

自動車産業の近未来

2014年4月

藤本隆宏

Professor, Faculty of Economics, Tokyo University
Executive Director, Manufacturing Management Research Center

現場の能力構築競争

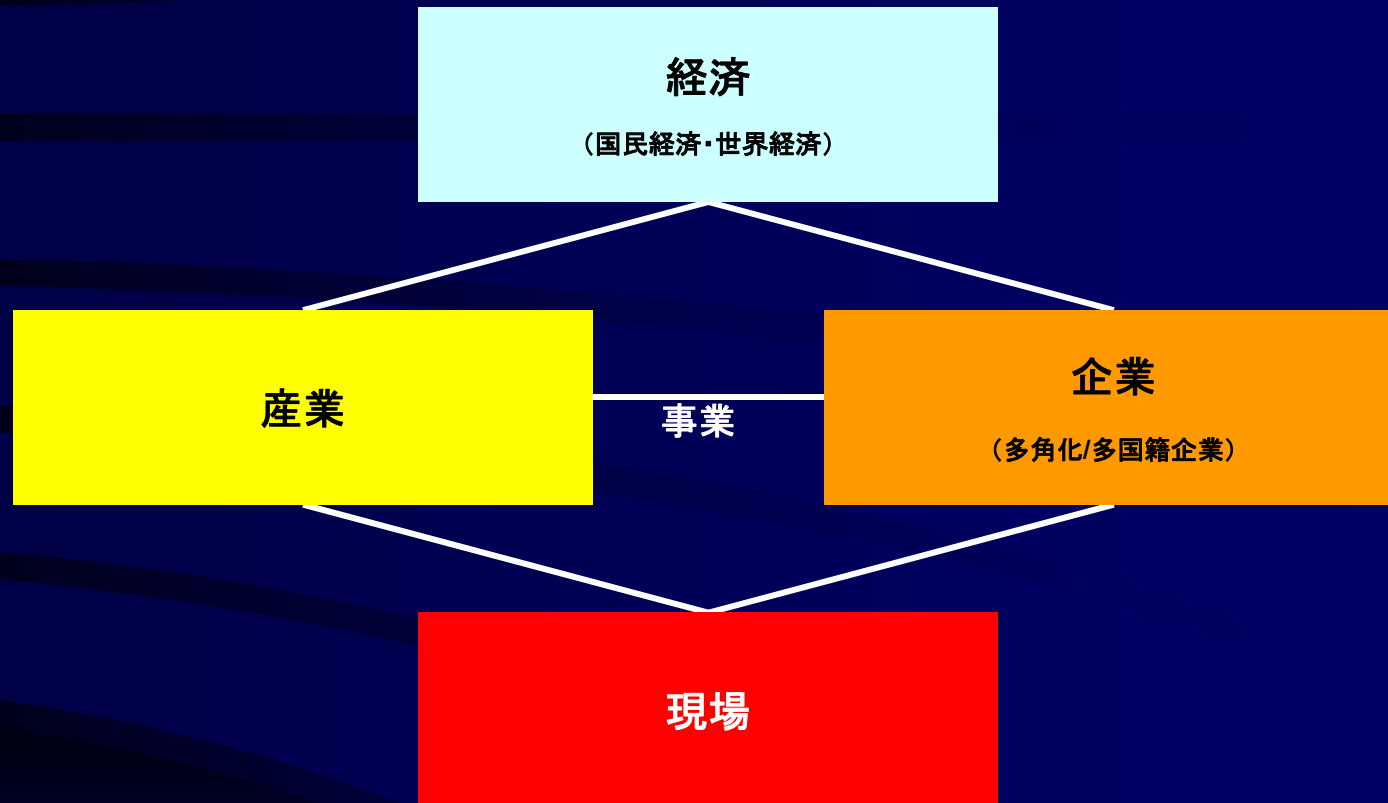
— 経済の土台は現場・現物である —

まずは、現場を繰り返し観察することから出発



エツキ、山形県村山市 2011.8

経済・産業・企業、そして現場



産業は設計情報と空間を共有する**現場**の集合

企業は同一資本の支配下にある**現場**の集合

ものづくり現場発の戦略論・・・

そのためには、高度の自在な上げ下げが必要

「現場」レベルの議論が抜けていないか

上下の議論が
うまく
つながって
いなかった！

→ 過剰反応

高度3万M・・・日本経済論・世界経済論

経済記者(日経1面)
経済官僚
マクロ経済学者
社長(日経ファン)

