

第21回：開発期間とその短縮

1. 開発期間の概念と目的
2. 開発期間の構成要素とクリティカルパス
3. 開発期間短縮の方法

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. 開発期間の概念と目的

開発期間(リードタイム)とは？

開発プロジェクトのリードタイム

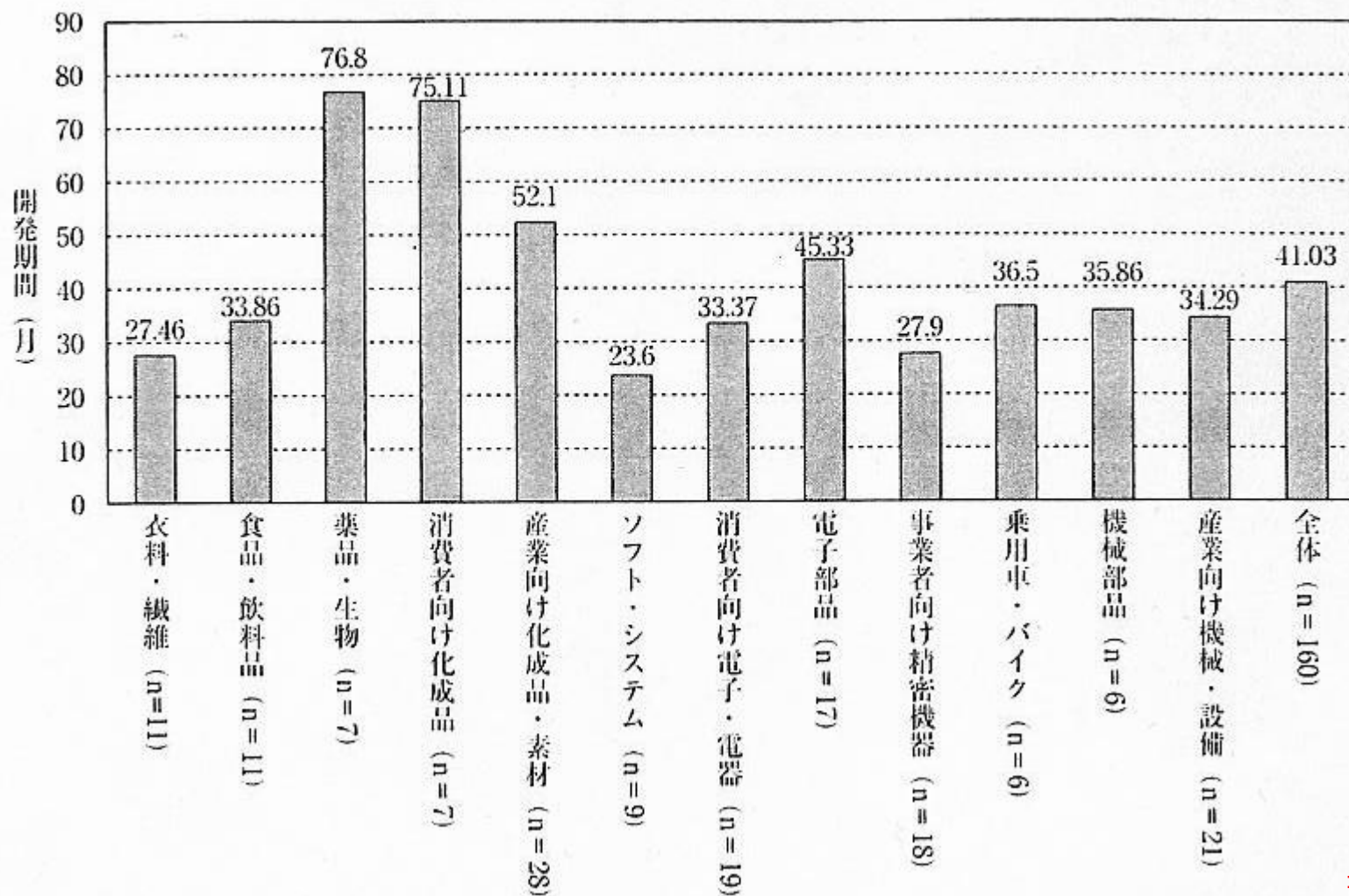
定義を明確に(起点と終点の定義)

測定の目的に合わせて定義を選ぶこと

企画開始から？ 企画承認から？ 設計開始から？

生産開始まで？ 発売まで？

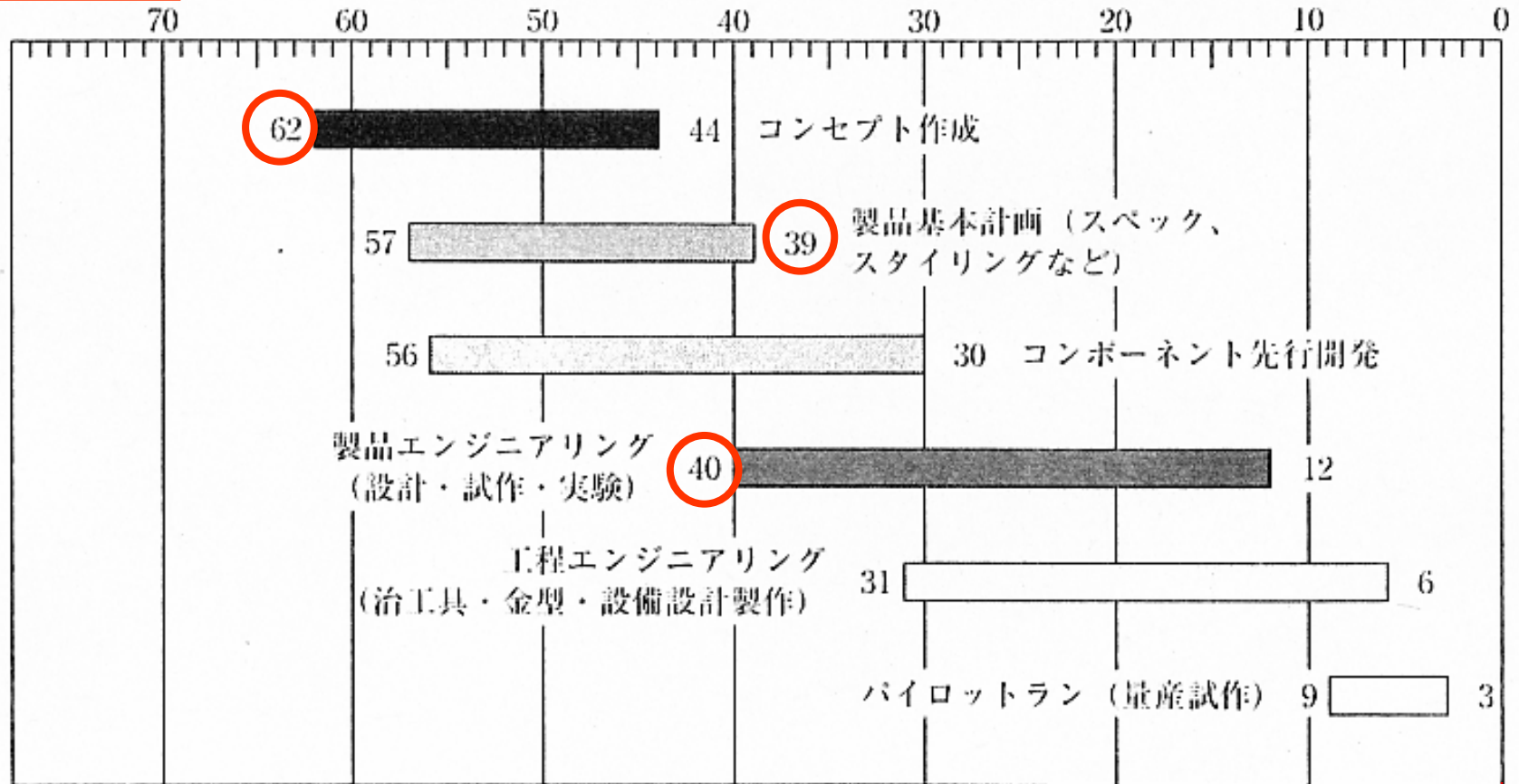
主な技術の先行開発開始から発売に至るまでの期間 (産業・製品分野別平均)



開発期間の国際比較（プロジェクト内容調整前）

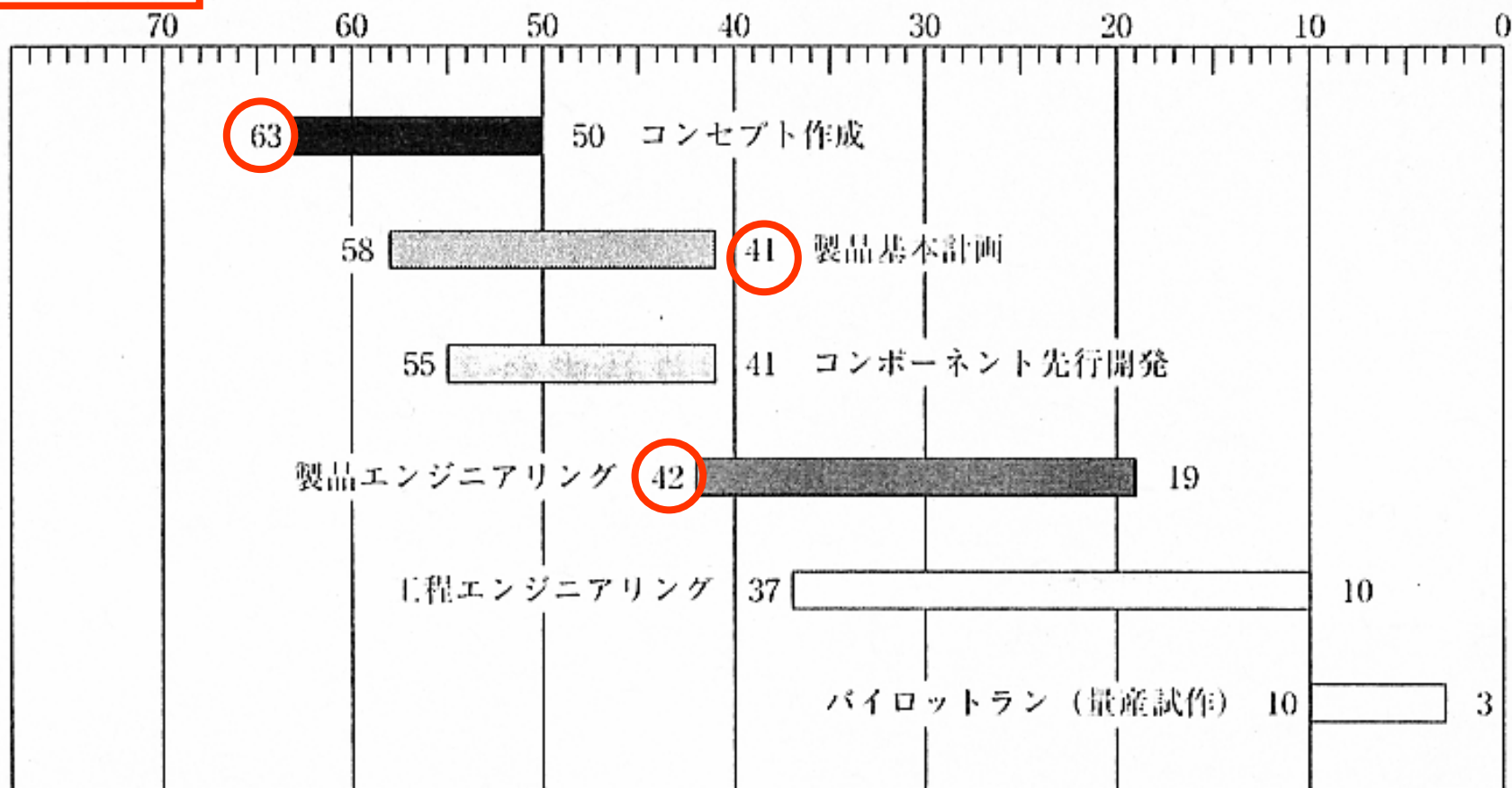
アメリカ（6プロジェクト平均）

（発売前月数）



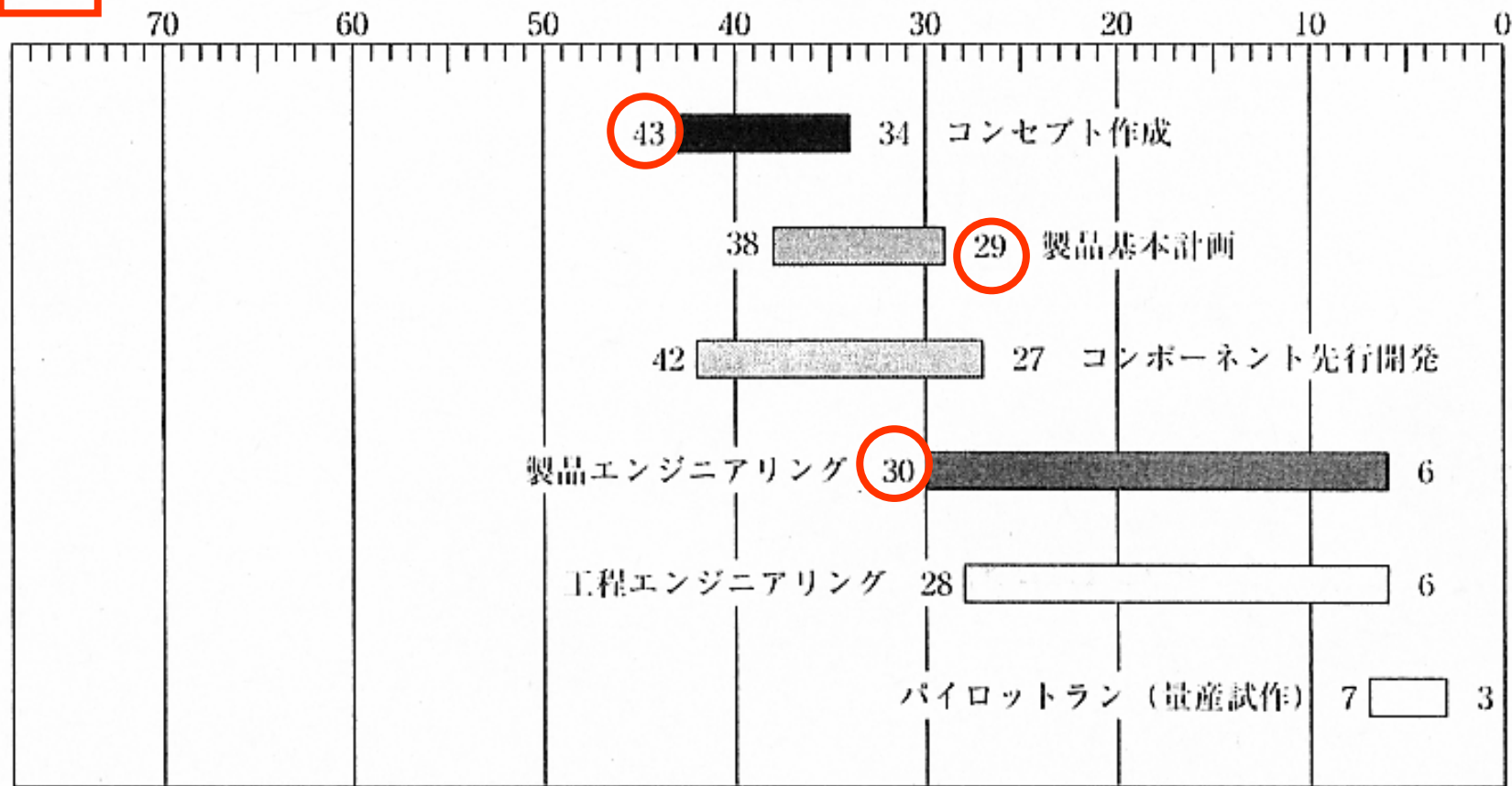
ヨーロッパ (11プロジェクト平均)

