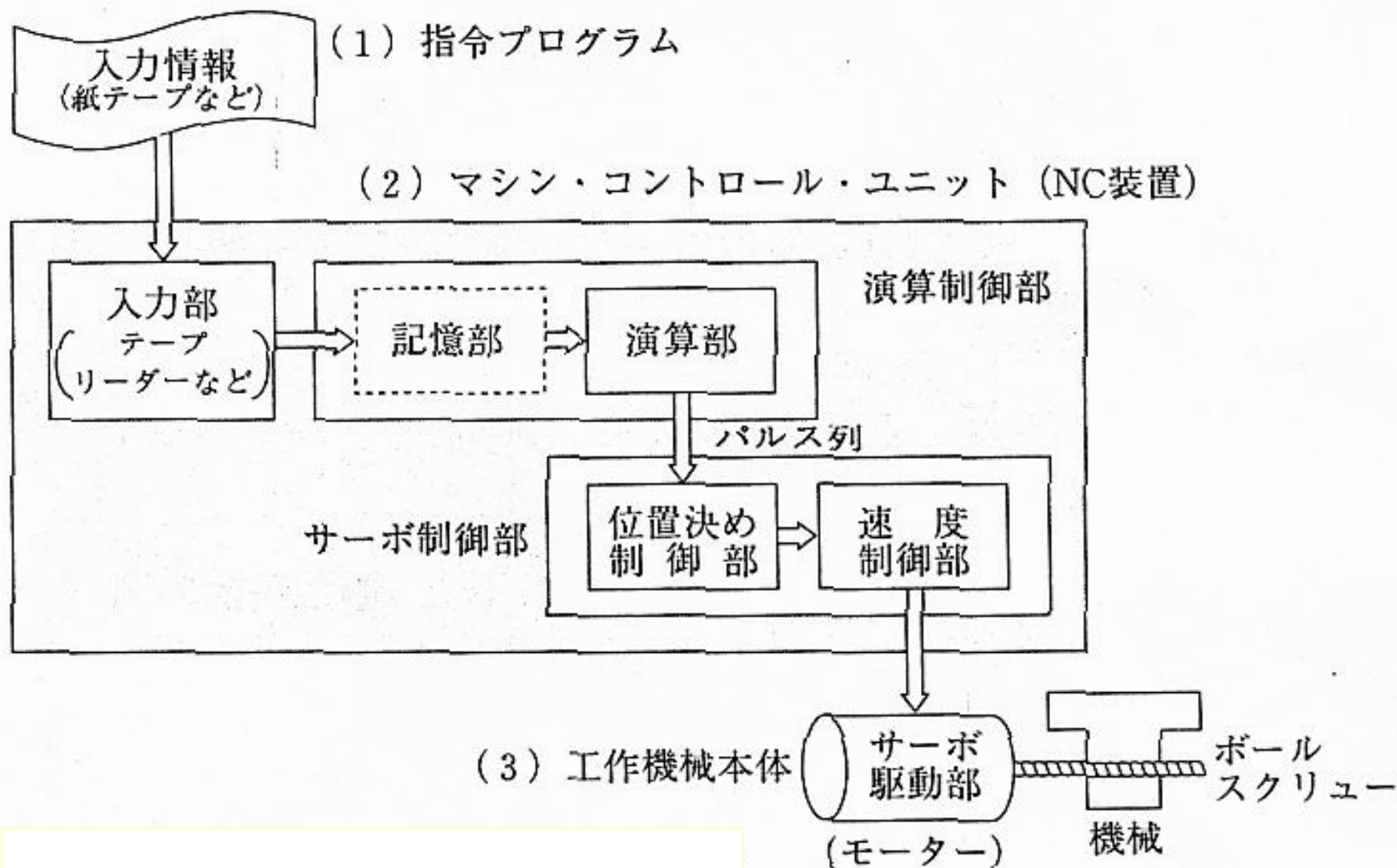
NC工作機の  
3軸制御システム



ボール・スクロー

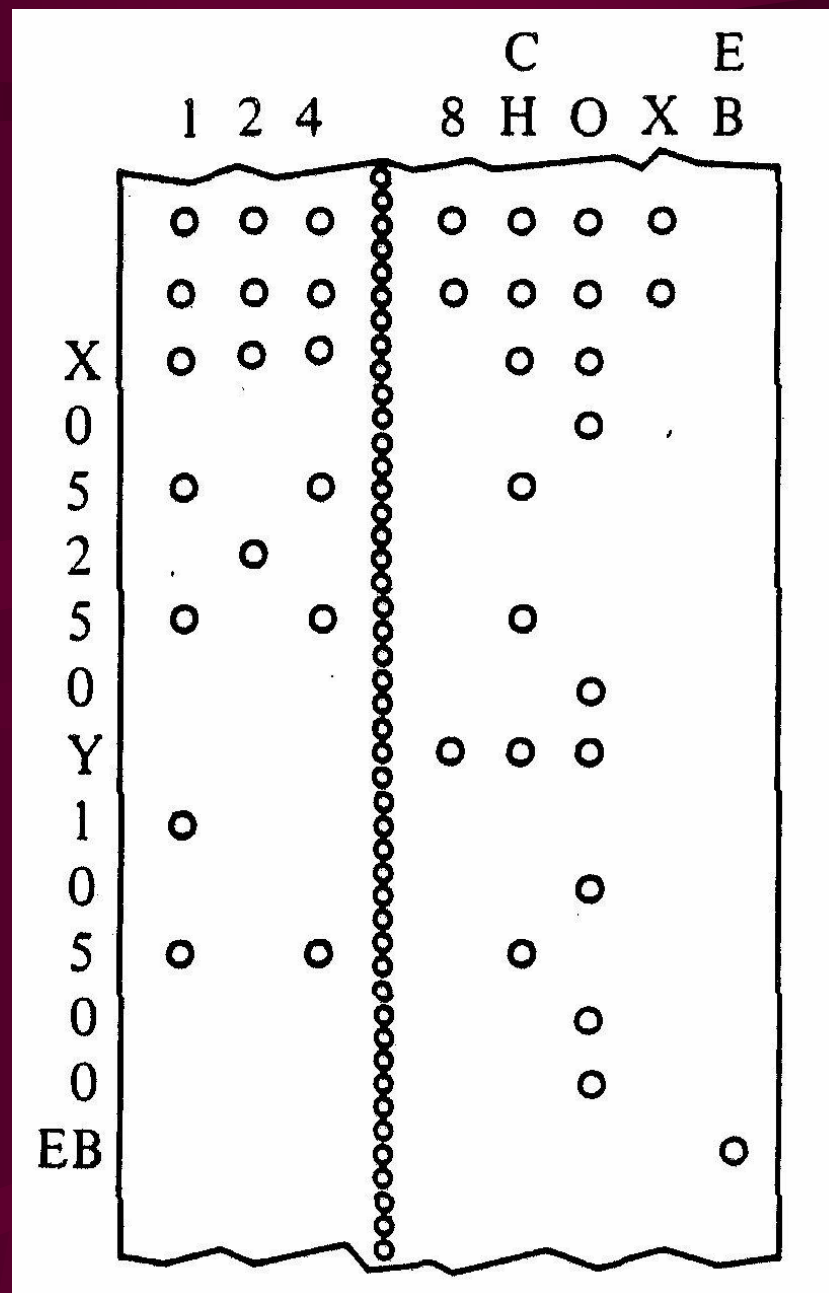


## NC（数値制御）工作機械の構成



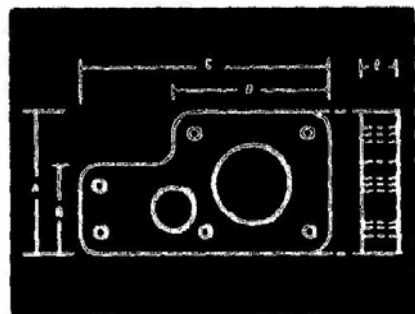


# NCテープ



# NCプログラミング

NUMERICAL CONTROL



Engineering Drawing

設計図面



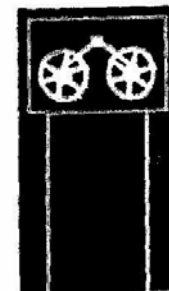
Programmer

プログラミング



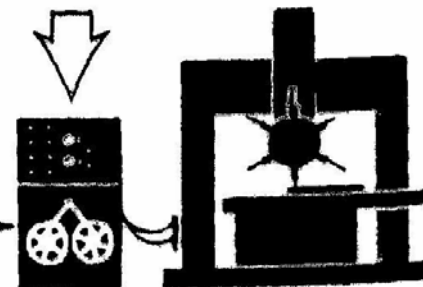
Manual Processing

Computer Processing

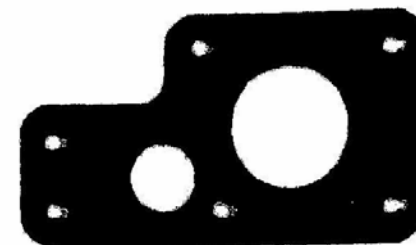


NC工作機

Machine Control Unit



Machine Tool



Finished Part

実物

資料: Lindberg Processes and Materials of Manufacture.

# 数値制御のタイプ

オープン・ループ式

・・・フィードバックなし

クローズド・ループ式

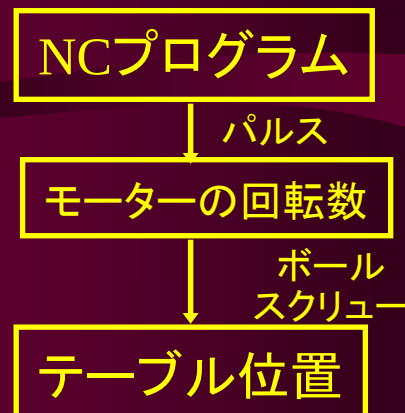
・・・位置情報をフィードバック

適応制御式 (adaptive control)