高度1000M・・・個別産業論・貿易論

産業経済記者(日経産業1面)
産業官僚
経営幹部(米国経営書ファン)
戦略派の経営学者

高度100M・・・経営戦略論

高度5M・・・ものづくり現場論

産業記者(日経産業15面)
現場派の経営・経済学者

高度1.5M・・・生活者＝現場人の人生

現場(引きこもり型?)・家庭

明るい現場が明るい経済を作る

- ・ 2020年に「**明るい現場**」が無ければ、
株価のみ上昇しても、明るい日本経済とは言えない。
- ・ 現場とは、**付加価値が流れる場所**を指す。
製造業の工場、開発拠点、非製造業の店舗、サービス拠点、農場など
- ・ **良い現場**は 物的生産性を向上させ、
顧客満足と企業利益に貢献し、
雇用と所得を生み、
人を育てる。
- ・ 「**良い現場を日本に残す**」ことを明示した政策がいまこそ必要。
- ・ 「**企業**」と「**現場**」は同一ではない点に要注意

戦後の日本にはサッカー型の良い現場が多かった

「多能工のチームワーク」

1 0

究極の目標: 生き残り

直近の目標: QCTF向上

現場密着の
管理者

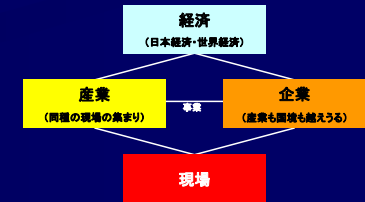
フィールド＝現場

「周辺視野」で
仲間を把握する

多能的な
チームメンバー

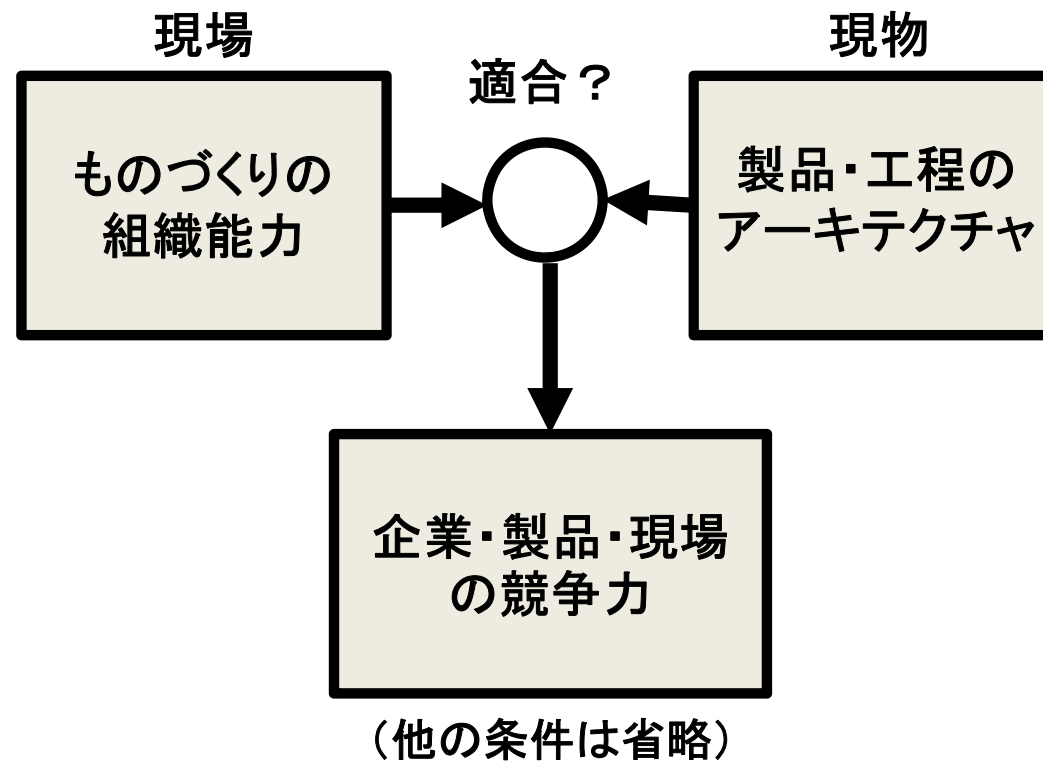
自分の担当する作業(ボール)