(発売前月数)



日本 (12プロジェクト平均)

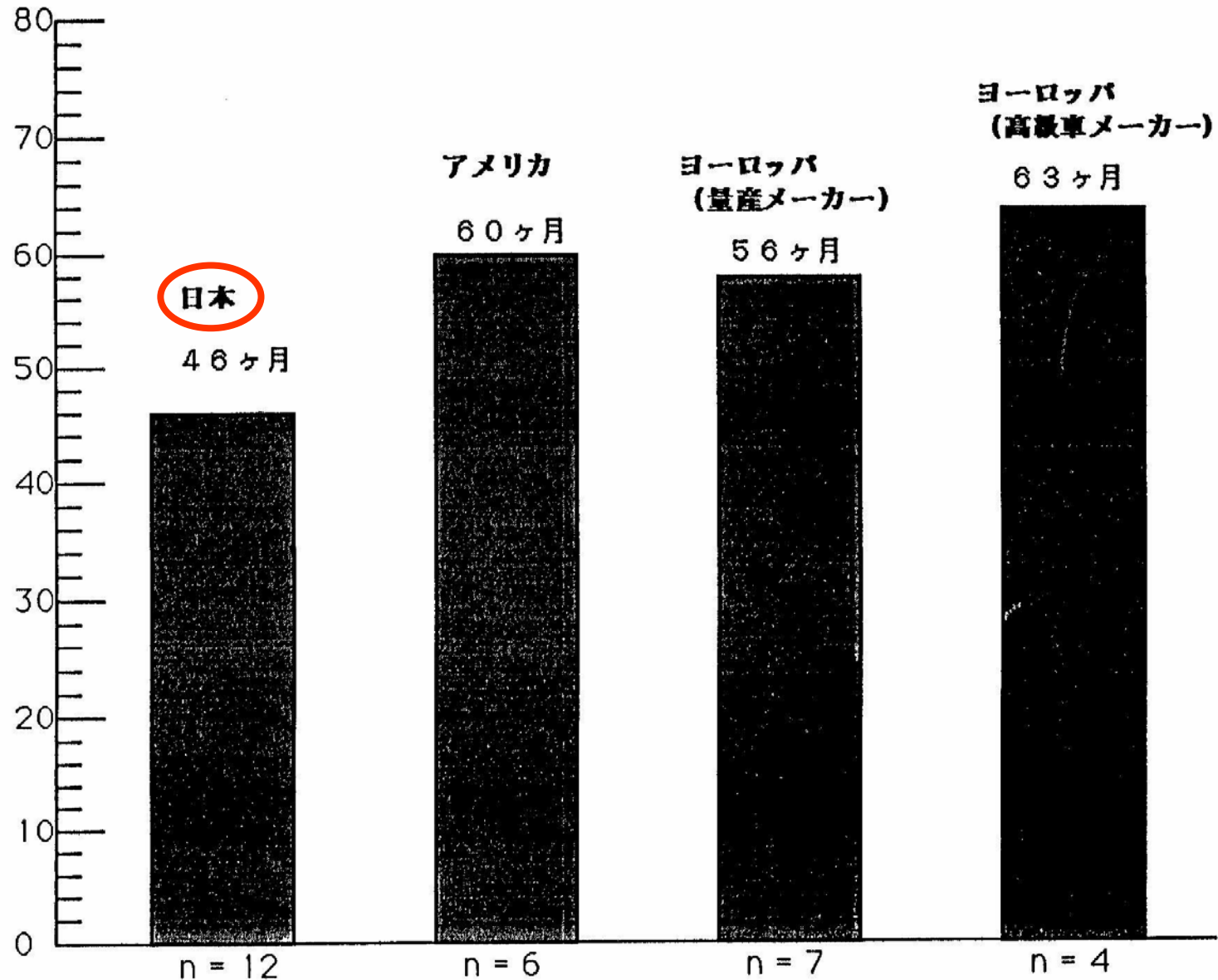
(発売前月数)



自動車の開発期間(企画開始から・修正済み)

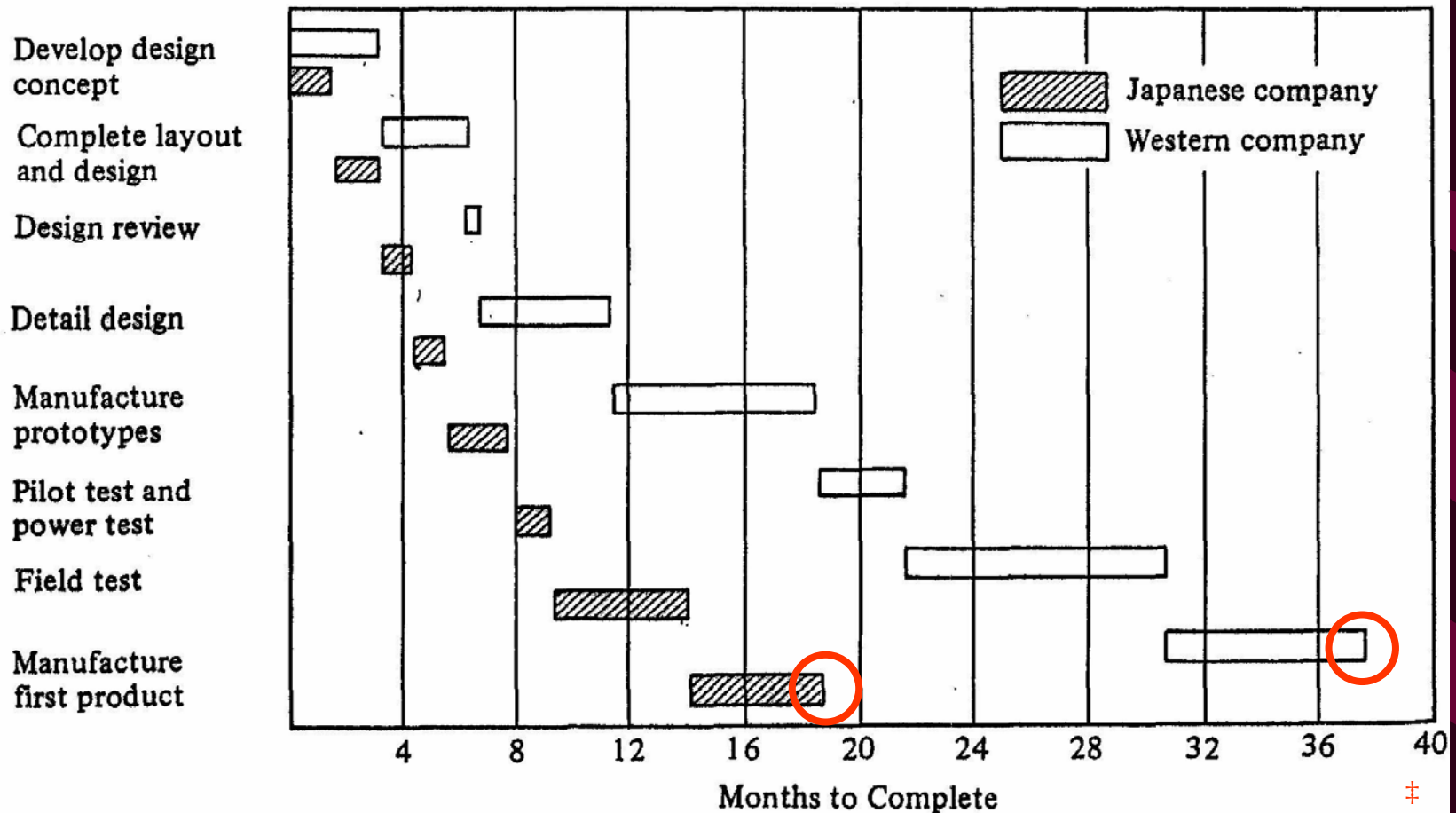
発売前月数

開発期間の国際比較 (プロジェクト内容修正済)



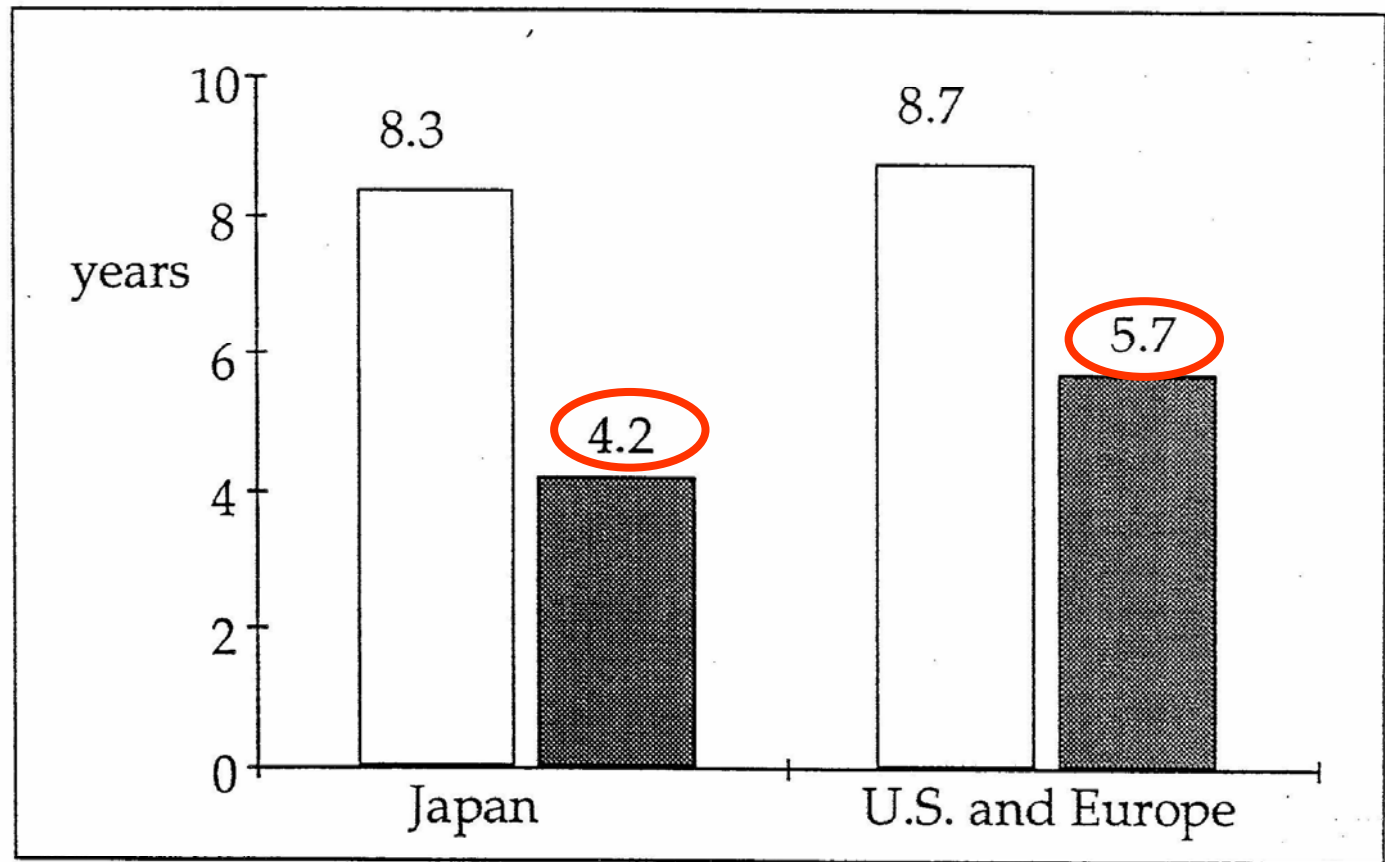
自動車用トランスミッションの開発期間

Improving Response Time in New Product Development—Mechanical Transmissions



スーパーコンピュータ・モジュールのエンジニアリング・リードタイム

Empirical Results: Lead Time



□ scientific exploration to market ■ development to market

Entire sample; not adjusted for content.

開発期間短縮の目的

納期短縮(特注製品の場合)

一番乗りの利益: **先手**を打って市場投入

素早い反撃: ライバルの攻勢に対して迅速な**失地挽回**

正確な市場予測: 製品企画の**的中精度**を上げる

期間短縮→**開発工数低減**→開発コスト低減(多くの**打席**に)

期間短縮のための**能力構築**がもつ二次的効果(**DFM**など)

2. 開発期間の構成要素とクリティカルパス

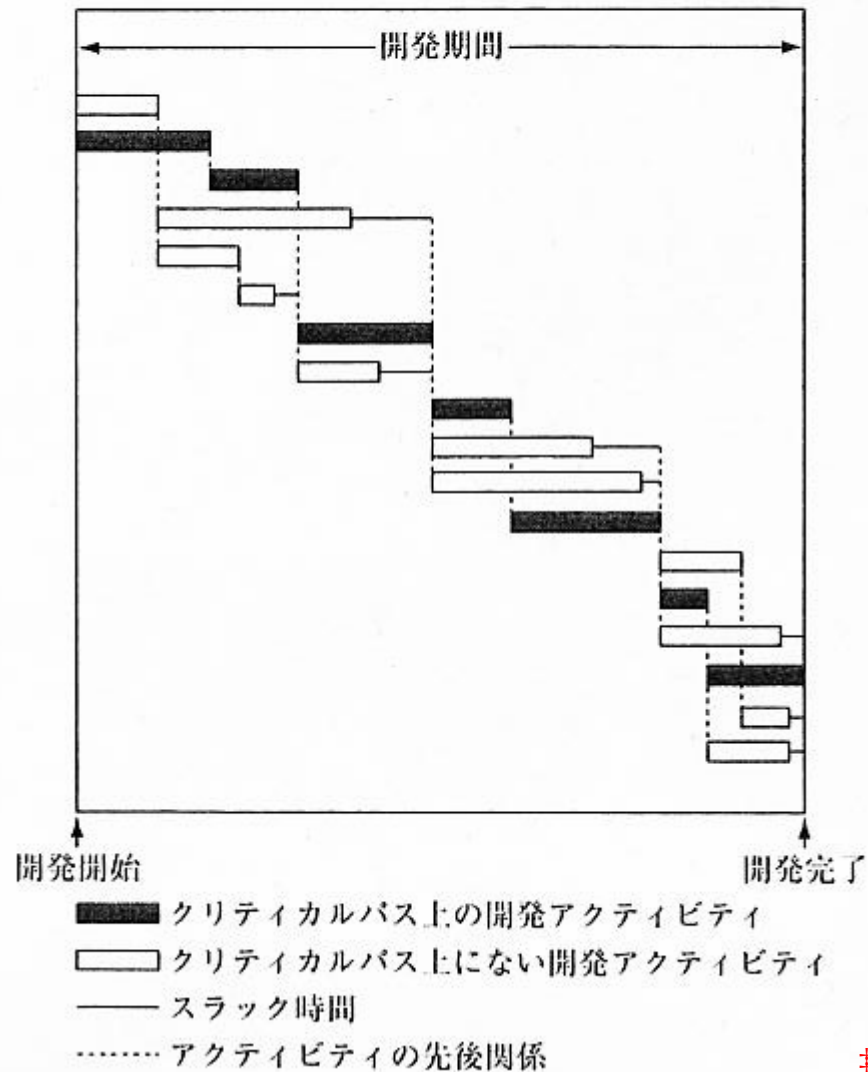
開発プロジェクト = 特定の製品を開発するための活動の束

開発リードタイム $\neq$ Σ 開発活動のリードタイム

開発リードタイム = Σ クリティカルパス上の活動のLT

クリティカルパスの探し方 …CPM／PERT

開発プロジェクトのガントチャートとクリティカルパス (架空例)