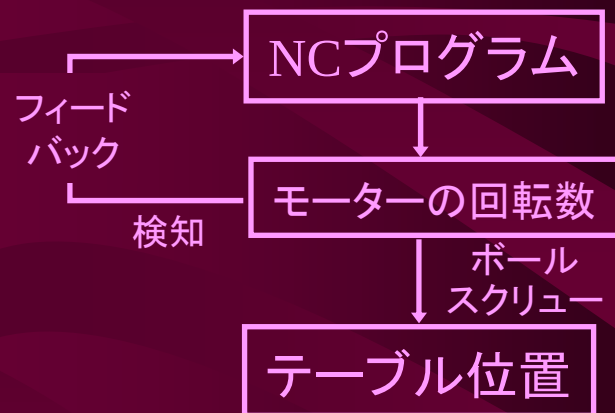
・・・目標を状況に合わせ切り替え

# オープンループ制御とクローズドループ制御

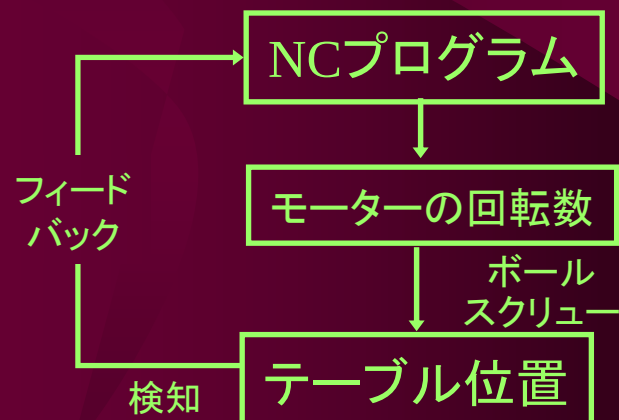
## 1 オープンループ制御



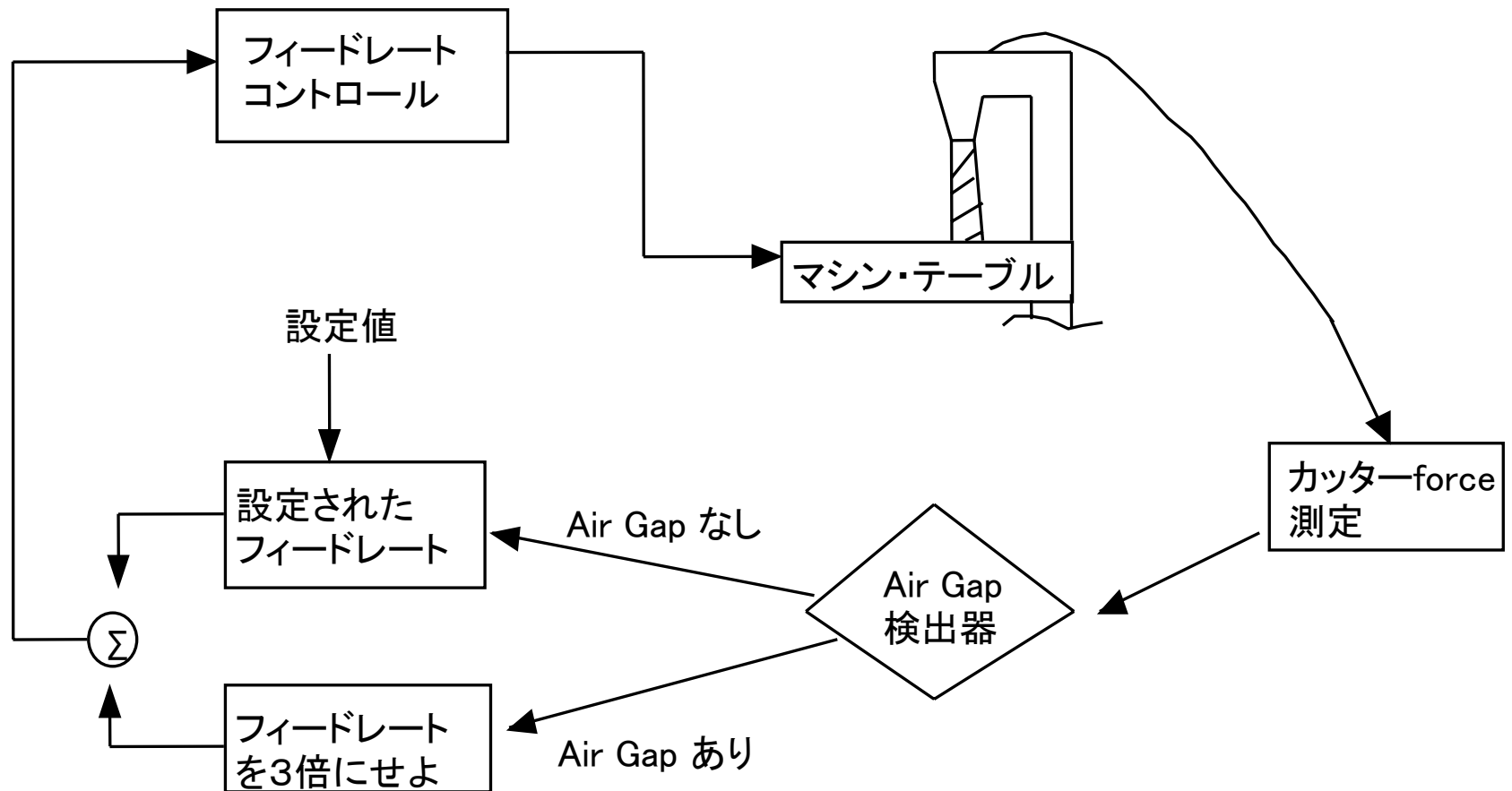
## 2 クローズドループ制御 (間接方式)



## 3 クローズドループ制御 (直接方式)



## 適応制御の例



# 数値制御のタイプ

## DNC (Direct Numerical Control)

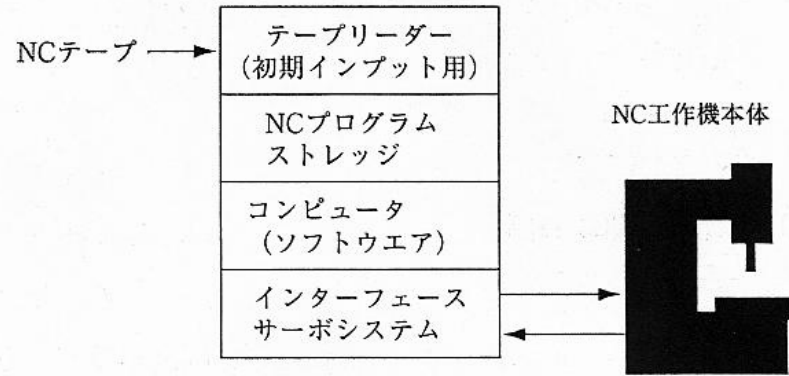
- ・・・大型コンピュータで集中制御

## CNC (Computer Numerical Control)

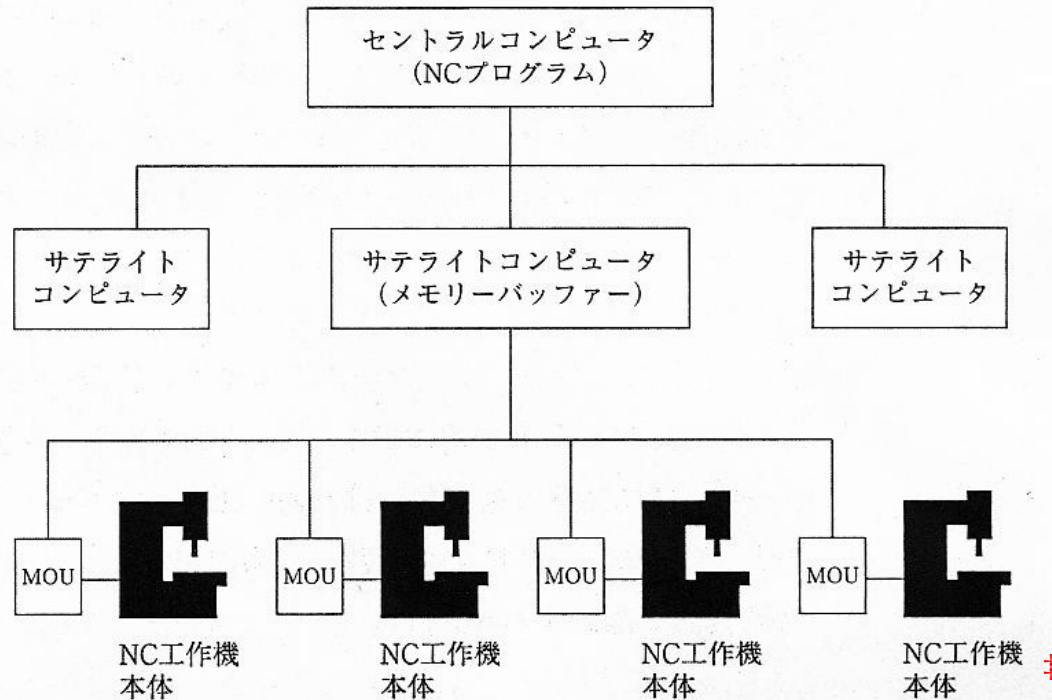
- ・・・生産現場の小型コンピュータ(工作機専属)  
変換部分に特徴のある工作機械

## CNCとDNC

### CNC (computer numerical control)



### DNC (direct numerical control)



# 変換部分によるタイプ

## MC (Machining Center)

- ・・・自動工具交換装置(ATC)を装備したNC機  
(弁慶の七つ道具)

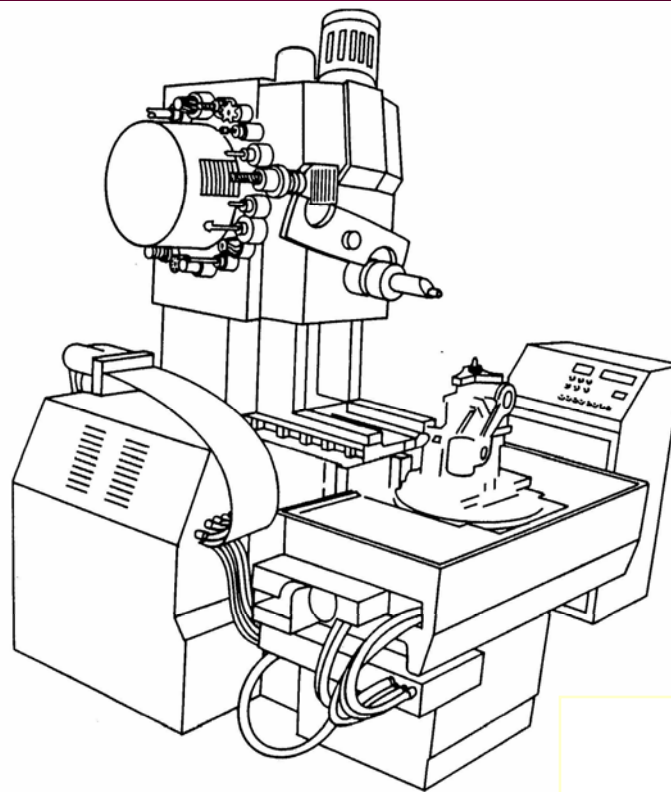
## ヘッド交換型工作機械

- ・・・工具をもった「手」そのものを切り替える。

専用機的な機能を持つ



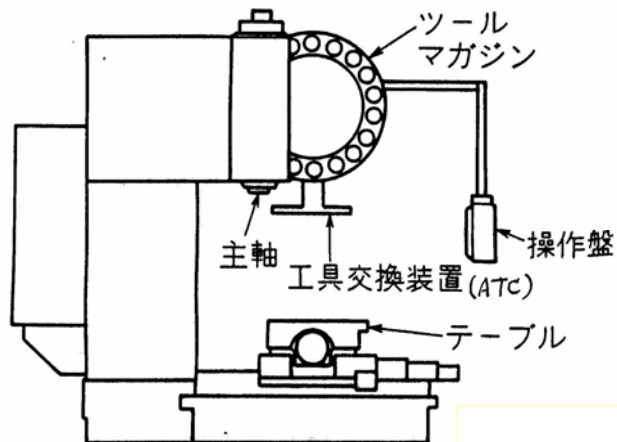
# マシニングセンター



+

藤本隆宏 『生産マネジメント入門』  
日本経済新聞社 2001 (Ⅱ p87 図11.12)

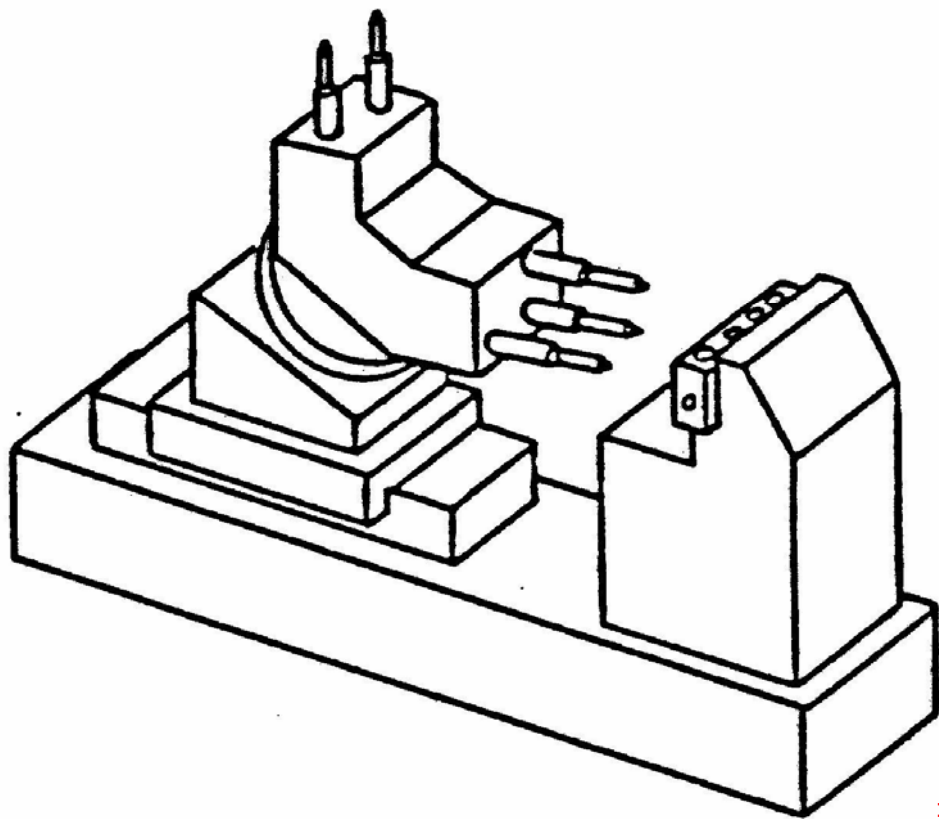
Lindberg, R.A. Process and Materials of Manufacture::3rd ed., Allyn and Bacon.