クリティカル・パスを見つける体系的な手法・・・CPMとPERT

CPM (Critical Path Method)

1957年 Kelly(Remington-Rand社)とWalker(Dupont社)が、科学プラント補修のスケジュール管理用に開発。

PERT (Program Evaluation and Review Technique)

1958年 アメリカ海軍スペシャルプロジェクトオフィスが、ポラリス・ミサイル・プロジェクト管理用に開発。

手順 (CPM)

- 1 プロジェクトを構成する活動(activity)を特定する。
- 2 アクティビティの順序(sequence)を決め、ネットワークで記述する。
- 3 各アクティビティの所要時間を推定する。
CPMの場合は期待値、
PERTならば、楽観値、悲観値、最もありそうな値の3つ
- 4 クリティカル・パス(critical path)をみつける。
各活動に関して、次の4つの時間を計算する。
ES(Early Start Time): スタートから活動時間を積み上げる。
EF(Early Finish Time): ESにその活動の所要時間を足す。
LF(Late Finish Time): プロジェクト終了時点から逆算。
LS(Late Start Time): LFからその活動の所要時間を引く。
スラック・タイム(LF-ESまたはLS-ES)がゼロの活動をさがす。
これがクリティカル・パス(critical path)。
- 5 クリティカル・パス短縮の施策を講じる。

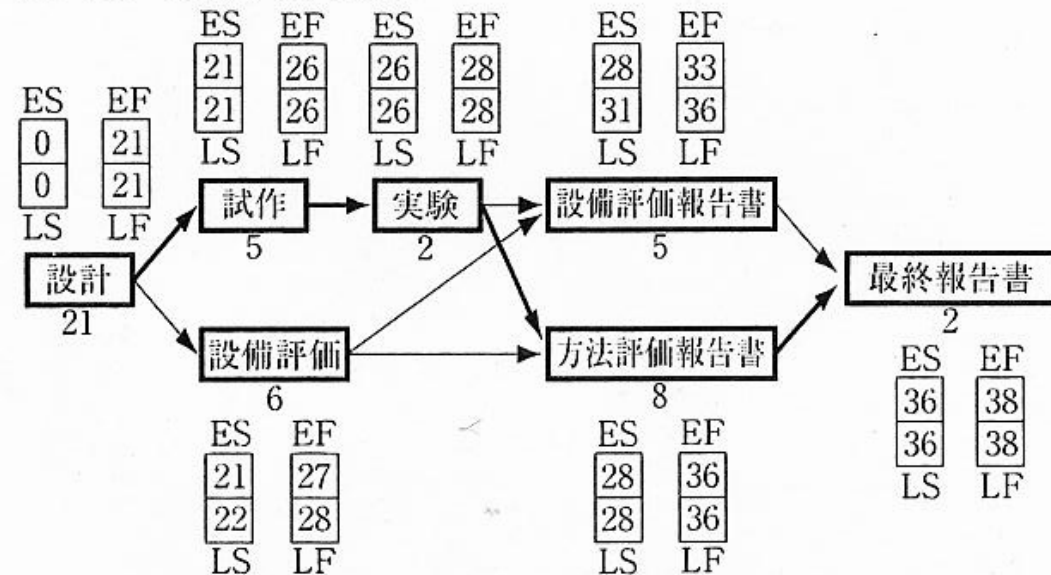
CPM：コンピュータ設計プロジェクトの例

①前提となるデータ

活動	直前の活動	活動所要時間(週)
設計	なし	21
試作	設計	5
設備評価	設計	6
実験	試作	2
設備評価報告書	設備評価 実験	5
方法評価報告書	設備評価 実験	8
最終報告書	設備評価報告書 方法評価報告書	2

出所：Aquilano and Chase (1991) をもとに筆者作成

②クリティカルパスの発券



注：ES = 最早開始時刻 EF = 最早終了時刻 LS = 最遅開始時刻 LF = 最遅最晩時刻
 太い矢印がクリティカルパスを表す。

+

3. 開発期間短縮の方法

本質的には「**早期で迅速な問題発見・問題解決**」の実現

多層的・体系的アプローチ

圧縮(プロセスの構造は変えずに力任せ)

反復削減(設計変更などの繰り返し削減)

モード切り替え(サイクルの短いバーチャルなモードへの切り替え)

知識のフロントローディング(前のプロジェクトの解決情報の移転)

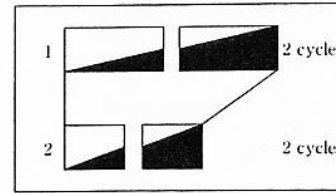
活動のフロントローディング(バーチャルなシミュレーションを前倒しで)

タスクの分割・前出し(タスクの相互依存性を解消して前出し)

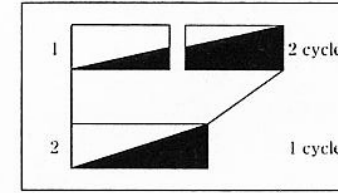
オーバーラップ(上流下流の情報連結は維持しつつ重複化)

開発期間短縮の定石

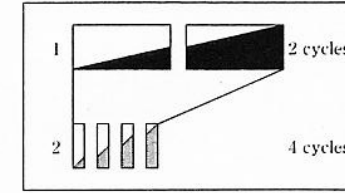
圧縮 compressing



反復削減 de-iterating

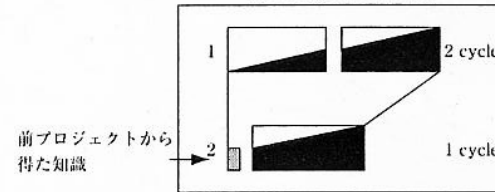


モード切替 switching



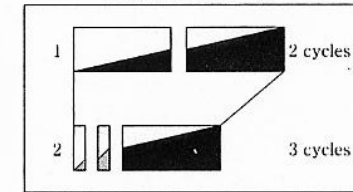
知識のフロントローディング

knowledge front-loading

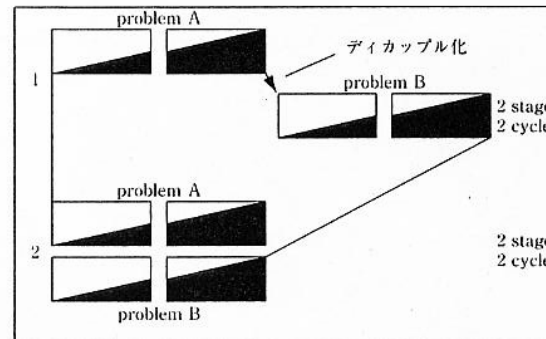


活動のフロントローディング

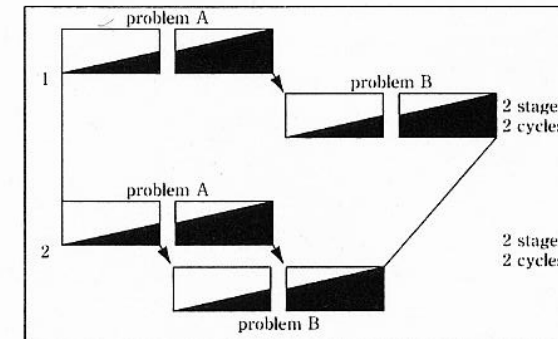
activity front loading



分割 partitioning



オーバーラップ overlapping



注：横軸は経過時間を表す。問題解決サイクルの繰り返しを通じて、製品開発上の問題解決を行うものと想定する。

実物試作・実験による問題解決サイクル

コンピュータ・シミュレーションによる問題解決サイクル

の縦方向の高さは、問題解決の程度（知識のレベル）を示す

※

期間短縮の具体的な方法

(1) クリティカルパス上の個々の活動のスピードアップ

- ① 人員の追加投入
- ② 「開発に埋め込まれた製造活動」の迅速化
- ③ CAD-CAM-CAEの活用

(2) クリティカルパス上の活動の同期化

- ① タスク分割
- ② オーバーラップ型問題解決

(1-1) 人員の追加投入(人海戦術)

もしも、開発活動が

細分化可能(divisible) かつ

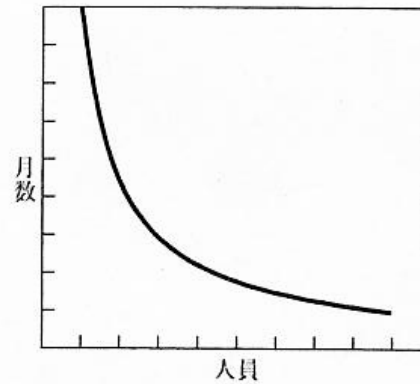
相互に独立(independent) ならば ...

→ 作業の分割・並行化で期間短縮化できる

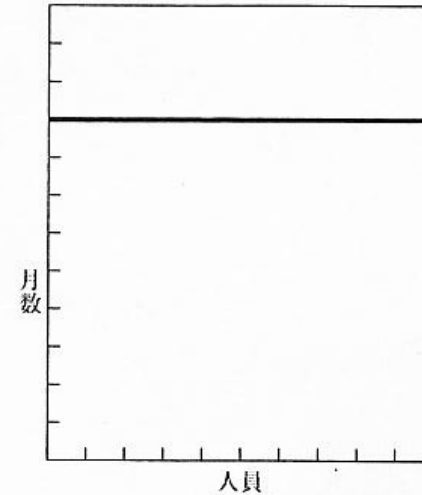
しかし実際は... Mythical Man-Month(Brooks)