+

『最新メカトロニクス技術百科』オーム社

## 多軸頭旋回方式



社団法人自動車技術会「自動車技術」1982年No.10

『機械加工技術はどのように変わってきたか(その1)ーエンジンにおける切削技術を中心にー山崎嘉彦;津上正夫』

# ロボット

自動制御され  
再プログラム可能な(re-programmable)  
汎用的で(multi-purpose)  
多くの**自由度**(degrees of freedom)を有する  
**マニピュレーション機能**をもった機械(manipulative)

制御のタイプ… 操縦、シーケンス、プレイバック、数値制御、知能

機構のタイプ… 多関節、直行座標、スカラー(日本得意)、円筒座標

日本では…

中小企業にも浸透。

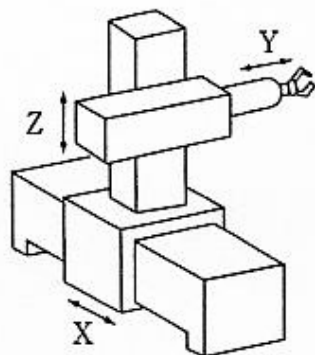
治具を含めたトータル設計。**機能限定型**、社内設計。

# ロボットの分類

| 番号   | 用語         | 意味                                                                        | 対応英語(参考)                          |
|------|------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| 1110 | 操縦ロボット     | ロボットに行わせる作業の一部又は、すべてを人間が直接操作することによって、作業が行えるロボット。                          | operating robot                   |
| 1120 | シーケンスロボット  | あらかじめ設定された情報(順序・条件及び位置など)に従って動作の各段階を逐次進めていくロボット。                          | sequence control robot            |
| 1130 | プレイバックロボット | 人間がロボットを動かすことによって、順序・条件・位置及びその他の情報を教示、その情報によって作業を行えるロボット。                 | playback robot                    |
| 1140 | 数値制御ロボット   | ロボットを動かすことなく、順次・条件・位置及びその他の情報を数値・言語などにより教示し、その情報に従って作業を行えるロボット。           | numerically controlled (NC) robot |
| 1150 | 知能ロボット     | 人工知能によって行動決定できるロボット。<br>備考:人工知能とは認識能力・学習能力。抽象的思考能力・環境適応能力などを人工的に実現した者である。 | intelligent robot                 |

## ロボットのタイプ

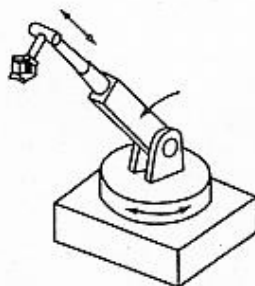
### (1) 直角座標ロボット



・ 安価・簡単な作業・精度・剛性

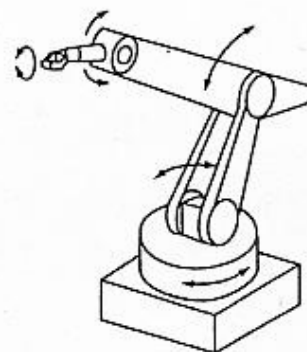
### (2) 極座標ロボット

(例：ユニメート)



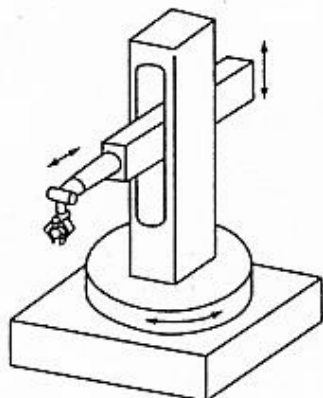
・ 作業範囲広い  
・ 動作速い

### (3) 多関節ロボット



・ 作業範囲広い・融通性広い  
・ 動作速い・精度悪い

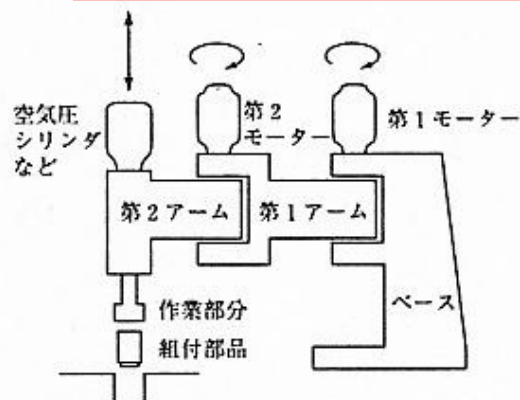
### (4) 円筒座標ロボット



(例：バーサトラン)

・ 垂直方向挿入作業  
・ 作業範囲広い

### (5) スカラ型 (SCARA) ロボット



・ 一方向挿入作業・水平方向の腕の柔軟性

+

## 搬送・貯蔵の自動化

コンベア

スタッカークレーン、自動倉庫

モノレール

オートローダ(ハンドのついたモノレール)

軌条台車(レール走行)

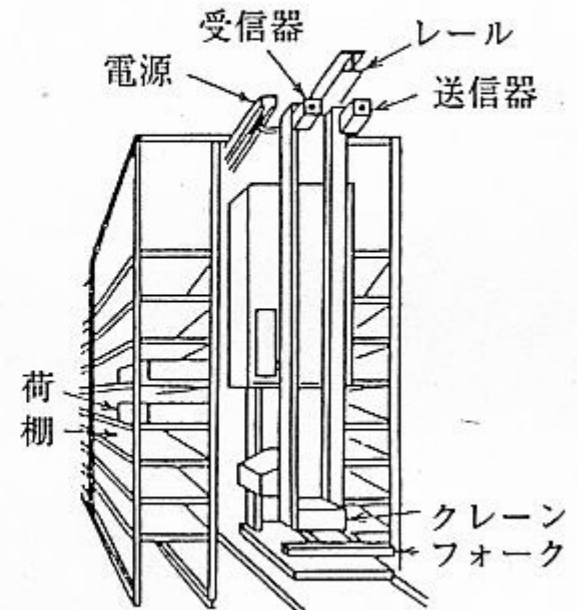
無人搬送台車(AGV)

ロボット

## 無人搬送台車 (AGV)

著作権処理の都合で、この場所に挿入されていた図を省略させていただきます

## 自動倉庫



油井兄朝『CIM:生販統合の実現』日本経済新聞社 (p.116 図表3-18)

『最新メカトロニクス技術百科』オーム社

# 検出の自動化: 自動化(ニンベンのついたジドウカ)

シンプルな**自動検出**(不具合発見)

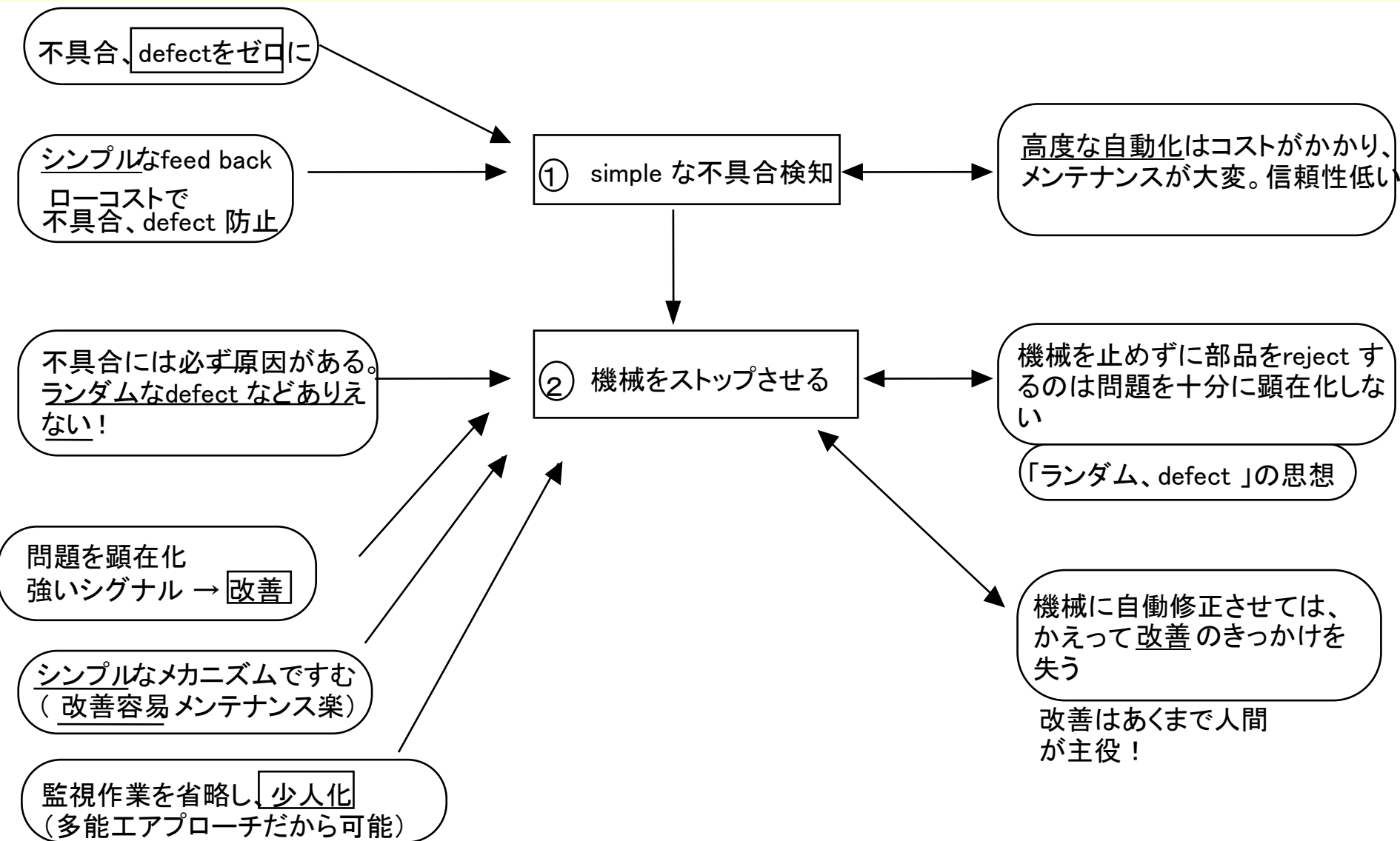
→ 直ちに**機械を停止**(あえて、自動修正はしない)

ねらい・・・**問題の顕在化**

→ 現場に改善(人間の介入)を強要



# 「自動化」の背景思想



## システム全体の自動化

FMC (Flexible Manufacturing Cell: 加工セル自動化)

FMS (Flexible Manufacturing System: 工程全体)

FA (Factory Automation: 設計も含む工場全体)

CIM (Computer Integrated Manufacturing: 製販統合)

CALS (企業間; 設計情報を含むデータを瞬時に交換)