投入人員数と開発期間

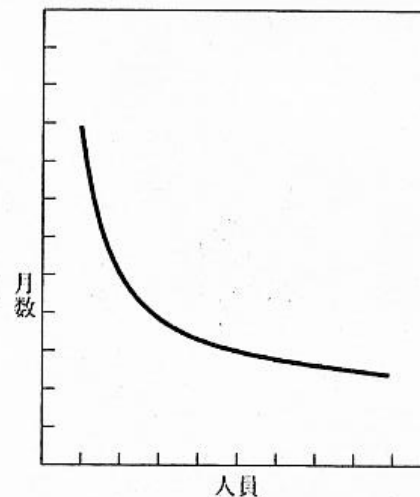
- 1 開発作業細分化が可能、かつ作業間の調整必要なしと仮定したケース



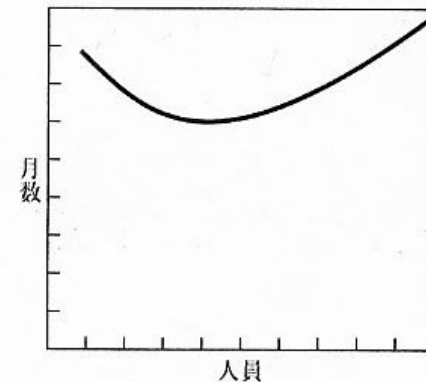
- 2 開発作業を細分化できないケース



- 3 作業間の調整・コミュニケーションの負荷がかかる場合



- 4 作業間の調整・コミュニケーションのためにかえって開発期間がのびてしまうケース



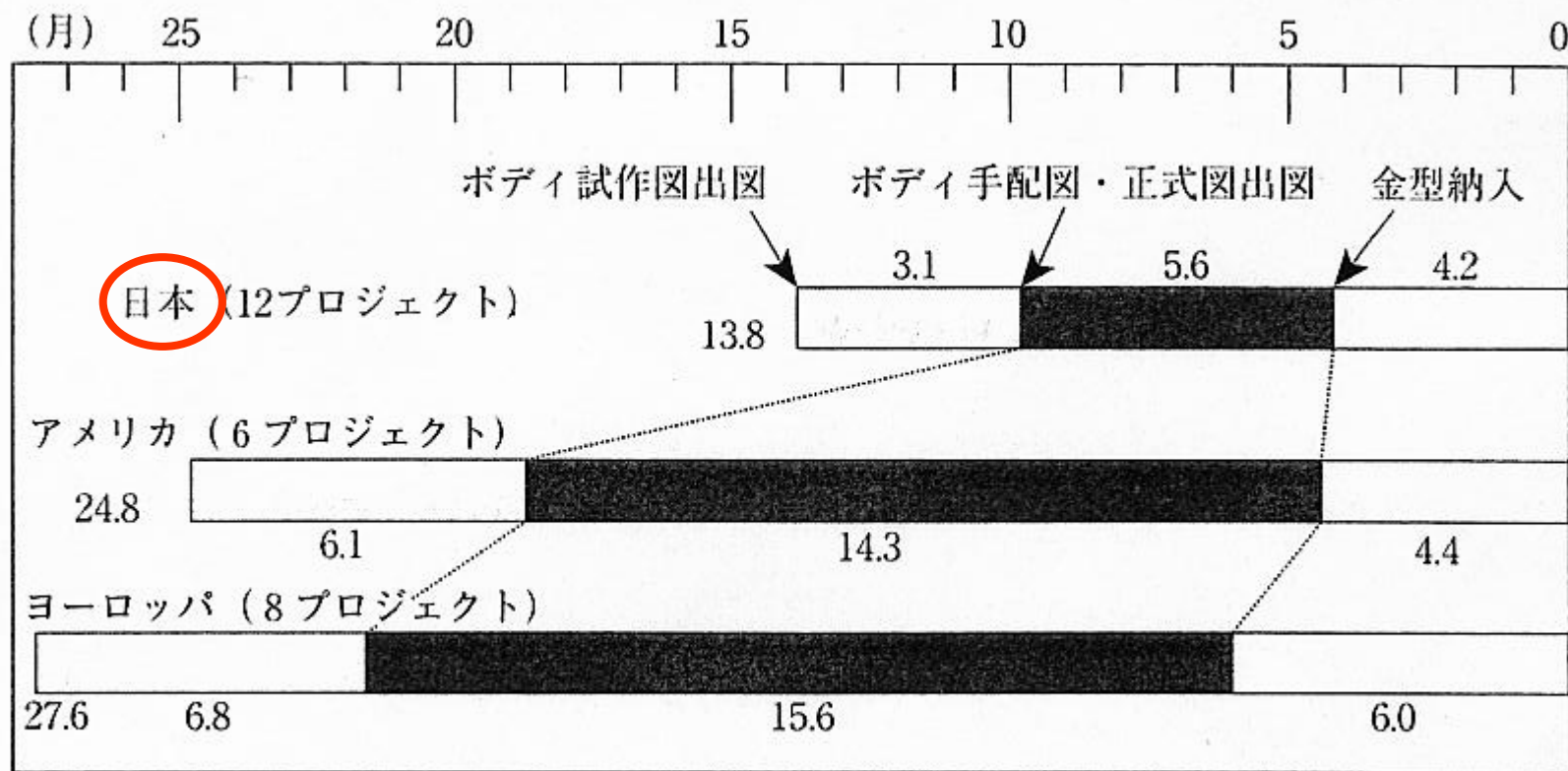
(1-2)「開発に埋め込まれた製造活動」の迅速化

試作の迅速化

金型開発期間の短縮

量産立ち上げの迅速化 他

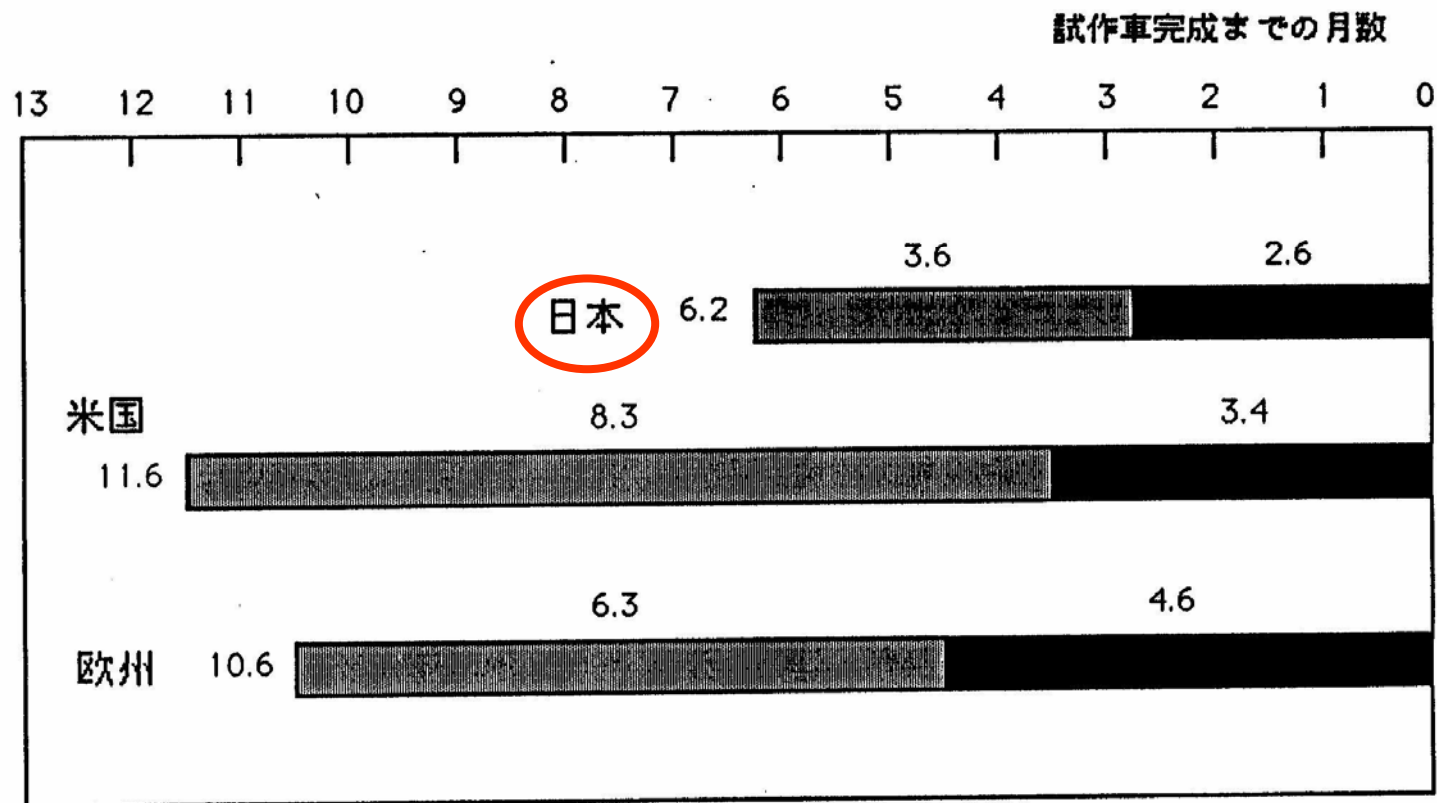
金型開発・製造期間の国際比較（80年代後半）



金型計画期間にほぼ対応
 金型製造期間にほぼ対応
 トライアウト（試し打ち）期間

※

一次試作車のリードタイム



Note: Regional averages of 28 sample projects (11 Japanese, 6 U.S., 11 European)
 The numbers may not add up exactly because some respondents reported total prototype lead time only.

■ 部品試作図の出図期間 (最も早い部品の出図から最も遅い部品のものまで)

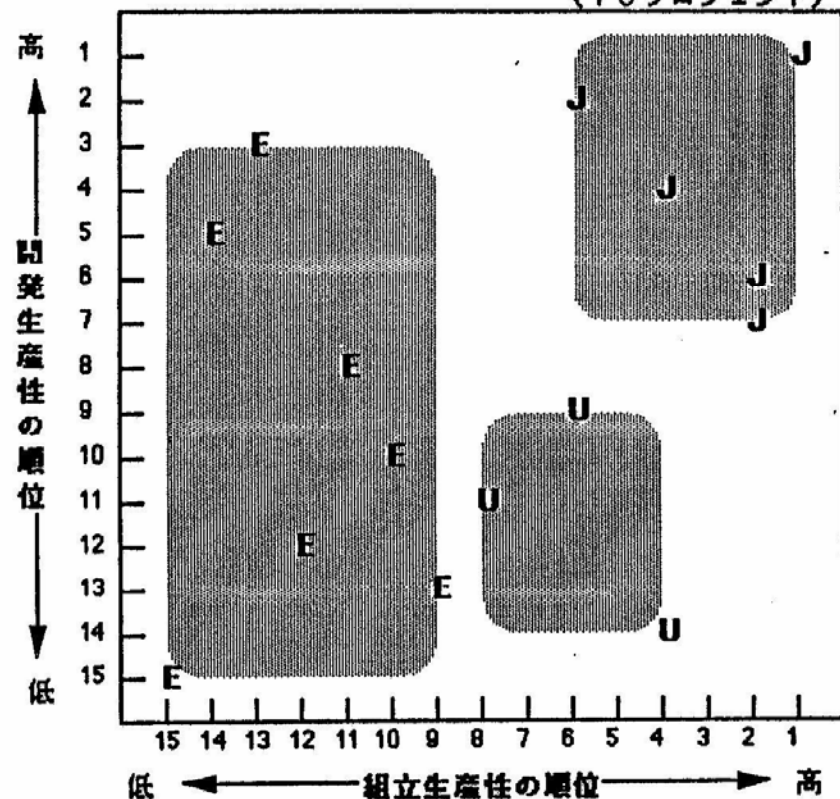
■ 最後の部品試作図出図から試作一号車完成まで

開発の競争力と生産の競争力： 連動しやすい

製造（組立）の生産性と開発のパフォーマンス

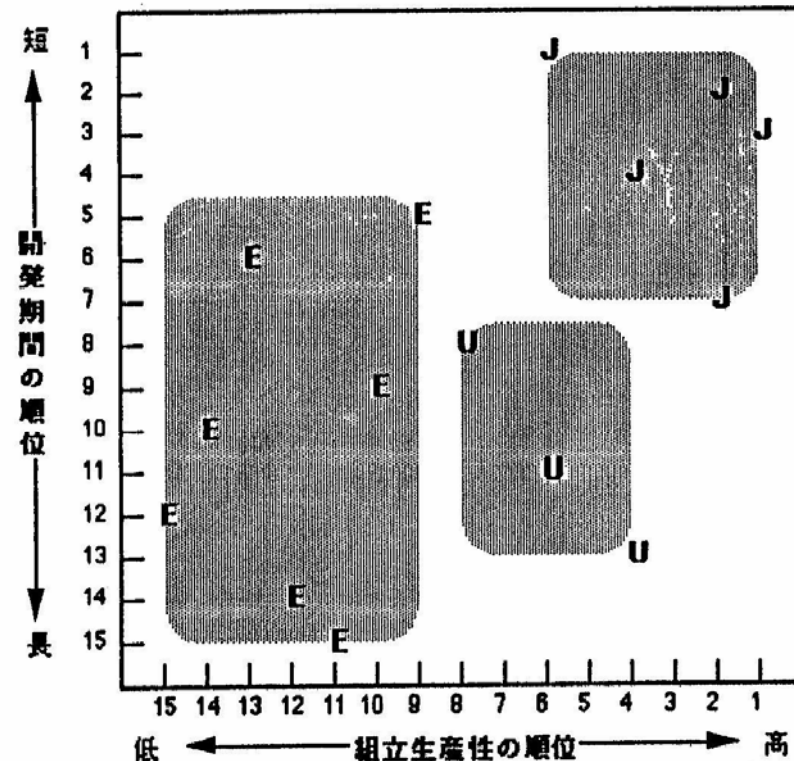
組立生産性と開発生産性

(15プロジェクト)



組立生産性と開発期間

(15プロジェクト)



J 日本 U アメリカ E ヨーロッパ

資料：クラーク・蔵本。Product Development Performance. 1991.

(1-3) CAD-CAM-CAEの活用

CAD (コンピュータ支援の製品設計)

CAM (コンピュータ支援の金型製造)

CAE (コンピュータ支援の試験評価)

期待成果

設計活動の迅速化

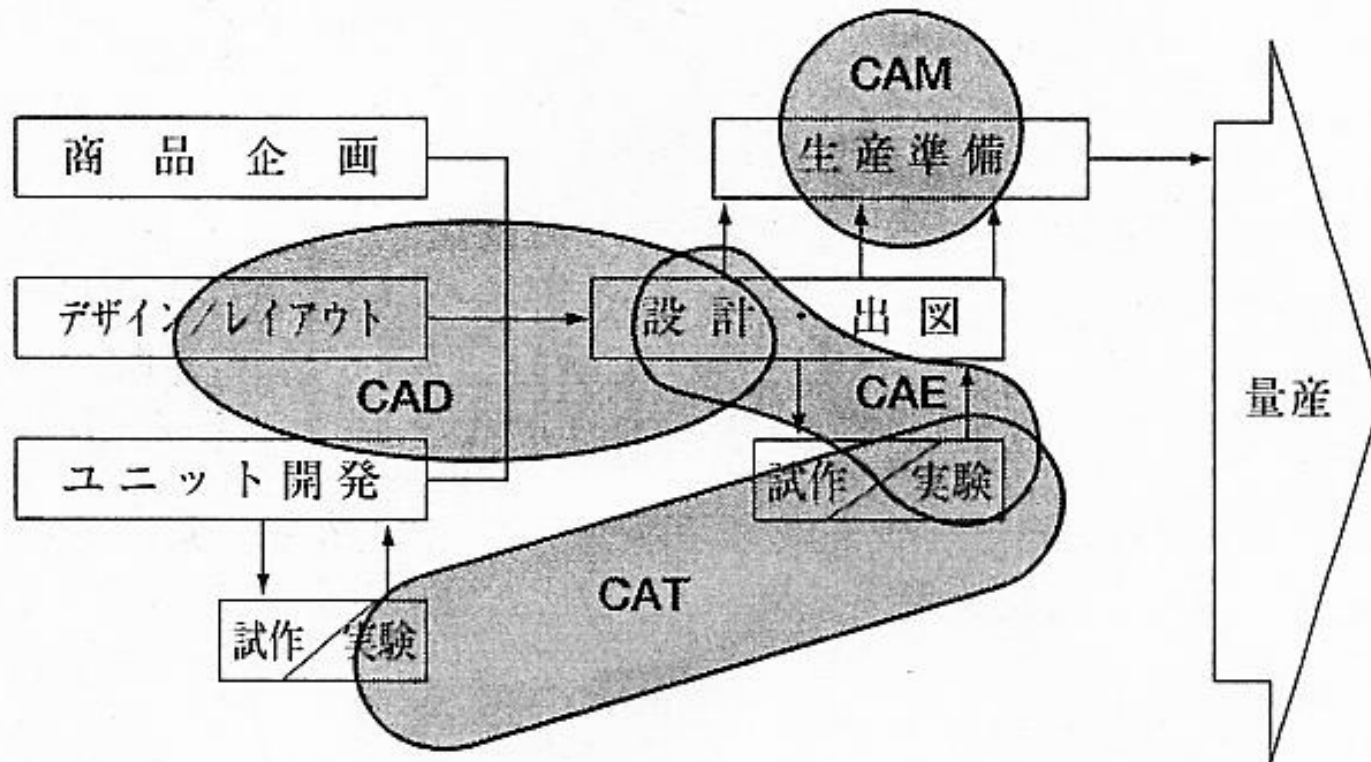
開発活動の一部省略

シミュレーションの迅速化(試作前のチェックが可能に)

→**フロントローディング**(問題解決の「前出し」)

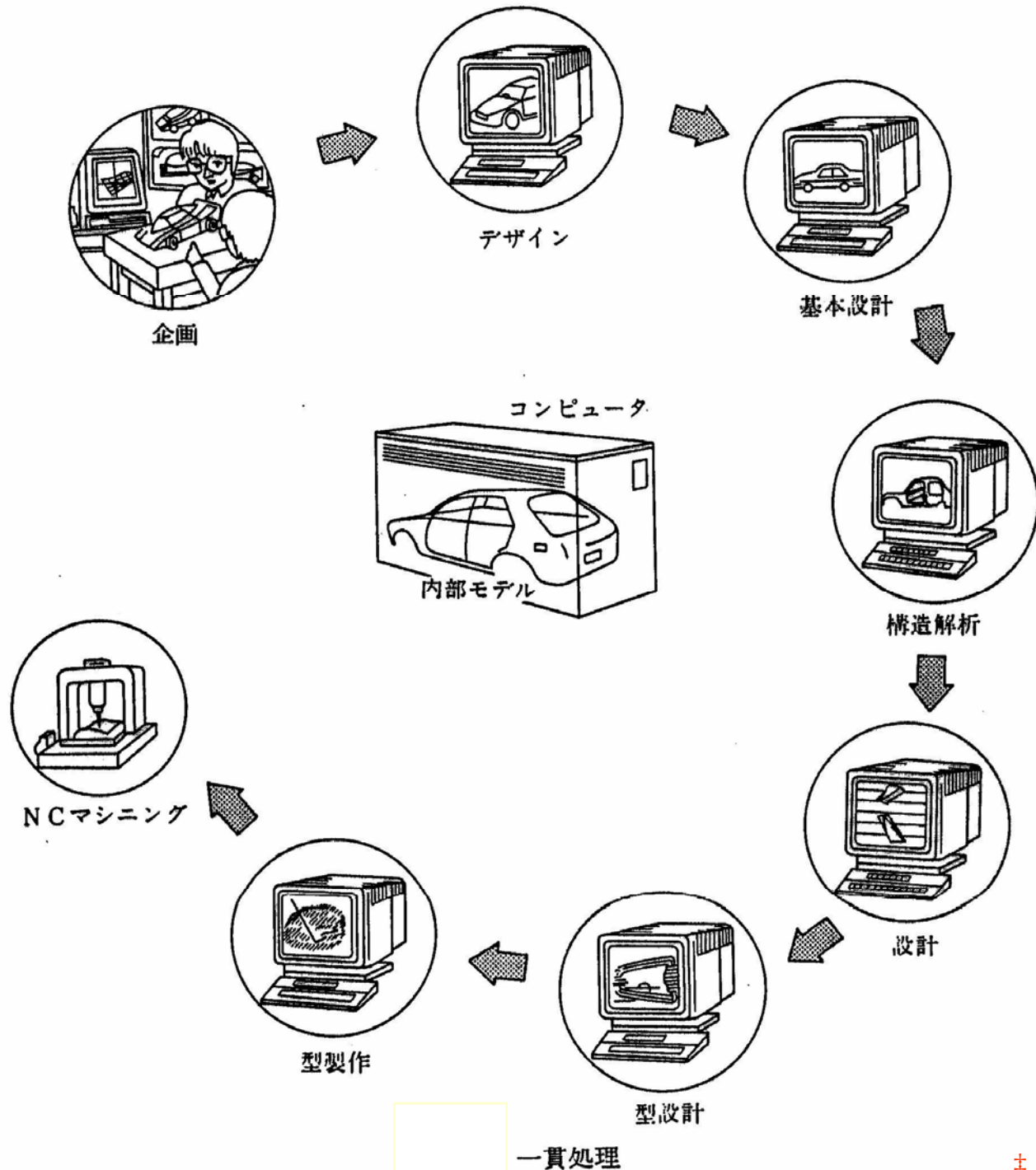
例: 部品干渉、衝突実験

製品開発プロセスとCAD/CAM/CAE/CAT の担当領域



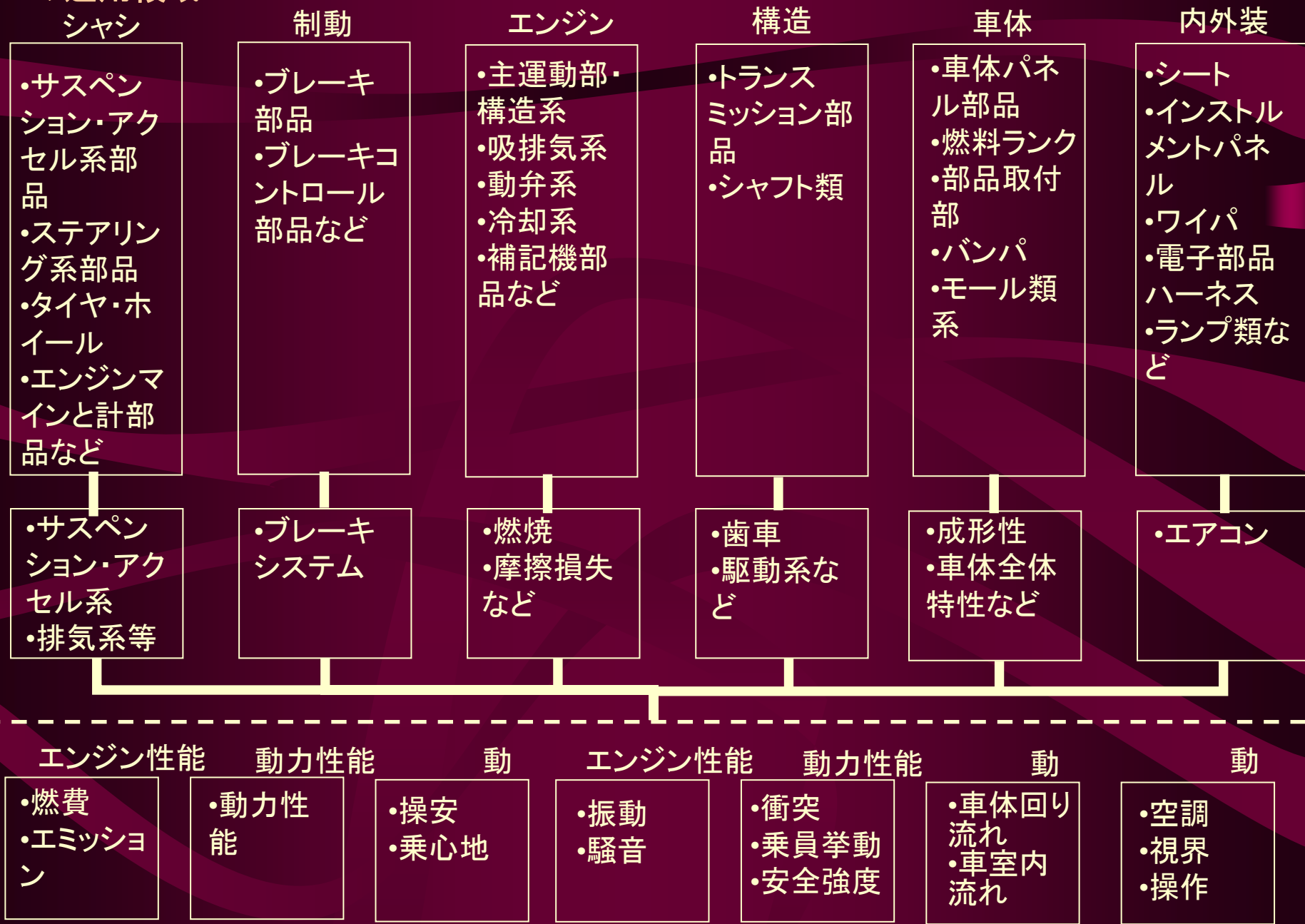
注：CAD = Computer-Aided-Design ; CAM = Computer-Aided-Manufacturing ;
CAE = Computer-Aided-Engineering ; CAT = Computer-Aided-Testing. ㊦

データ (製品モデル) の一元化

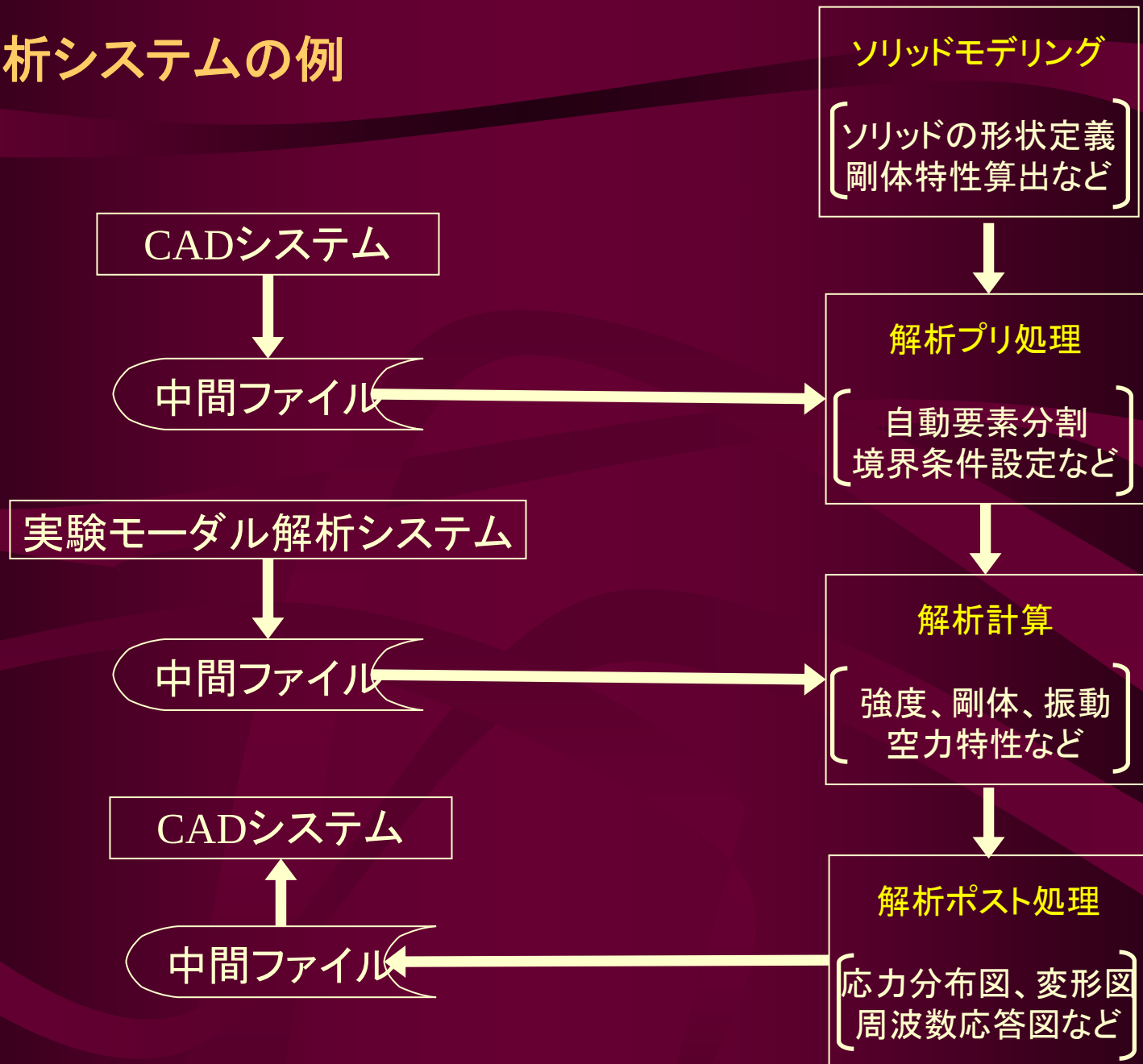


高橋昭八郎『マツダのCAD/CAM』
工業調査会 1985

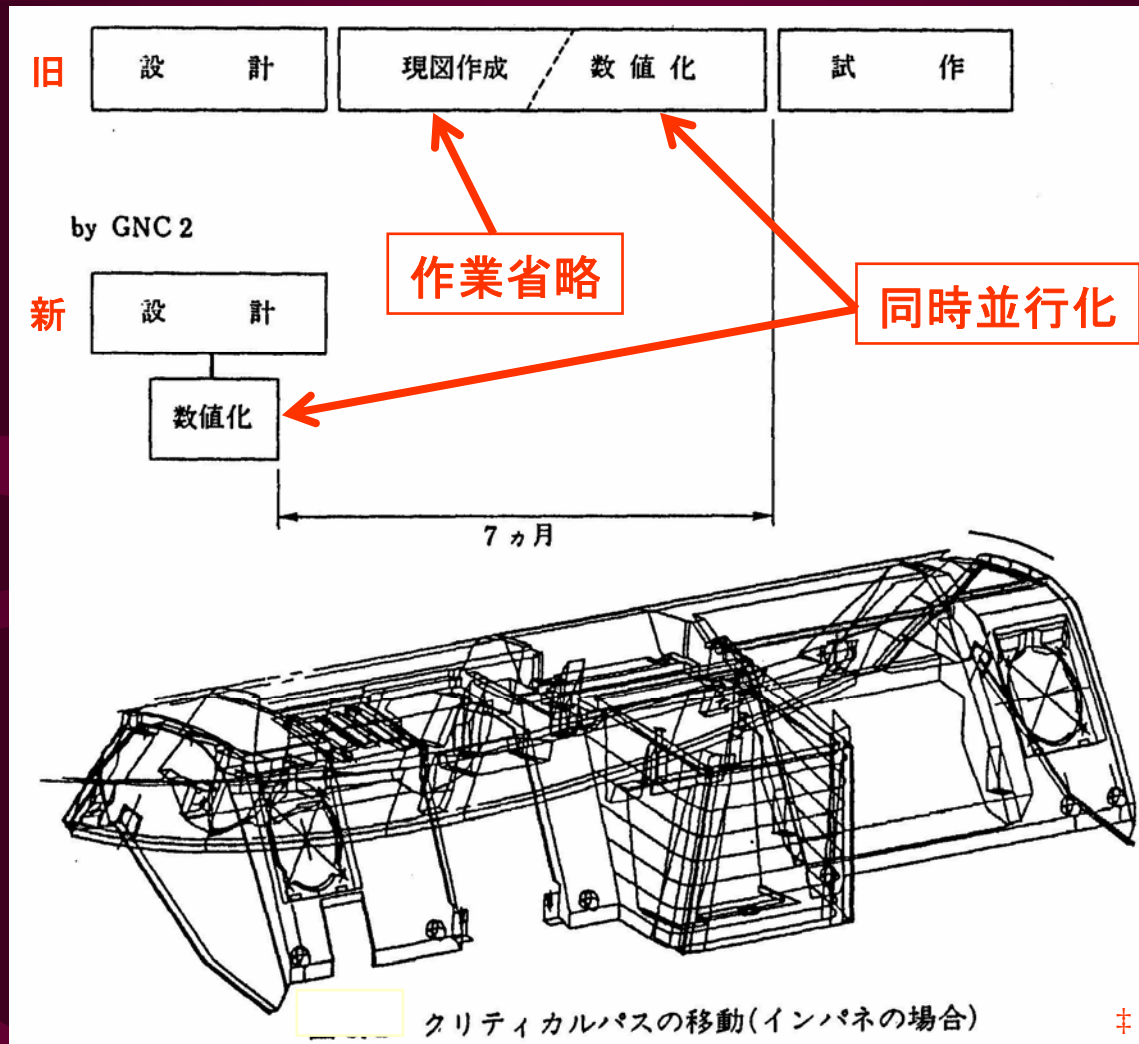
CAEの適用領域



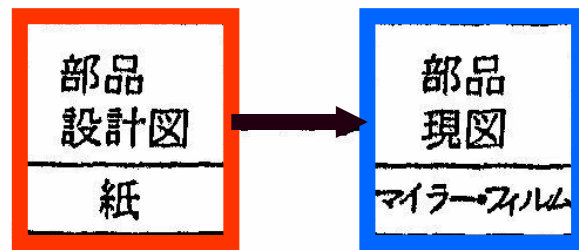
構造解析システムの例



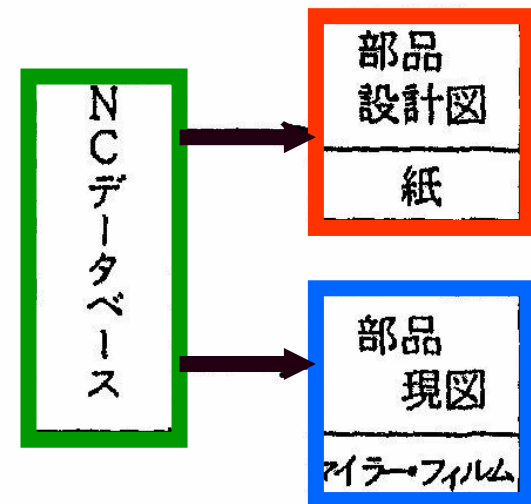
CAD導入による開発期間の短縮



CADによる開発期間短縮(同時並行化)