競争力への正味の貢献はどこにあるのか・・・冷静な判断が必要

# FMCの例

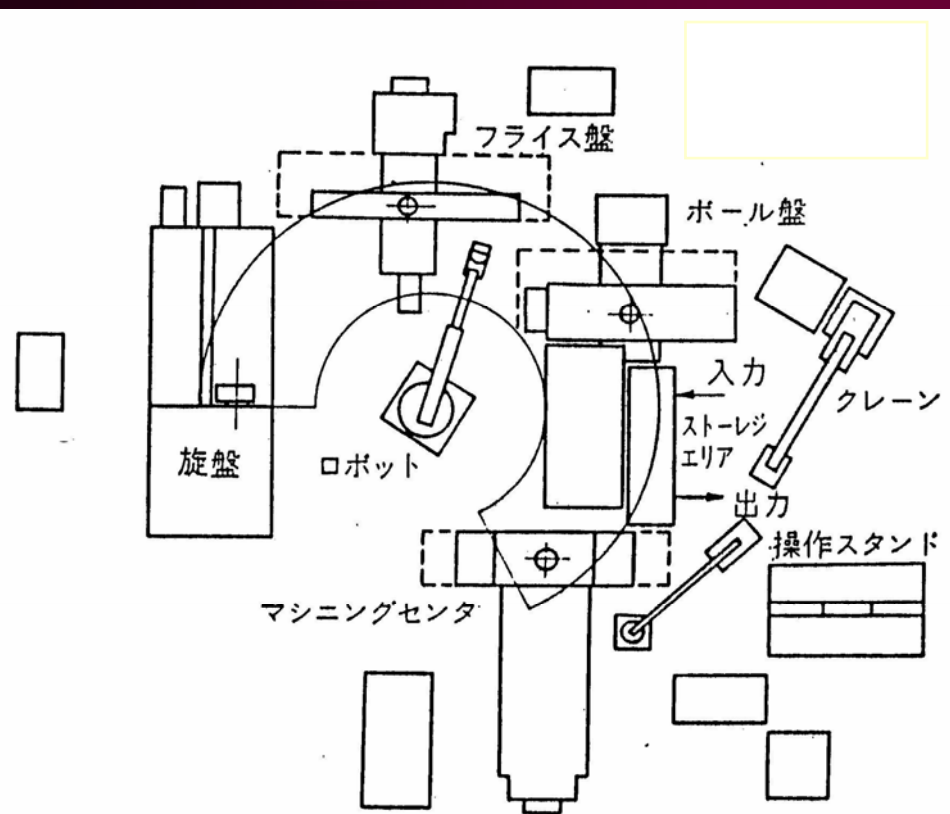
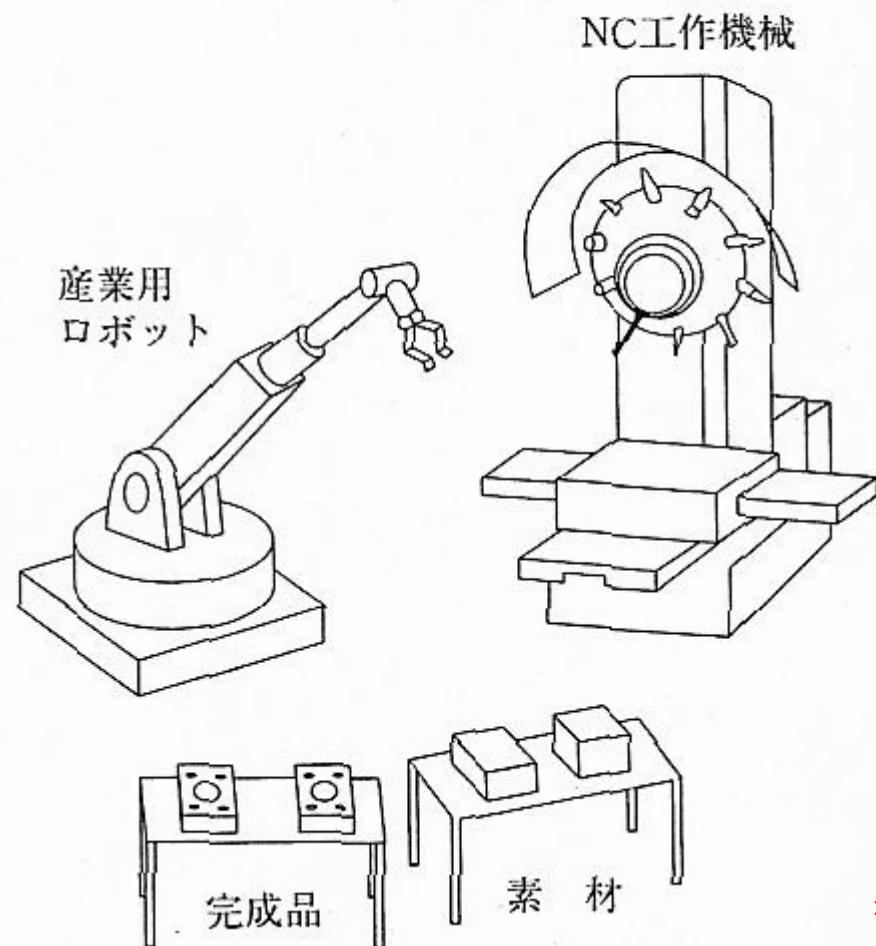


図 1・2 FMC の例 (ノルウェー工科大学の分散型セル)

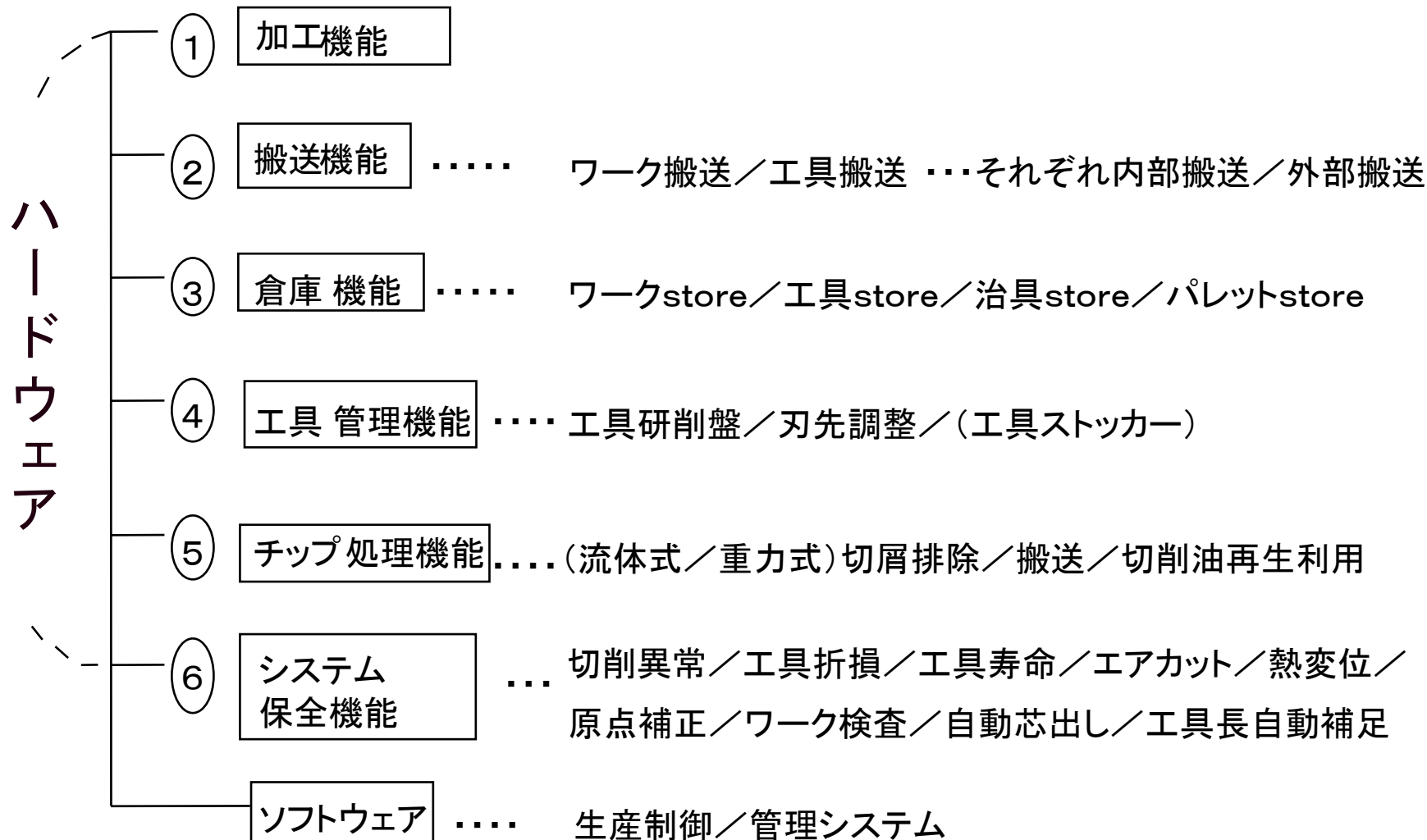
伊藤 誼・岩田 一明『フレキシブル生産システム』日刊工業新聞社 (p.4)