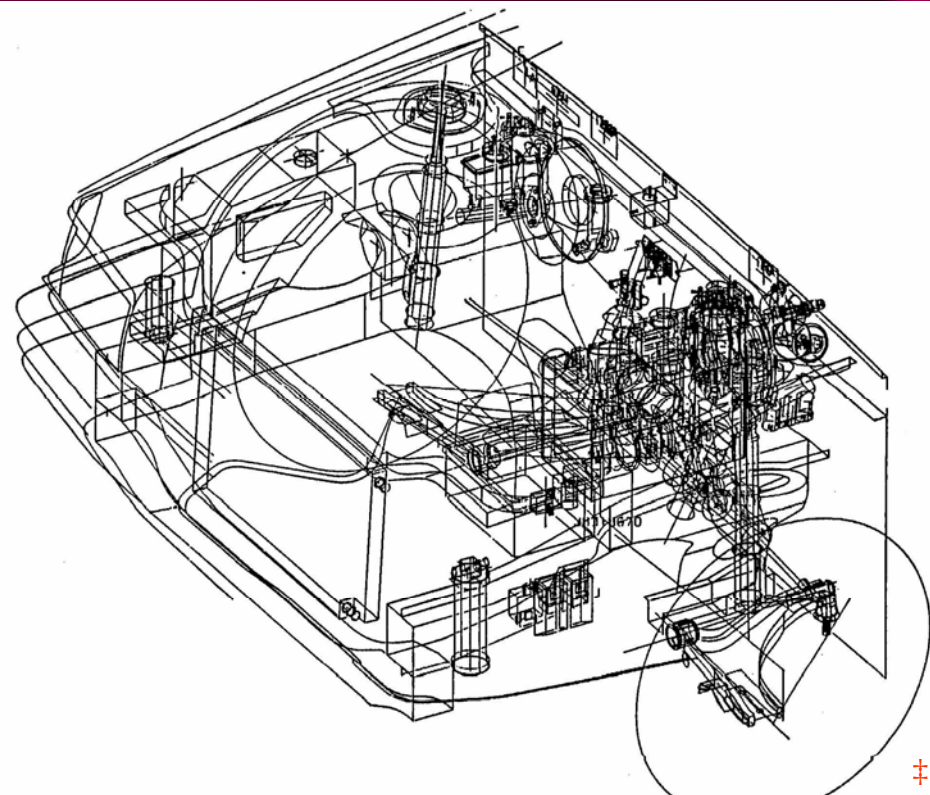
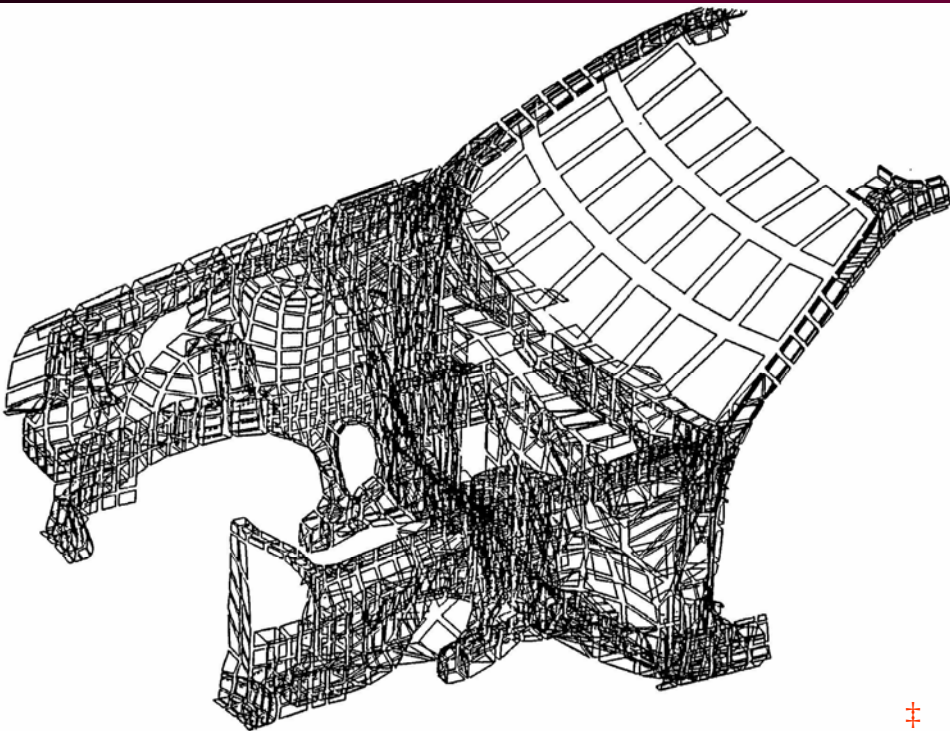
(従来の方法)



(CADシステム)

資料: 三菱総合研究所 ファクトリー・オートメーション/ I. ケース・スタディ編

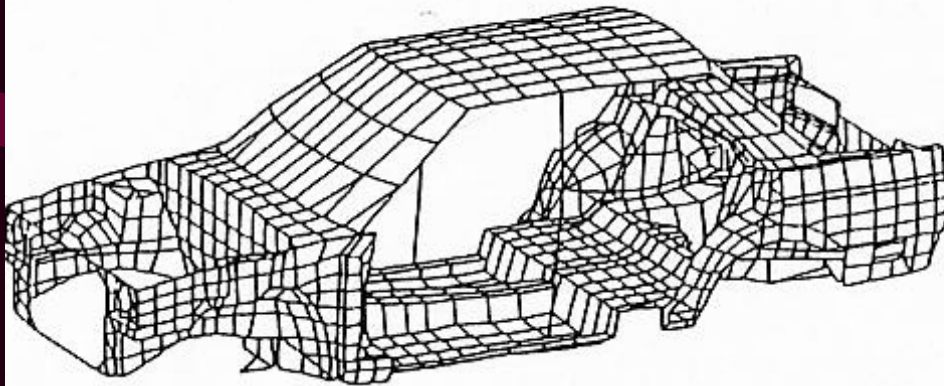
構造解析用のCADモデル



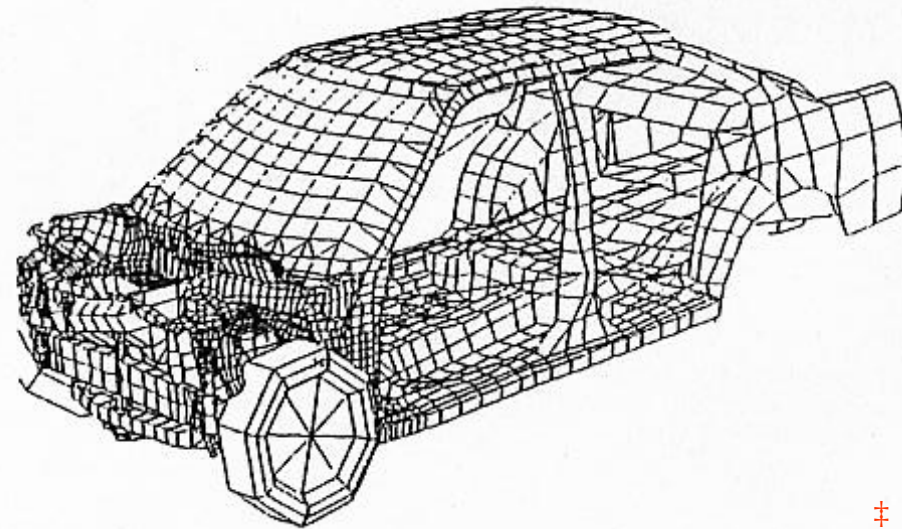
CAEによる衝突安全性シミュレーション(有限要素法)

CAEによるシミュレーション (自動車の衝突安全性分析)

a. 車体モデル (有限要素法)



b. 衝突 (変形モード) 解析



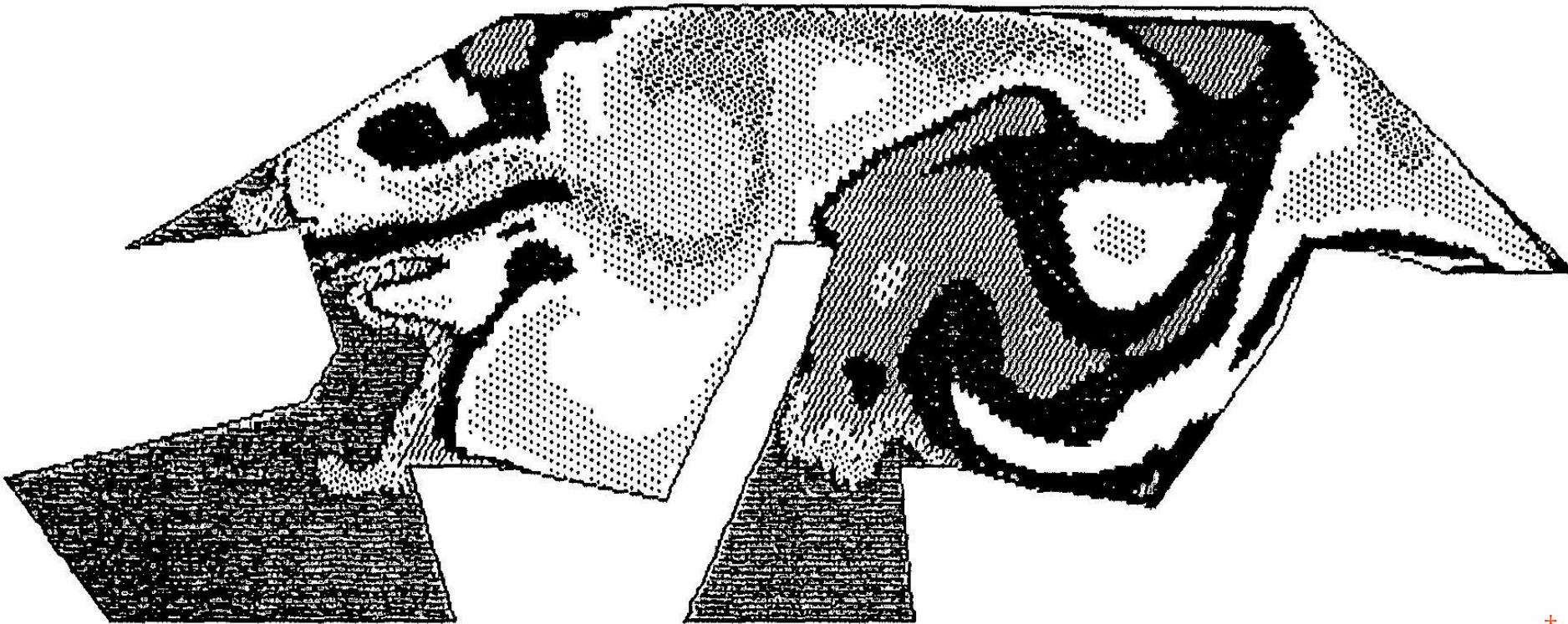
カー・エアコンによる室内温度分布のシミュレーション結果

自動車客室内の温度分布

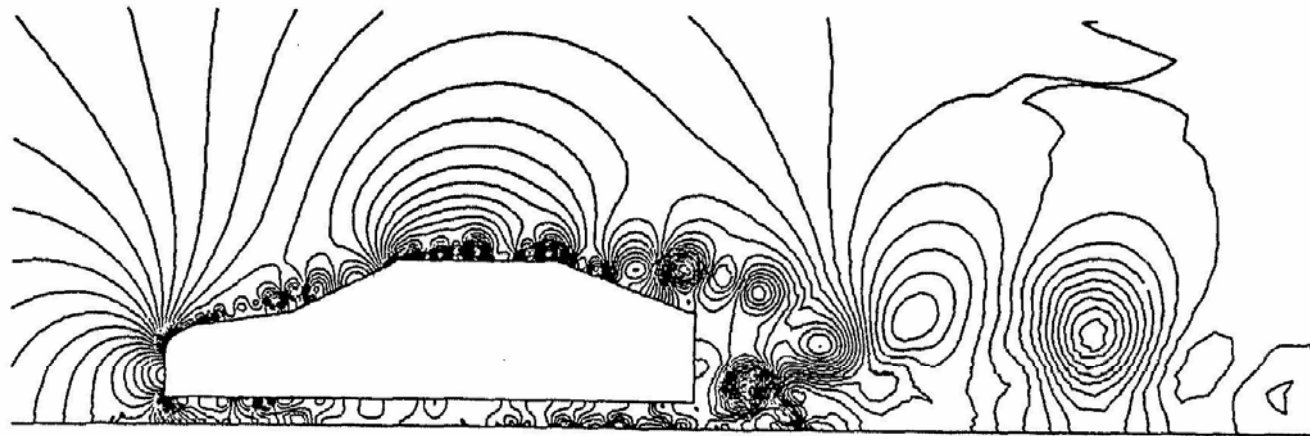
ステップ=2000 メッシュ=85×64 初期温度=50°C
無次元時刻=20.0 レイノルズ数=4.3464E5 入口温度=10°C
実時刻=2.86 アルキメデス数=0.02683 平均温度=28°C