## フレキシブル・マニファクチャリング・セル(FMC)の例

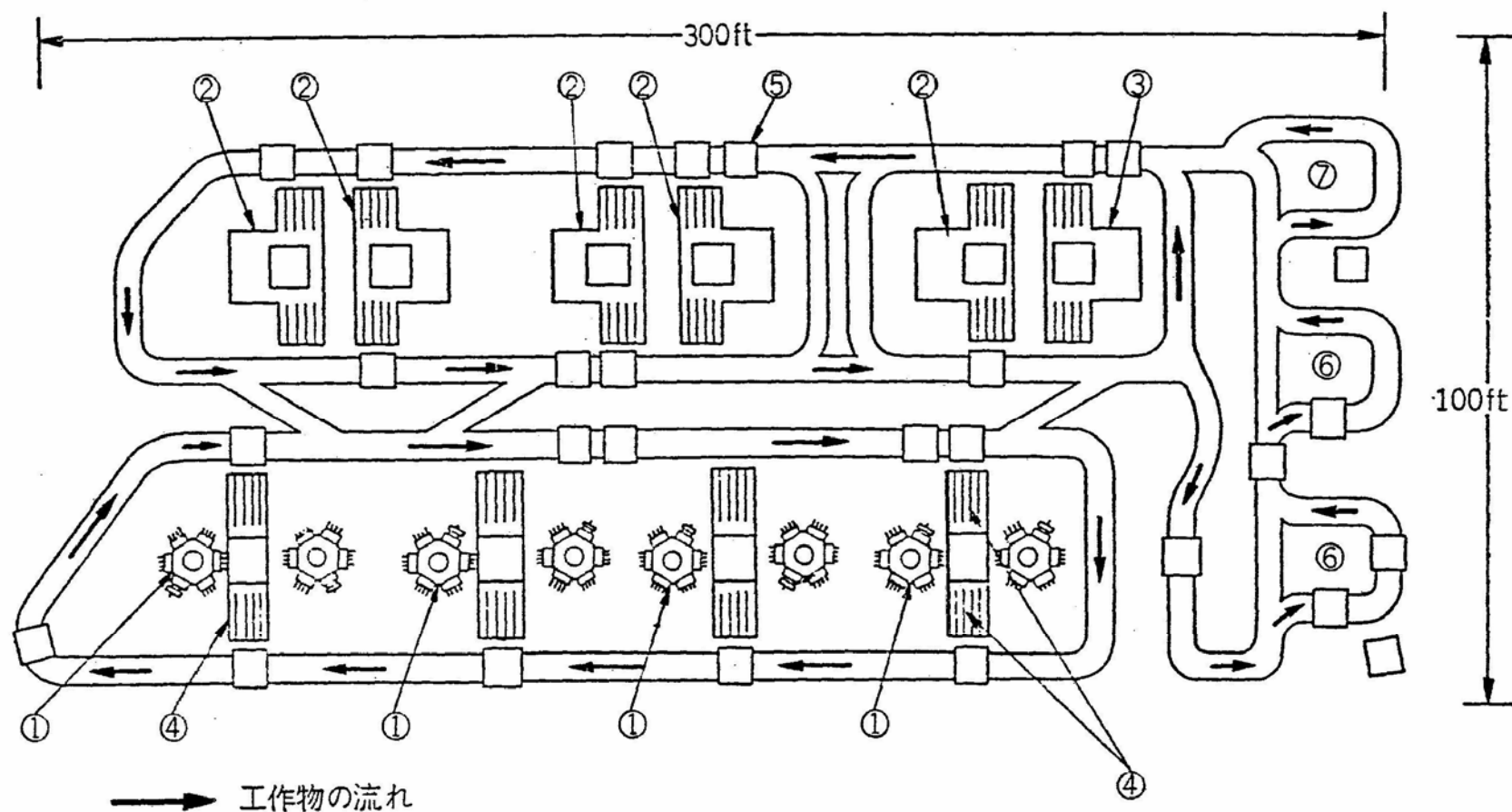


『最新メカトロニクス技術百科』オーム社

# FMS の6大ハードウェア機能



# FMSの例

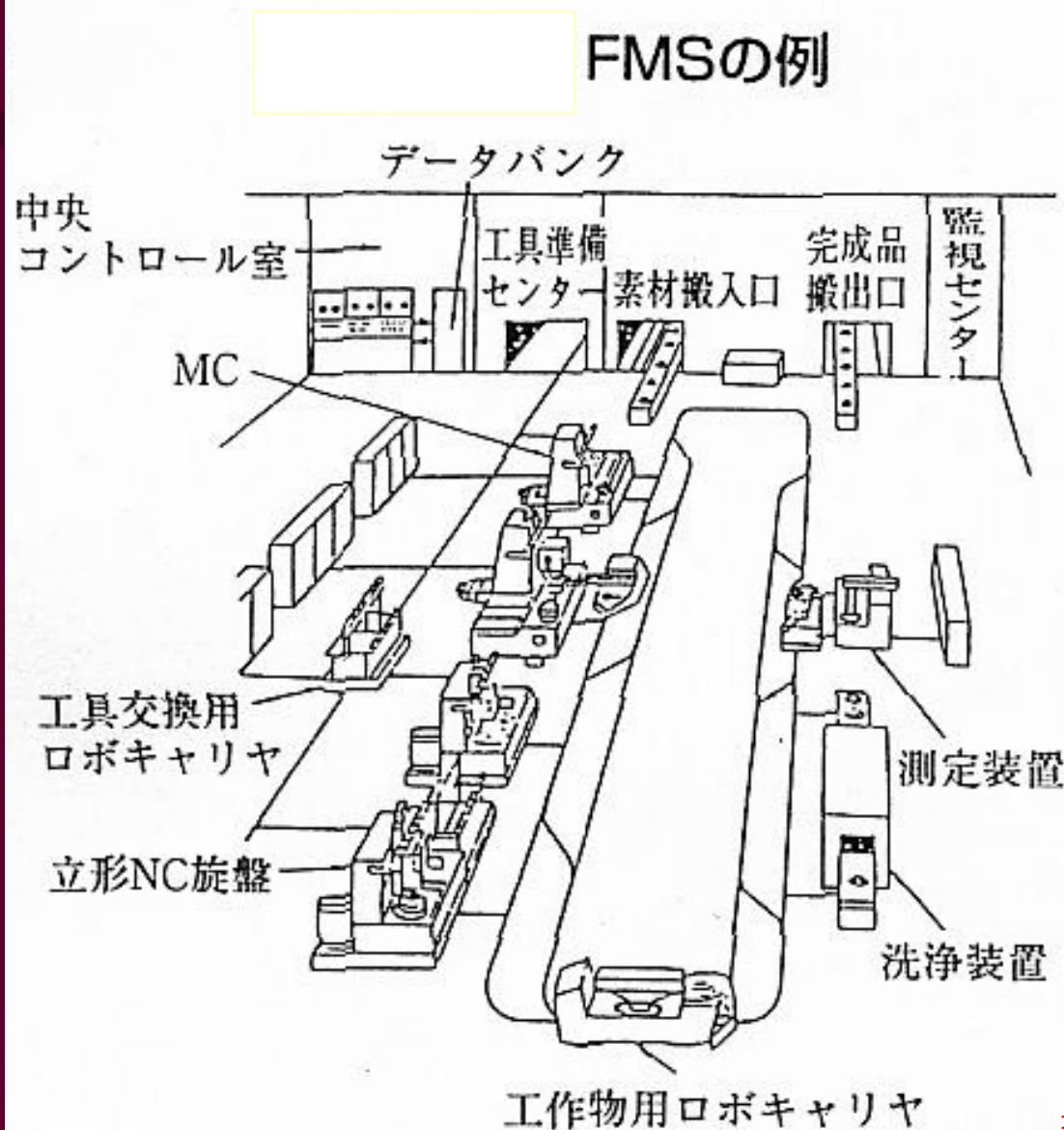


- ①多軸ヘッドインデクシングマシン
- ②マシニングセンタ
- ③3軸NCフライス盤

- ④シャトル
- ⑤カート (パレットに固定された  
工作物を搬送)

- ⑥ローディング・アンローディング  
エリア
- ⑦検査エリア

Milwaukee FMS-1 のシステム構成



# 日米のFMSの実態比較

Jaikumar  
Postindustrial Manufacturing

・Jaikumar は、1984年における日米のFMSの比較調査の結果を次のように示した。

|              | 日本のFMS (dynamic)                                                                                          | アメリカのFMS (static)                                                                                        |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 志向           | ・ <u>フレキシビリティ志向</u> (多品種・少ロット) (100種、200コ)<br><u>ジョブショップの自動化</u> を志向                                      | ・ <u>固定オートメーションの延長</u> (少品種・大ロット) 10種、200コ<br><u>トランスファーラインのフレキシブル化</u> を志向                              |
| 操業実績         | ・ <u>ダウンタイム小さい</u> (20%以下) 使いこなしている<br>・ <u>無人化運転</u> 3直操業 (untended)<br>・ <u>新製品に対するフレキシビリティ高い</u>       | ・ <u>ダウンタイム大きい</u> (50%) <u>FMSを使いこなせない</u><br>・ <u>無人化運転できない</u><br>・ <u>新製品に対するフレキシビリティ低い</u>          |
| リソース<br>ポリシー | ・ <u>大卒エンジニア比率高い</u> (40%) — high skill<br>・ <u>トレーニング長い</u> (アメリカの3倍)<br>・ <u>CNC比率高い</u> (マシンのフレキシビリティ) | ・ <u>大卒エンジニア比率低い</u> (8%)<br>・ <u>トレーニング短い</u> 。ワーカーの <u>deskill 化</u><br>・ <u>CNC 比率低い</u> (フレキシビリティ低い) |
| 開発           | ・ <u>開発リードタイム短い</u> (1.5年)<br>・ <u>開発チーム小さい</u> (小回りがきく)<br>・ <u>開発チームが生産も継続</u> → <u>改善が続く</u>           | ・ <u>開発リードタイム長い</u> (2.5～3年)<br>・ <u>開発チーム大きい</u><br>・ <u>開発チームは解散・断絶</u> → <u>改善おこらず</u>                |
| 経済効果         | ・ <u>コスト半減、3年で回収!</u> (ペイしている)                                                                            | ?                                                                                                        |
| まとめ          | <u>ダイナミック・アプローチ</u> にもとづく運営で成功<br>(フレキシビリティ、実験、学習、改善、訓練)                                                  | <u>テーラー的アプローチ</u> にFMSをつぎ木して失敗<br>(固定オートメーションの延長、deskill、訓練不足、・・・)                                       |

著作権処理の都合で、この場所に挿入されていた図を省略させていただきます



# 自動化戦略

## 自動化の競争力効果と問題点

労働生産性

コスト低減

製造品質

納期

フレキシビリティ

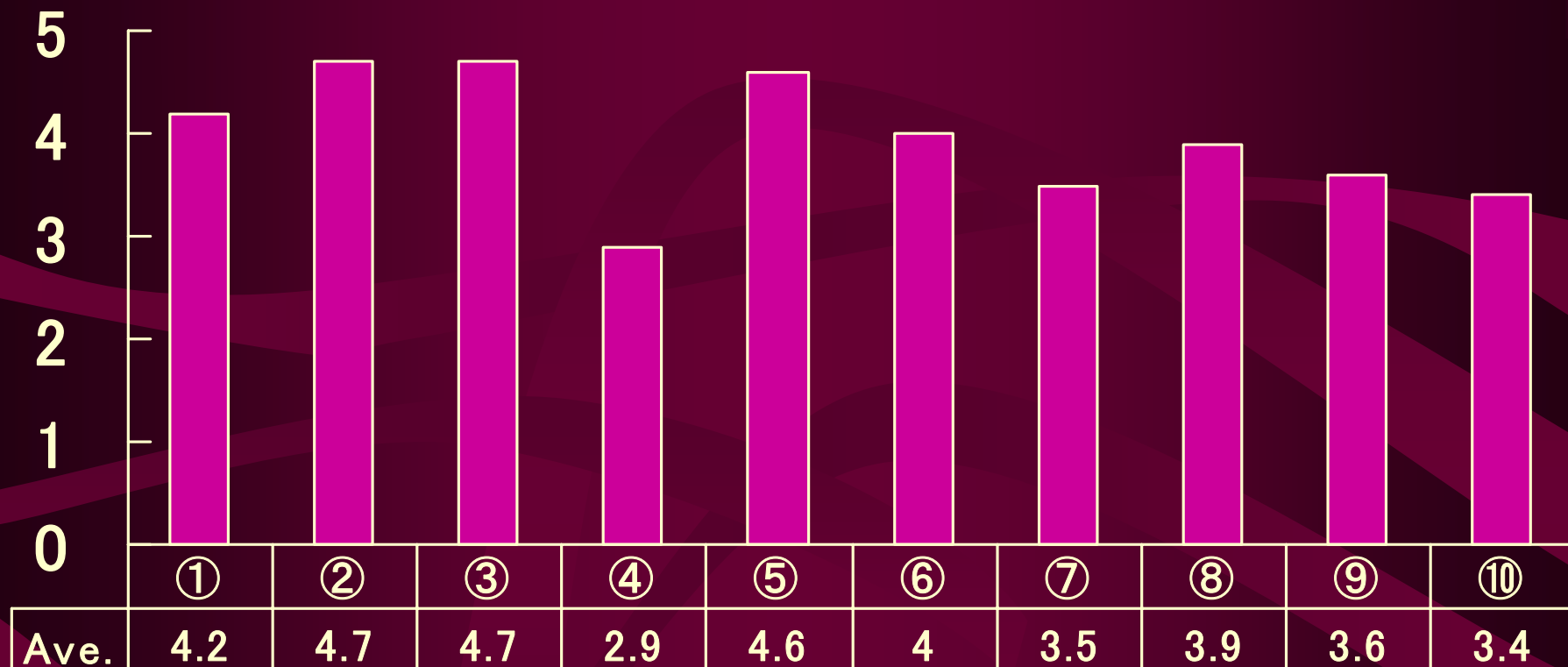
作業環境改善

熟練解体・労働疎外

雇用

# 自動化の目的・期待効果(11社平均)(1990)

御社の最終組立工程の自動化についてお聞きます。今後2000年に向けて御社の組立工程を自動化していく際の基準として、次の目的ないし期待効果を重視しますか？重要(5)から重要でない(1)までの5段評価、最も近いものに○をつけてください。