温度スケール

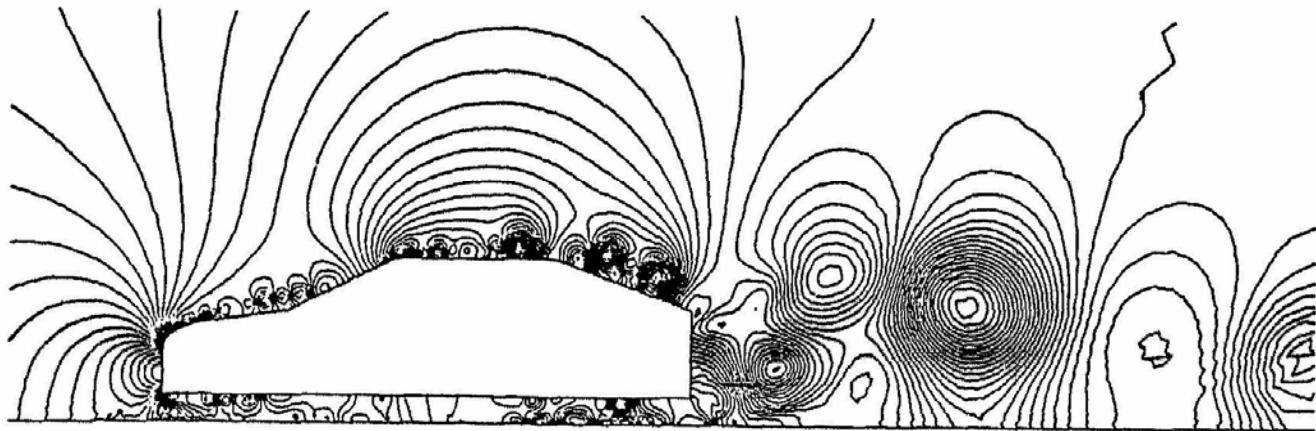
10 15 20 25 30 35 40 45 °C



車体周囲の空気流のシミュレーション



$t=10.0$

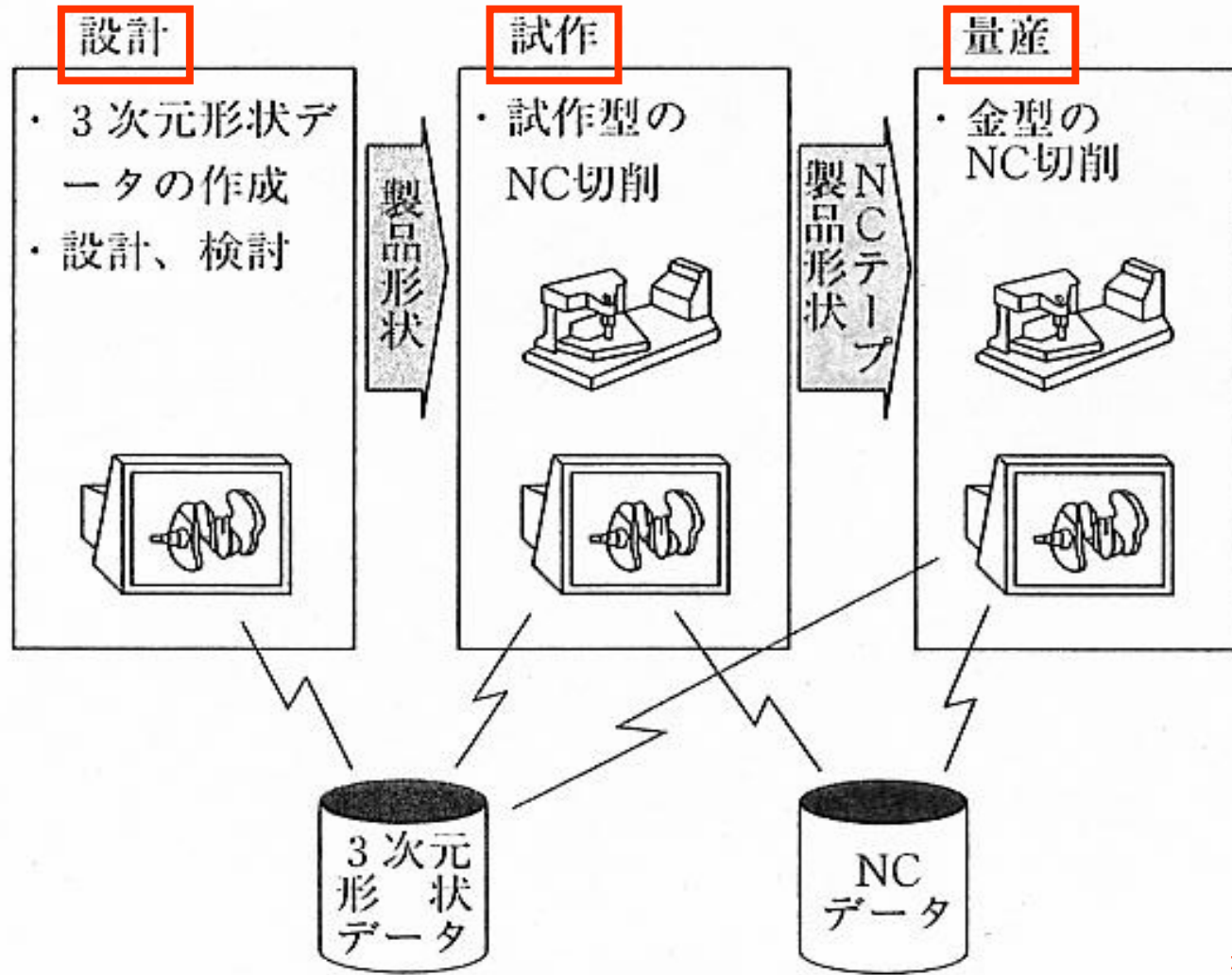


$t=18.0$

各瞬間での車体周囲の流線

≡

CADとCAMの連動(NCによる金型の切削加工)



(2-1) タスク分割(task partitioning)

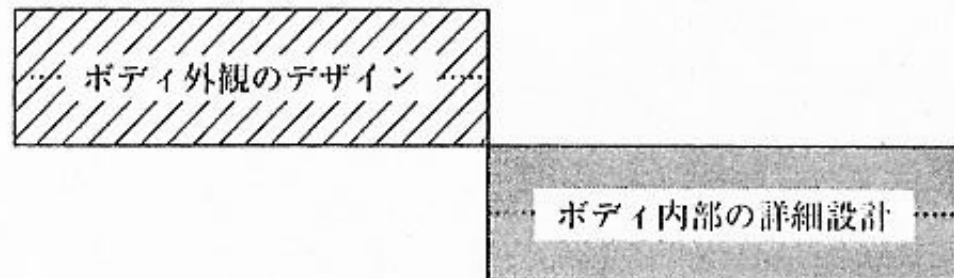
上流と下流のタスク間の相互依存性を断ち切る。

例：自動車のアッパーボディ設計とアンダーボディ設計の分割

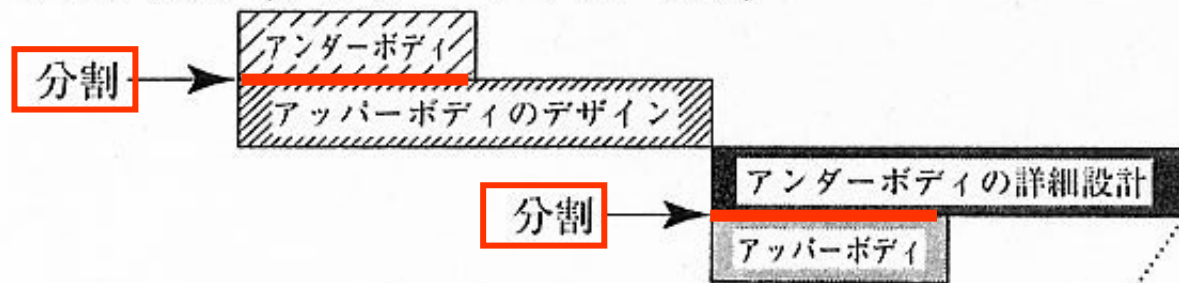
→ アンダーボディの詳細設計作業(下流作業)の前出し

タスク分割の例

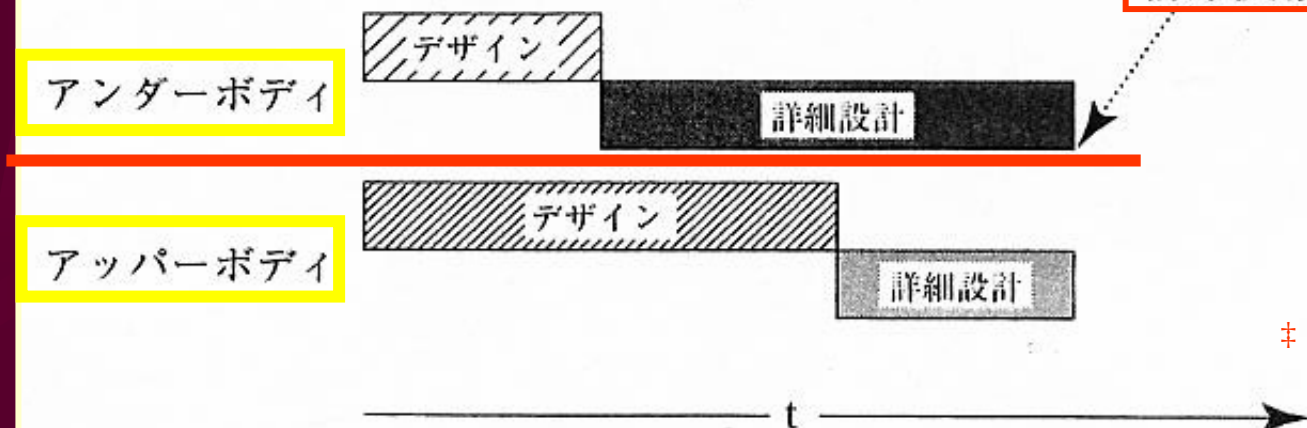
(1) タスク分割前 (アンダー・アッパー不可分)



(2) タスク分割 (アンダー・アッパー分割)



(3) タスク前出し (アンダーボディ)



(2-2) オーバーラップ型問題解決

上流と下流の問題解決サイクルを重複化

緊密なコミュニケーション

組織能力:統合的な問題解決の能力

組織風土:「完璧主義」「日和見主義」の克服

1. 緊密な部門間コミュニケーションをともなうオーバーラップ
(80年代日本企業に典型的)

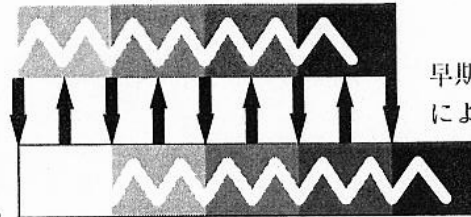
未完成の情報を早期に小出しに流す

上流ステージ

(例: ボディ設計)

下流ステージ

(例: 金型開発)



早期・不完全情報の頻繁なやりとり
によって混乱を最小限に抑える

あいまいな情報に基づき徐々に仕事を進める

2. 緊密な部門間コミュニケーションをともなわないオーバーラップ
(80年代アメリカ企業に典型的)

完璧主義の弊害

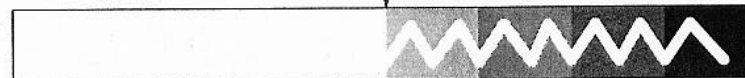
上流ステージ



早期の情報交換が欠如

上流・下流間の不整合によるプロセス
混乱。下流の遅れ。部門間対立

下流ステージ



日和見主義の弊害

注: 問題解決サイクル → 情報フロー

知識のレベル (完成度)