①コストダウン

②省人化

③製造品質向上

④納期短縮

⑤作業環境改善／作業負担低減

⑥作業者高齢化への対応

⑦作業者新規採用不足

⑧時間問題への対応

⑨企業のイメージアップ

⑩企業・組織の活性化

重要

重要でない

5

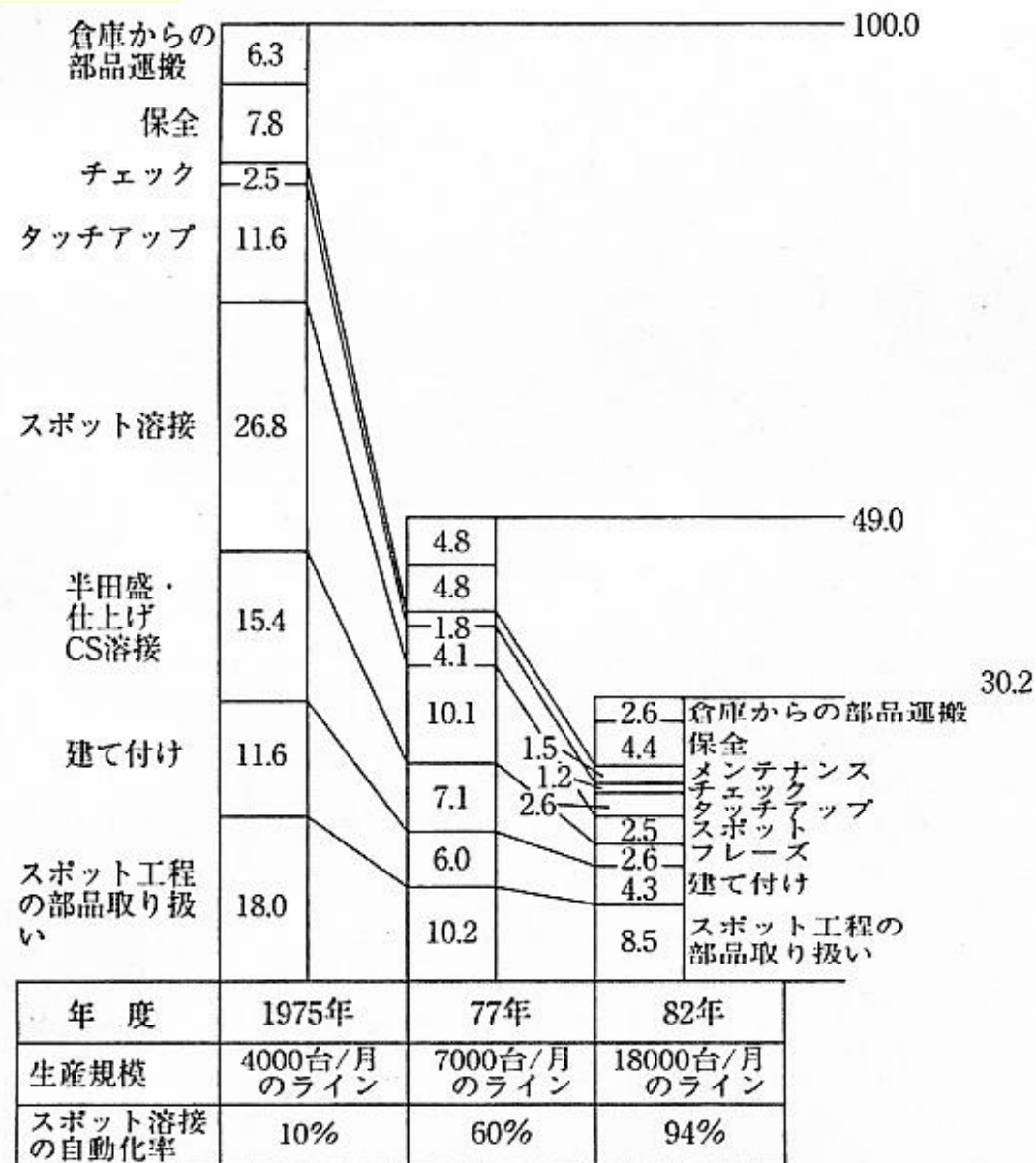
4

3

2

1

## 自動化による台当たり車体製作工数の低下



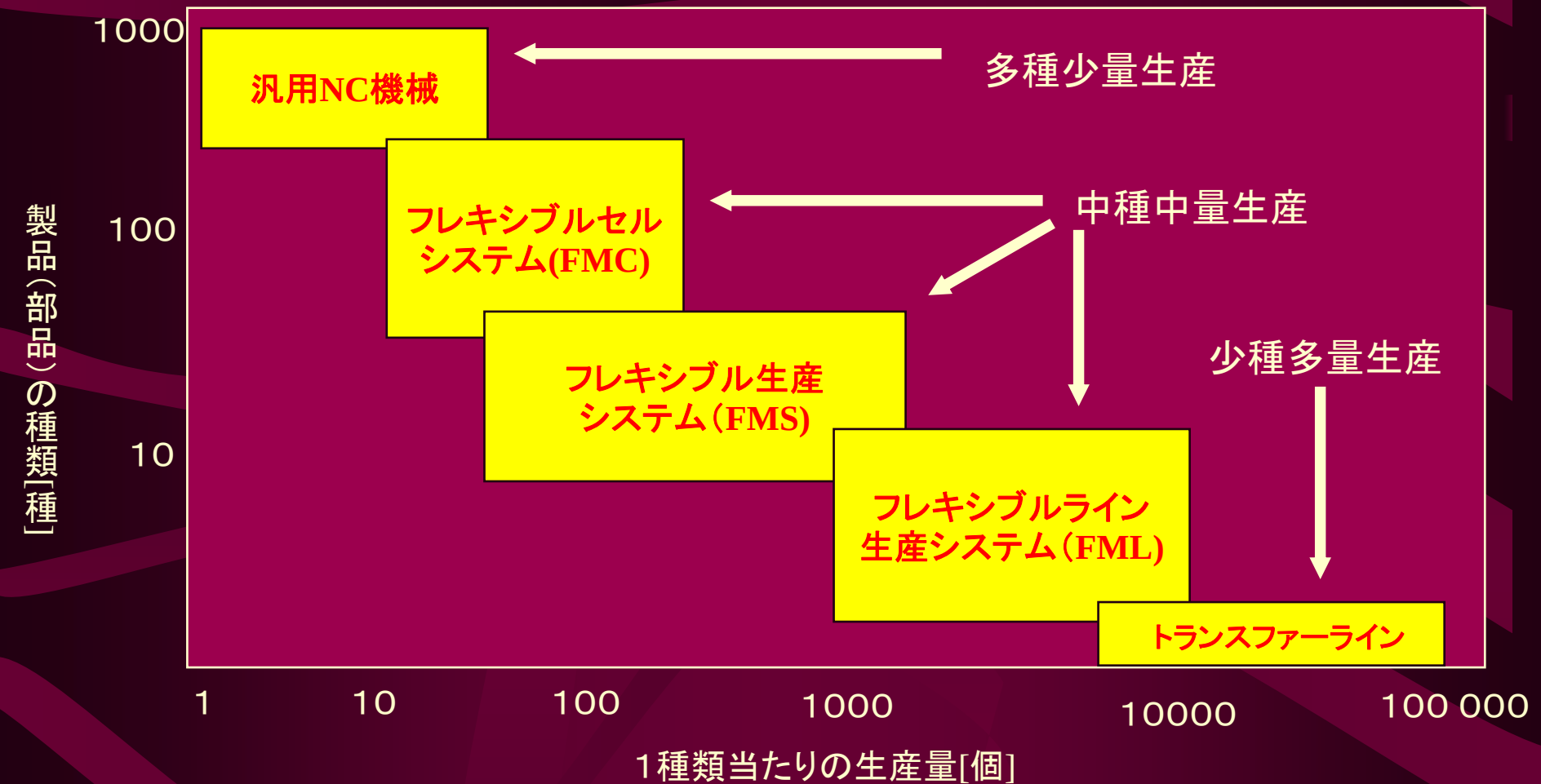
# コスト・リードタイム

## 自動化の手段と方法

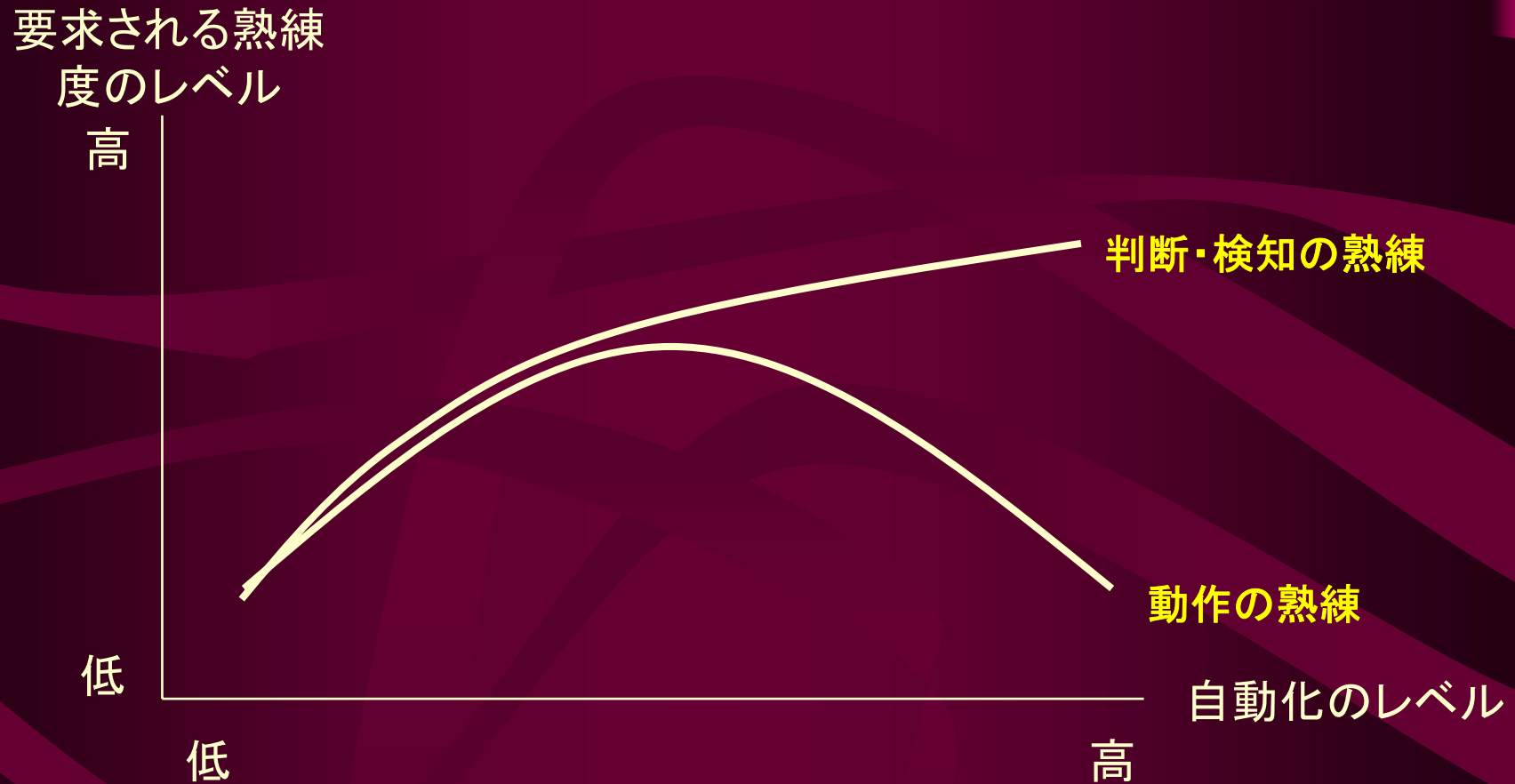
| 手 段                              | 目 標 | 製造機能        |                            |                      |                   | 生産リードタイム（ワークが工場を通過する時間） |                      |         |               |               |                |                      |
|----------------------------------|-----|-------------|----------------------------|----------------------|-------------------|-------------------------|----------------------|---------|---------------|---------------|----------------|----------------------|
|                                  |     | 原料加工・<br>組立 | 着脱・搬送<br>(マテリアル<br>ハンドリング) | 工程・<br>工場の<br>コントロール | 生産の<br>データ<br>ベース | 工程数<br>nm               | 段取替<br>時間/工<br>程 Tsu | 作業時間/工程 |               |               |                | 非作業<br>時間/工<br>程 Tne |
|                                  |     |             |                            |                      |                   |                         |                      | To      | 正味加工<br>時間 Tm | 部品移動<br>時間 Th | 工具移動<br>時間 Tth |                      |
| 1. 作業の専門化（専用機）                   |     | ●           |                            |                      |                   |                         |                      | ●       | ●             |               |                |                      |
| 2. コンビネーション作業（1工程で<br>複数作業）      |     | ●           | ●                          |                      |                   | ●                       |                      |         |               | ●             | ●              |                      |
| 3. 同時作業（1工程で同時複数作業、<br>多軸ボール盤など） |     | ●           | ●                          |                      |                   | ●                       |                      |         | ●             | ●             | ●              |                      |
| 4. 作業の統合化（トランスファー・<br>マシンなど）     |     | ●           | ●                          |                      |                   | ●                       |                      |         |               | ●             |                |                      |
| 5. 段取り替え時間短縮                     |     | ●           |                            | ●                    |                   |                         | ●                    |         |               |               |                |                      |
| 6. マテリアル・ハンドリング改善                |     |             | ●                          |                      |                   |                         |                      |         |               |               |                | ●                    |
| 7. 工程コントロール・最適化                  |     | ●           |                            | ●                    |                   |                         |                      |         | ●             |               |                |                      |
| 8. コンピュータ 生産データベース               |     |             |                            |                      | ●                 | ●                       |                      |         |               |               |                | ●                    |
| 9. 工場生産コントロール                    |     |             |                            | ●                    | ●                 |                         |                      |         |               |               |                | ●                    |

注：生産リードタイムは、 $nm(Tsu + QTo + Tne)$ 。ただし、 $To = Tm + Th + Tth$ 、 $Q$ はバッチあたりのワーク数。 ±