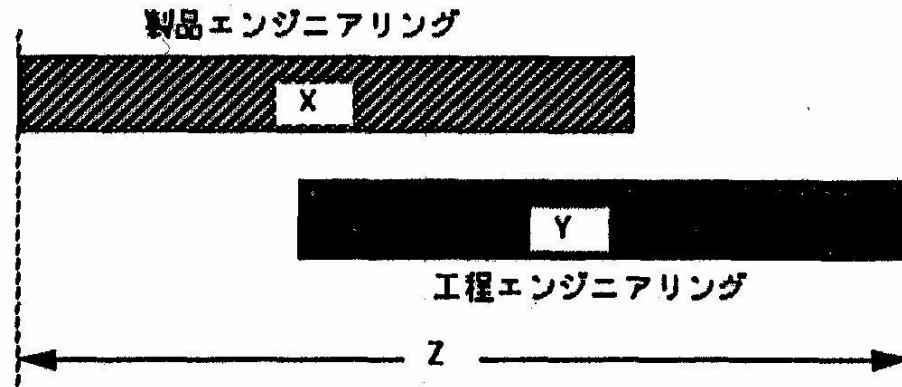
低

高

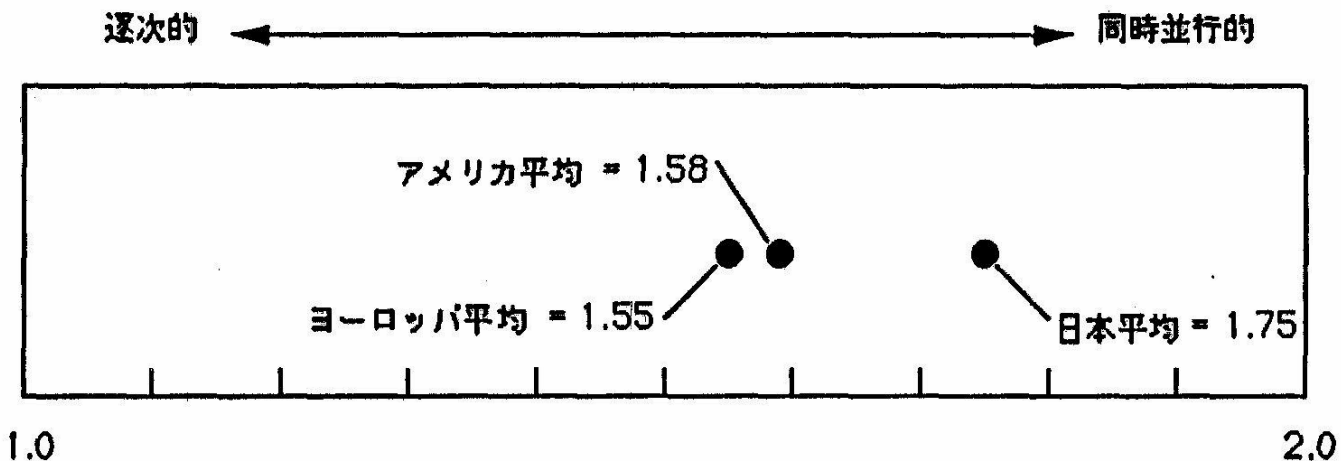
期間オーバーラップ度の日米欧比較

1. オーバーラップ率の定義

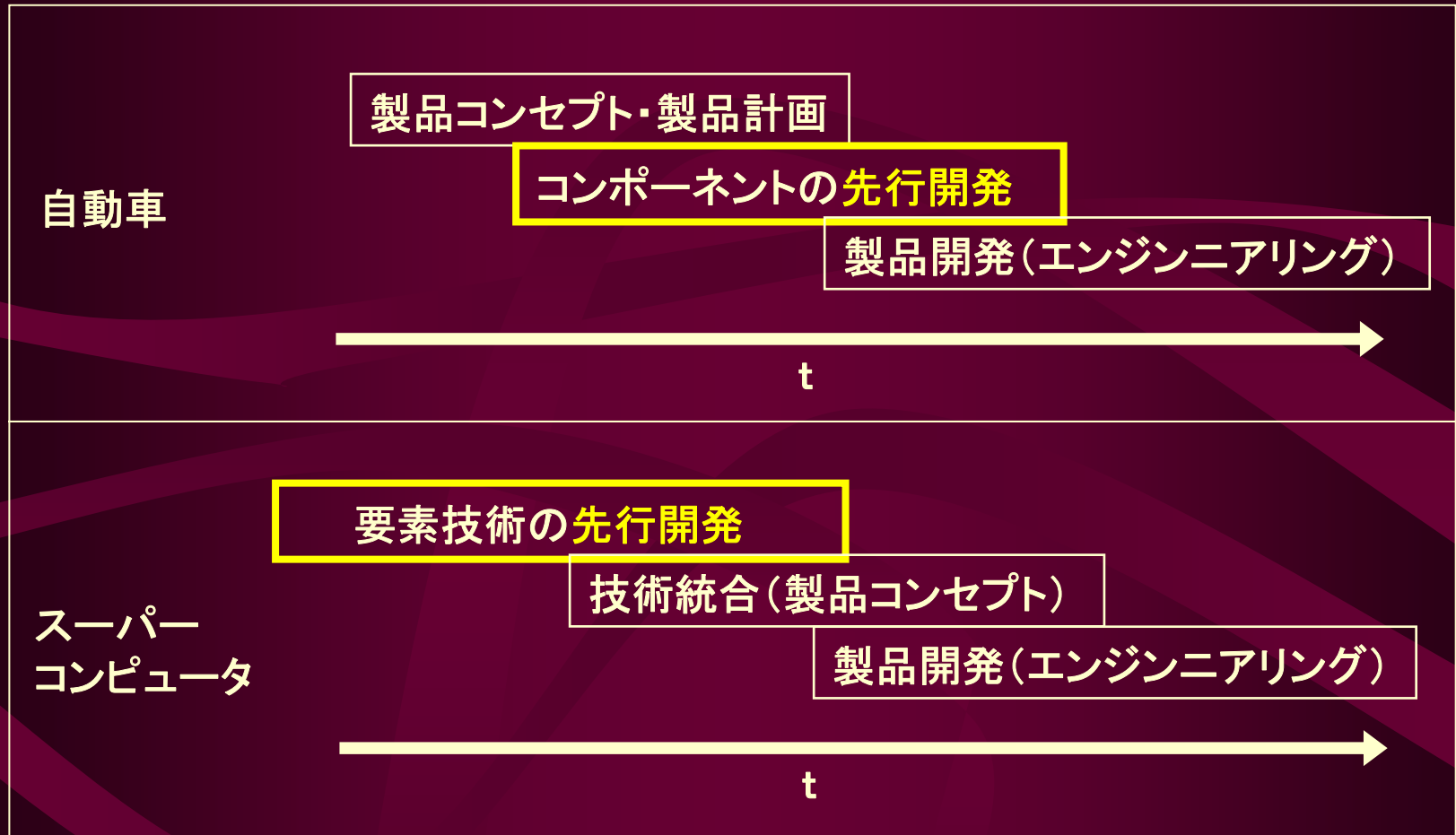
$$\text{オーバーラップ率} = (X + Y) / Z$$



2. 地域平均オーバーラップ率の比較



先行開発のパターン(概念図)



注: 自動車の場合、エンジンは別途開発されることが多い。

フロントローディング

問題解決のタイミングを前に(フロント)出す(ローディング)ことによって、
全体の問題解決時間(開発期間)を短縮すること。

後半の問題解決は、時間とお金がかかる傾向があるから

知識のフロントローディング:

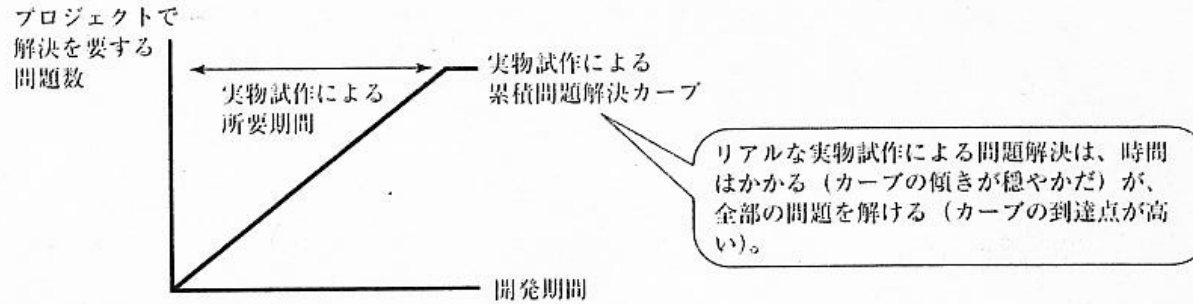
前のプロジェクトからソリューション知識を移転すること

問題解決活動のフロントローディング:

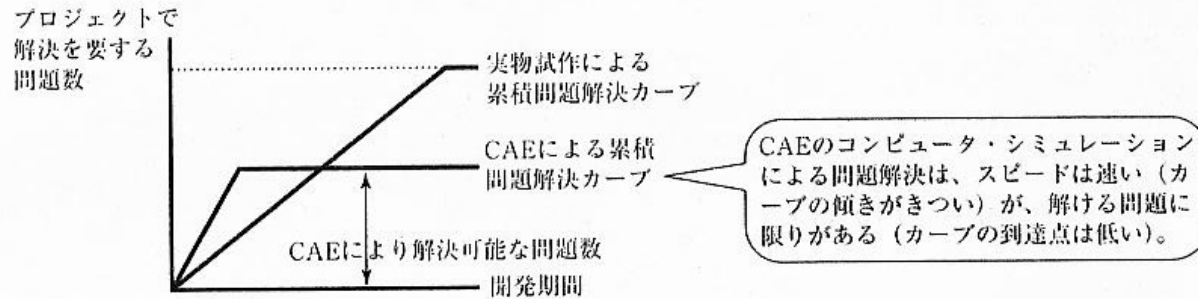
3次元CADやCAEを活用し、
実物試作やパイロットによる設計変更(お金と時間がかかる)
をなるべく減らすこと。

フロントローディングの期間短縮効果と累積問題解決カーブ

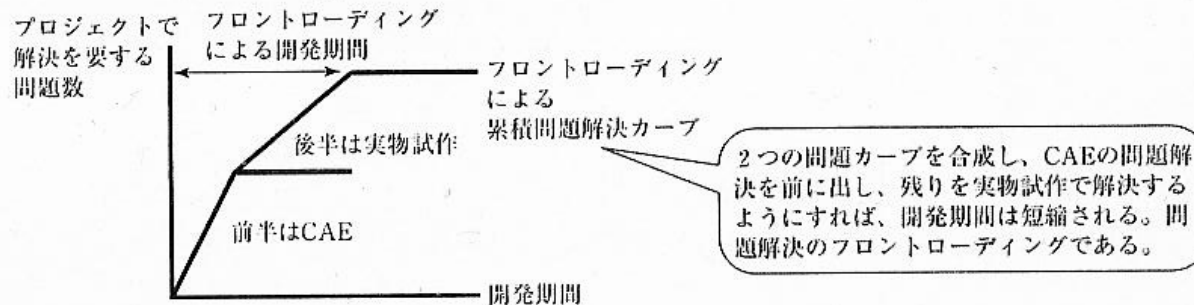
1. 伝統的な実物試作による開発



2. CAEの登場

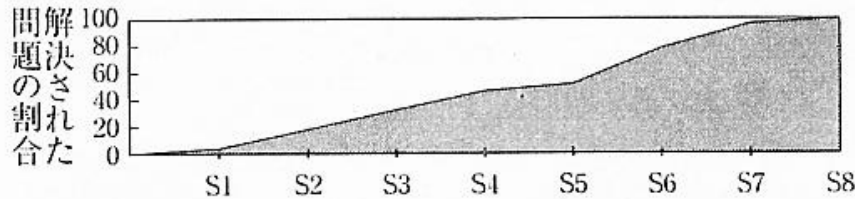


3. CAEを活用したフロントローディング

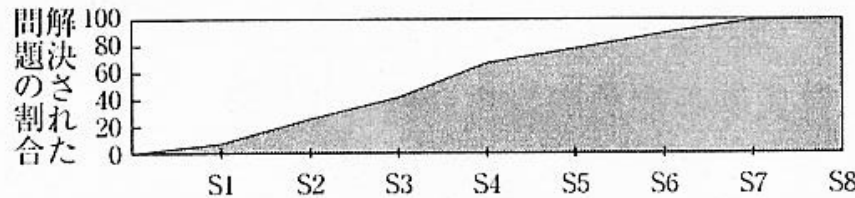


製品開発における累積問題解決カーブ のシフト (推定:トヨタ自動車)

(a) 伝統的な開発プロセス (1970年代まで)

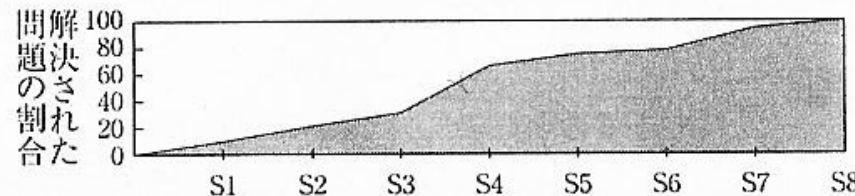


(b) 部分的で非公式なオーバーラップ方式 (1980年代)



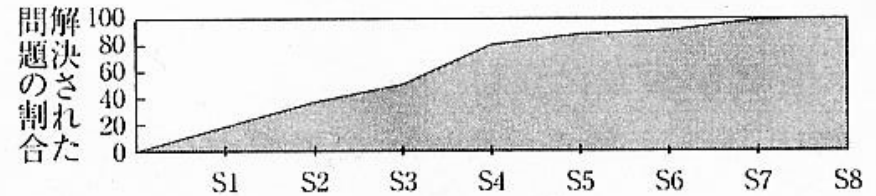
(c) フロントローディング推進の第1期:

生産技術と試作工場の連携本格化 (1990年代初め)



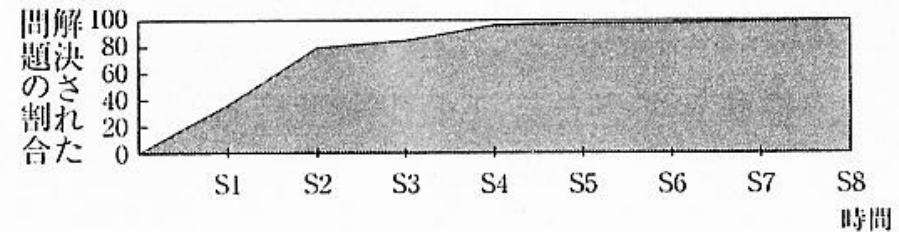
(d) フロントローディング推進の第2期:

3次元CADによる部品干渉チェック (1990年代半ば)



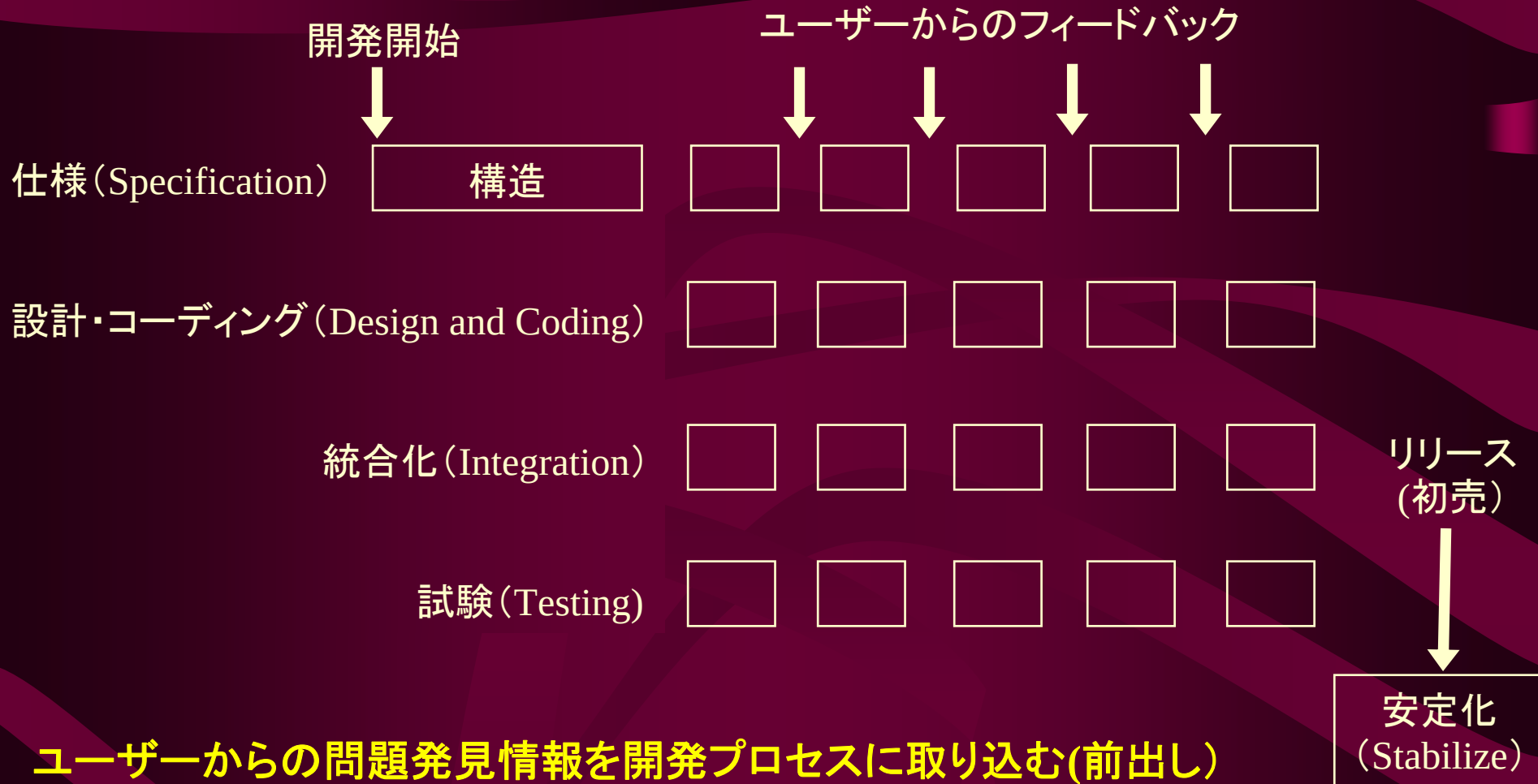
(e) フロントローディング推進の第3期:

CAEによる製品機能チェック (1990年代終盤)



注:トヨタ自動車の外部公表資料(1995年)をもとに筆者らが推定。図中のS1は基本設計図(構造図)完了、S2は1次試作図完了、S3は1次試作車完了、S4は2次試作図完了、S5は2次試作車完了、S6は1次量産試作車完了、S7は2次量産試作車完了、S8は商業生産開始と推定される。

参考：ソフトウェア製品におけるフレキシブルな開発方式



藤本隆宏 『生産マネジメント入門』 日本経済新聞社 2001 (Ⅱ p195 図14.4)

MacCormack, A. and Iansiti, M.

"Living on Internet Time : Product Development at Netscape, Yahoo!, NetDynamics and Microsoft,"
Case 9-697-052, Harvard Business School, 1996.

期間短縮のための組織能力

開発期間の短縮 = 「累積問題解決カーブ」の前方シフト

これは、組織能力(組織的問題解決能力)の向上に他ならない

情報技術 (3次元CADやCAE)は、

開発期間短縮競争に勝つための「必要条件」にすぎない

情報技術を開発期間短縮に結び付けるのは、
個々の企業がもつ組織能力(組織的問題解決能力)である

例:自動車産業の開発期間短縮競争 (80～90年代)

IT-LTパラドックス・・・ITで出遅れた日本企業が、リードタイム(LT)短縮では先行した