# フレキシビリティ 機械加工システムの適用領域

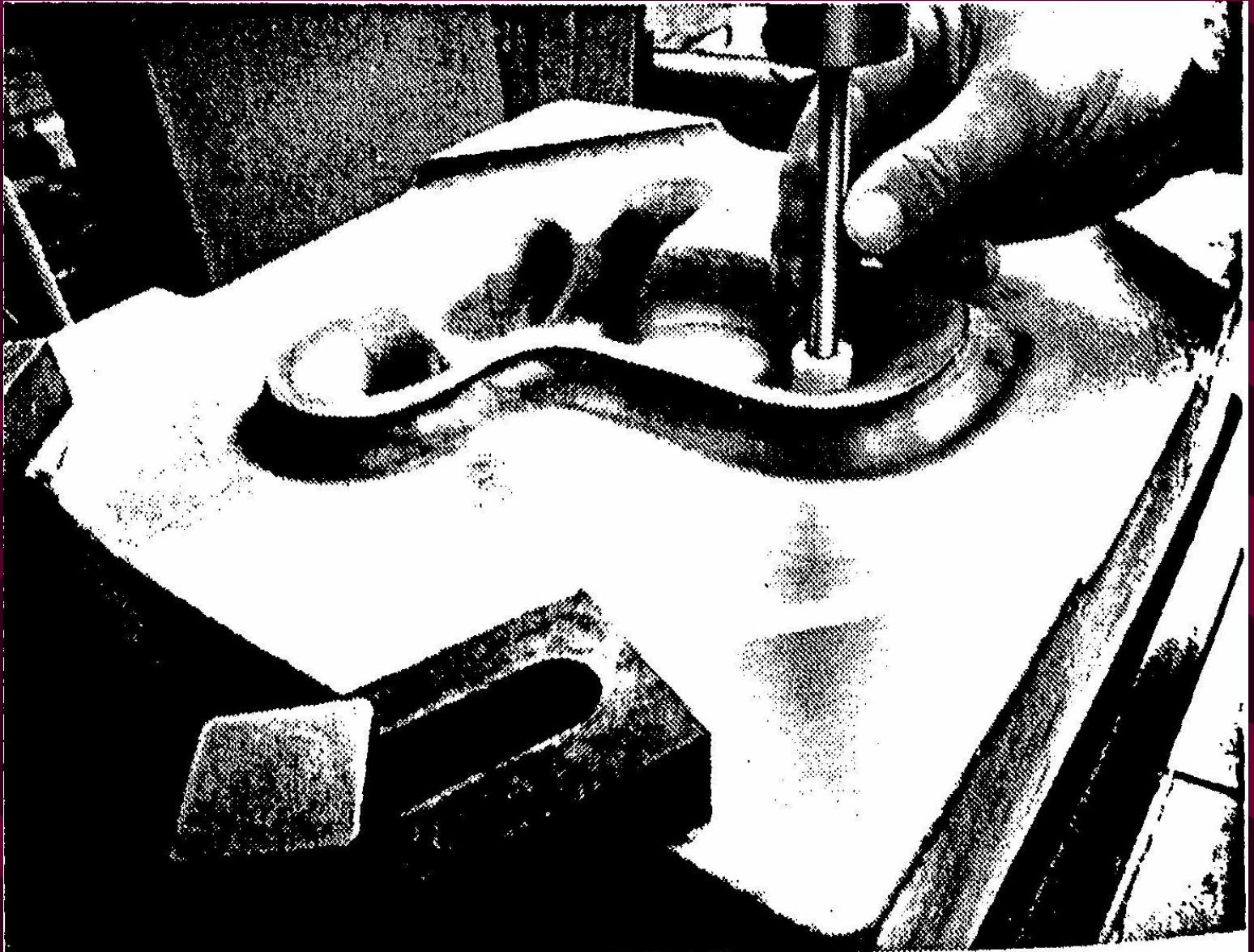


## 自動化の熟練度に対するインパクト(概念図)





# プレイバック工作機のティーチング



# ローコスト自動化戦略とハイテク自動化戦略

業種にもよるが...

日本企業は、概してローコスト自動化戦略が得意

(バブル時代にはハイテク戦略への傾斜もみられたが)



## 量販車メーカーにおける組立工場特性(1989年)

|                                  | 日本にある<br>日本車工場 | 北米にある<br>日本車工場 | 北米にある<br>米国車工場 | 欧州<br>全体 |
|----------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------|
| <b>実績:</b>                       |                |                |                |          |
| 生産性(時間／台)                        | 16.8           | 21.2           | 25.1           | 36.2     |
| 品質(欠陥数／100台)                     | 60.0           | 65.0           | 82.3           | 97.0     |
| <b>工場レイアウト:</b>                  |                |                |                |          |
| スペース(平方フィート／台／年)                 | 5.7            | 9.1            | 7.8            | 7.8      |
| <b>手直し部の広さ:</b><br>(組立部の面積に対する%) | 4.1            | 4.9            | 12.9           | 14.4     |
| 在庫(日、サンプル部品は8種類)                 | 0.2            | 1.6            | 2.9            | 2.0      |
| <b>労働者:</b>                      |                |                |                |          |
| チーム編成率(%)                        | 69.3           | 71.3           | 17.3           | 0.6      |
| 交代制(0＝なし、4＝頻繁)                   | 3.0            | 2.7            | 0.9            | 1.9      |
| 指示回数(個／人)                        | 61.6           | 1.4            | 0.4            | 0.4      |
| 職務数                              | 11.9           | 8.7            | 67.1           | 14.8     |
| 新人訓練時間                           | 380.3          | 370.0          | 46.4           | 173.3    |
| 欠勤数                              | 5.0            | 4.8            | 11.7           | 12.1     |

## 2つの自動化戦略のタイプ

|       | 1 ローコスト自動化戦略                    | 2 ハイテク自動化戦略                                 |
|-------|---------------------------------|---------------------------------------------|
| 目的    | 競争力志向(自動化はあくまで手段)               | ややもすると技術至上主義                                |
| 手順    | トータルシステム志向(まず工程改善)              | システム改善なしでいきなり自動化                            |
| 設備計画  | 機能限定型の安価な機械設備<br>設備の将来的な機能拡張性重視 | 機能過剰気味で高価な機械設備<br>機能拡張性に乏しい、固定的な設備          |
| 内外製   | 設備内製志向                          | 設備量産効果をねらった設備外製志向                           |
| 改善・保全 | 現場による断続的設備改善を重視<br>漸進主義         | 専門家による上からの設備改善<br>大規模自動化システム志向(一発大抜<br>ねらい) |

## ロボットの日英比較（1980年代）

### (a) 組立ロボットのタイプ別構成

|      |            |            |             |          |
|------|------------|------------|-------------|----------|
| 日本   | 多関節<br>3%  | スカラ<br>49% | 直行座標<br>40% | 円筒<br>8% |
| イギリス | 多関節<br>64% | スカラ<br>12% | 直行座標<br>10% | 円筒<br>5% |

### (b) ロボットシステム全体が対応する製品バリエティ

|      |             |                 |                 |                   |                |
|------|-------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|
| 日本   | 1 品種<br>15% | 2 ~ 5 品種<br>26% | 6 ~ 9 品種<br>13% | 10 ~ 24 品種<br>13% | 25 品種以上<br>33% |
| イギリス | 1 品種<br>13% | 2 ~ 5 品種<br>34% | 6 ~ 9 品種<br>27% | 10 ~ 24 品種<br>20% | 25 品種以上<br>6%  |

+

藤本隆宏 『生産マネジメント入門』 日本経済新聞社 2001 (Ⅱ p103 図11.24)

Tidd,J., Key Characteristics of Assembly Automations Systems. In Shimokawa, K.,

Juergens,U. and Fujimoto,T.(eds.) Transforming Automobile Assembly, Springer より筆者作成

組立自動化戦略のタイプ

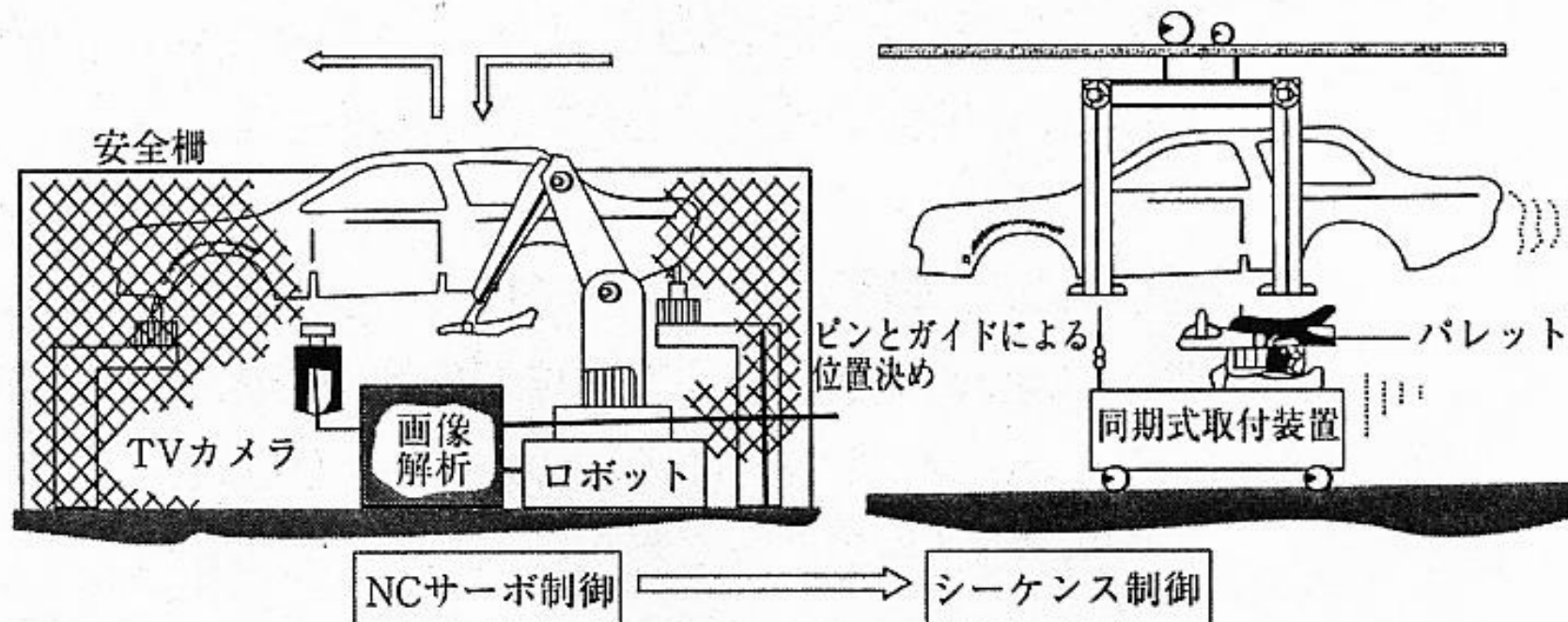


# インライン・メカニカル自動化（トヨタ自動車）のコンセプト

**従来** ハイテク型、ロボット中心  
オフライン方式  
ボディを止める自動化  
カメラ・センサー等を使った  
ハイテク位置決め方式

**新方式** ローコストでコンパクトな自動機  
インライン方式

コンベア上を動くボディに追従・同期化  
メカカル位置決め方式



- (1) 働く人と自動機は離さず、共存させること
- (2) 働く人に分かりやすいこと
- (3) 働く人が使い込んで改善できること



### 3. 設備の故障と保全

保全(メンテナンス) =

設備の故障・能力低下を、

事前に防ぎ(予防保全)、

またこれが起こったときは復旧させること(事後保全)

故障(failure) =

設備が設計でねらった機能を失うこと

# 信頼性・ダウンタイム・可動率

信頼性(reliability) = 設備が設計通りの機能を発揮する確率

アップタイム = 設備動作可能時間

ダウンタイム = 設備が動作不能になる時間

アベイラビリティ = 平均UT／(平均UT＋平均DT)  
(可動率)

・・・これを高める → 設備生産性向上

「チョコ停」: 修理は必要無いが、設備停止。  
ダウンタイムの大きな原因

# 保全活動と保全組織

**専門保全**(保全部門): 異常対応→熟練・非定型・不規則

**自主保全**(直接作業部門)

**生産保全**: 総合的に、設備の一生を通じてのコストを低減

**事後保全**(修復)

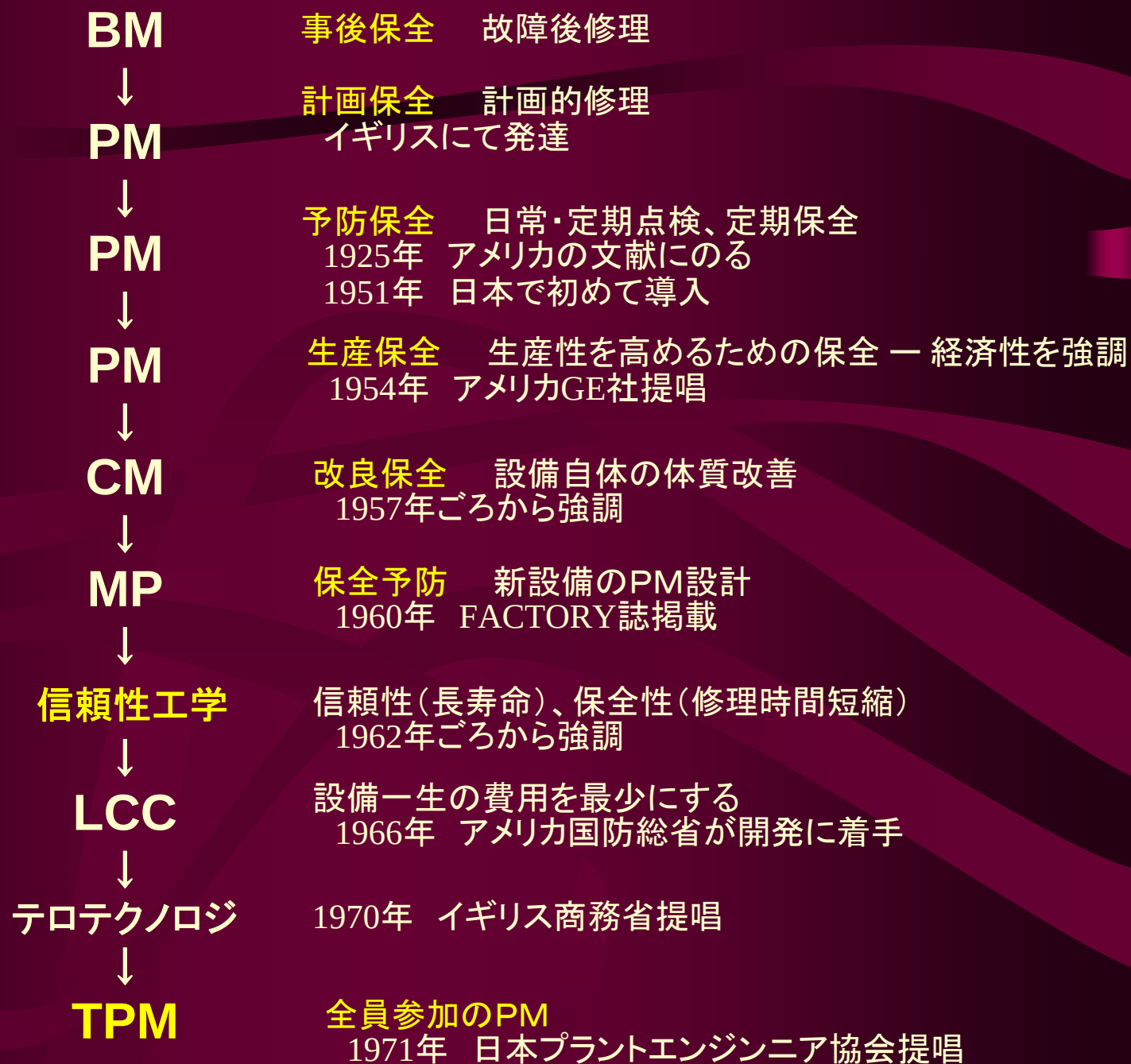
**予防保全**(定期・継続的な点検)

**改善保全**(設備改善→再発防止)

**保全予防**(そもそも保全の不要な設備を設計)



# 保全管理の発展



## FMEA（自動車ブレーキ構成部品の例）

| 機 能                           | 故障モード             | 故障原因              | 故障の影響                       | 発生頻度 | 厳しさ | 検出難易 | 指数<br>危険優先 | 勧告是正処置                             | 担 当 |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|------|-----|------|------------|------------------------------------|-----|
| ブレーキシシステム(リヤとフロント)の油圧欠損時に警報する | スイッチ導通不良          | 1. 接点部腐食、サビ発生     | ブレーキシシステムの油圧欠損の警報が出ず車両事故になる | 6    | 10  | 8    | 480        | 接点部（ターミナル）に銀メッキ                    | 技術部 |
|                               |                   | 2. 破 損            |                             | 2    | 10  | 4    | 80         | 出荷点検の励行                            | 検査部 |
|                               | ディファレンシャルピストン作動せず | 1. ボディとピストンのこじれ   | 同 上                         | 4    | 10  | 6    | 240        | ピストン端面溝を廃止してプラグに溝をつける              | 技術部 |
|                               |                   | 2. ピストン角度不良による固着  |                             | 2    | 10  | 4    | 80         | 角度公差の実験テスト                         | 実験部 |
|                               | ディファレンシャルピストン作動遅れ | 1. ピストン角度設定不良     | ブレーキシシステムの油圧欠損の警報が遅れ車両事故になる | 4    | 10  | 8    | 320        | ピストン角度とリターンスプリングの組み合わせに関する最悪値解析の実施 | 技術部 |
|                               |                   | 2. リターンスプリングの荷重不良 |                             | 4    | 10  | 8    | 320        |                                    |     |

# TPMと自主保全

TPM (Total Productive Maintenance)

・・・全員参加で自主保全、生産保全を行うこと

自分の設備は自分で守る。

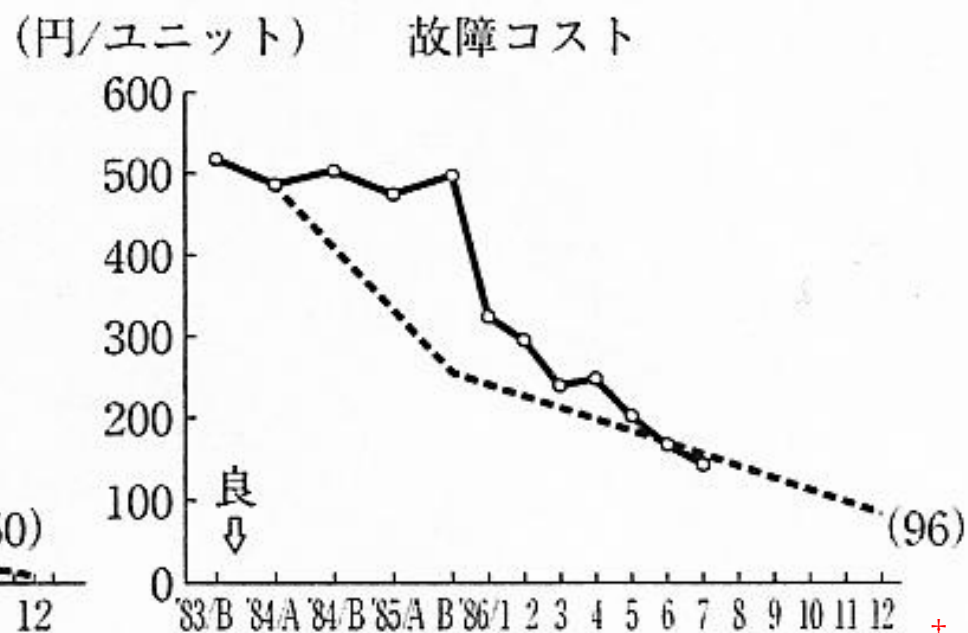
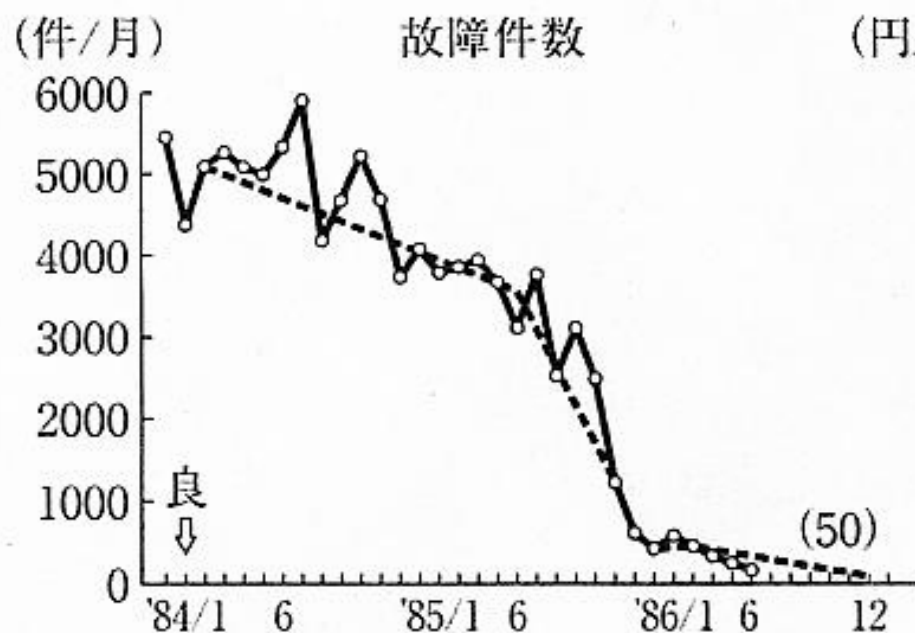
多能工化の一環として教育・訓練

小集団活動も利用

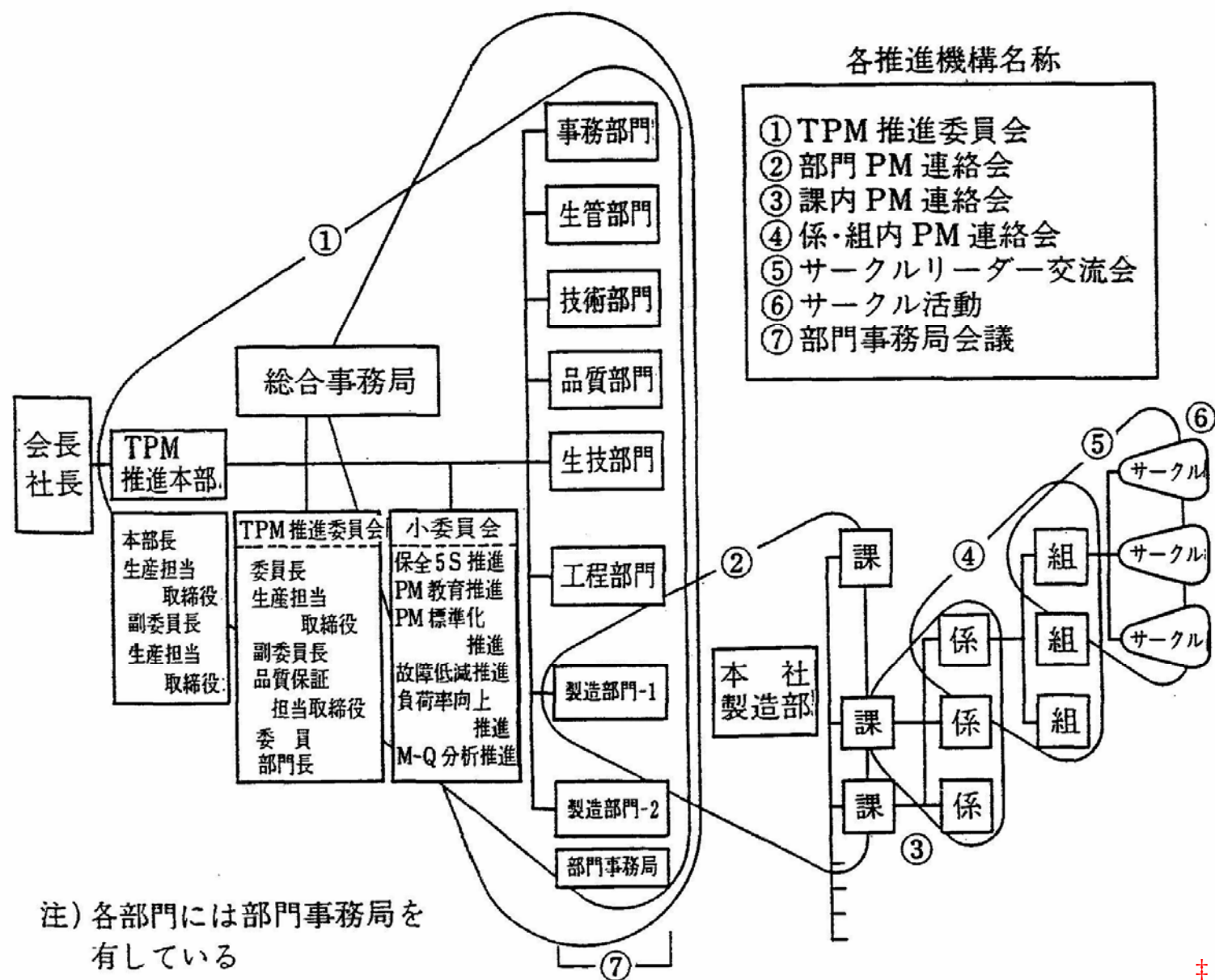
推進母体は「日本プラントメンテナンス協会」

設備の総合効率＝時間稼働率 × 性能稼働率 × 良品率

## TPM(total productive maintenance)の成果：ダイハツ工業の例



# TPM推進組織



## まとめ：日本の自動化と設備管理

トータルシステム志向（自動化のための自動化ではない）

ローコスト志向

自主保全・専門保全の両方で組織能力アップ

既存の設備を上手に使いこなす

「工場を熟成させる」「設備に知恵を付ける」

→ 低いダウンタイム、高い設備生産性を実現