現場の論理 — 生き残りと雇用確保



- ・ 大企業の**本社**は、資本市場に直面し、最大利益を追求する
- ・ 一方、**現場**は「**地域に埋め込まれた存在**」であり、
自らの**存続**と**雇用維持**を追求する。(最小限の利益を確保)
- ・ 現場の二階に社長室がある地場の**中小企業**・・・比較的低賃金の正社員
「資本の論理」(利益追求)より「現場の論理」(存続と雇用)
- ・ 現場は存続のため能力構築を続け(**生産性向上**)、
社長は雇用確保のために仕事を取って来る。(有効需要創出)
- ・ 大企業の**生産子会社**も同様。彼らは実質的には地場の中小企業。
存続と雇用のために、生産性を数倍にして本社の「レッドカード」を阻止。
- ・ 生産性を数倍にしても閉鎖された工場もあったが、多くの現場はしぶとく残った。
・・・ 2009年の失業率は先進国の中でも低かった

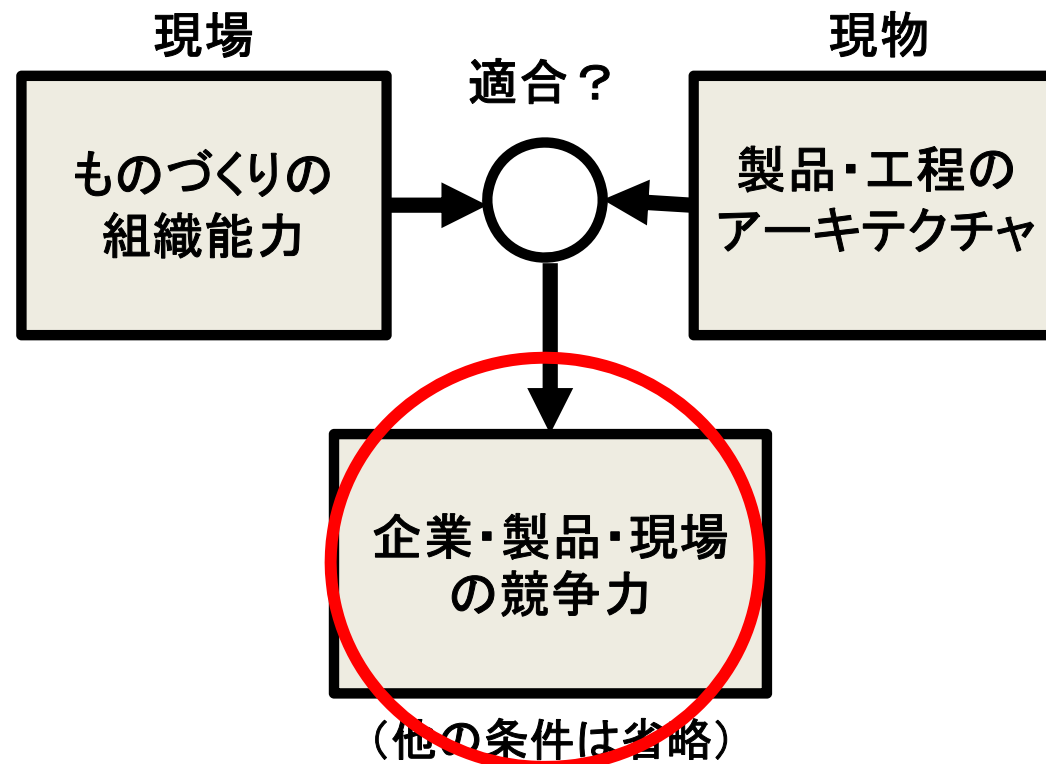
組織能力とアーキテクチャの動態適合



競争力とは「選ばれる力」である

— 現場力(裏)、商品力(表)、収益力の重層的な理解—

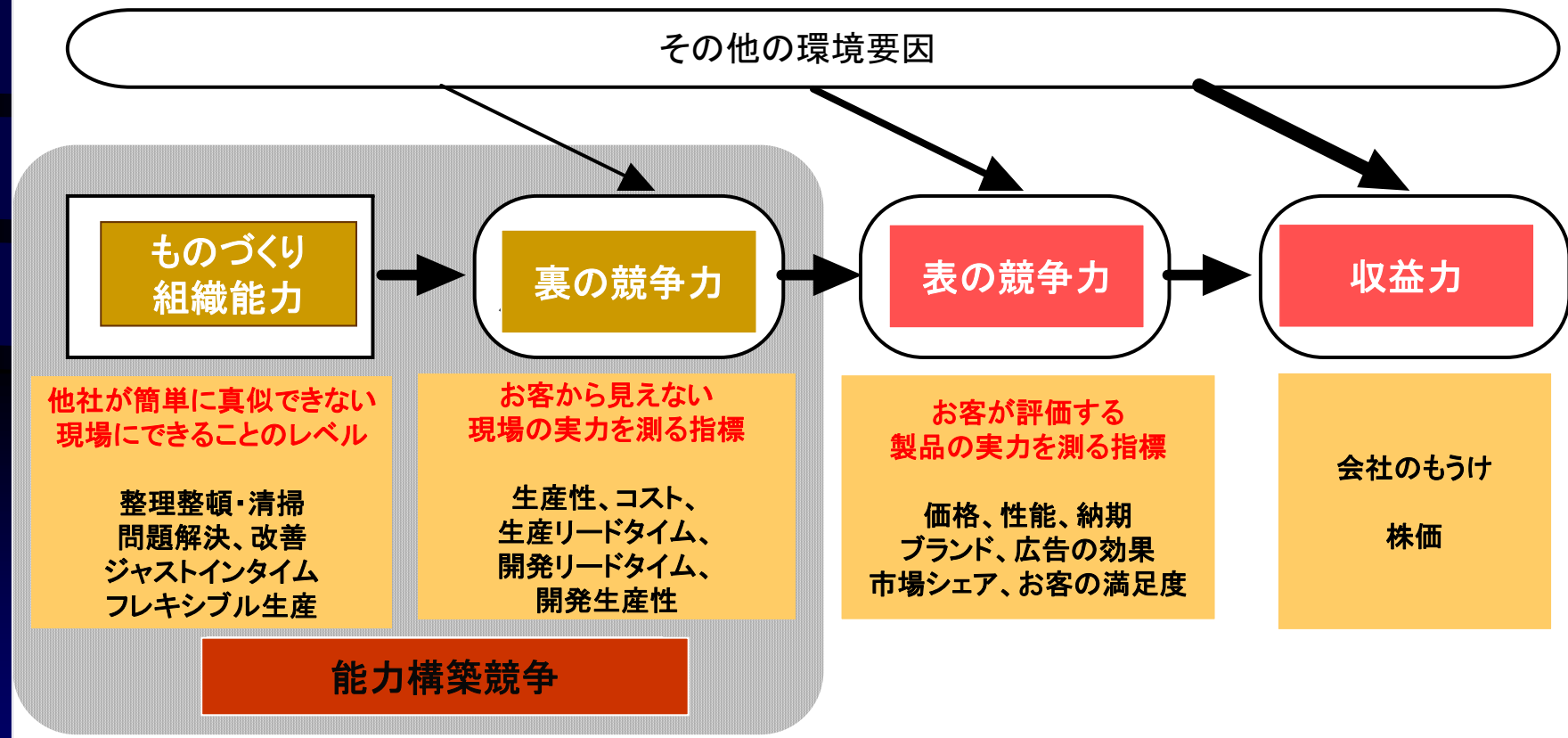
組織能力とアーキテクチャの動態適合



競争力は多層的に把握せよ:「まず現場」か「まず利益発」か

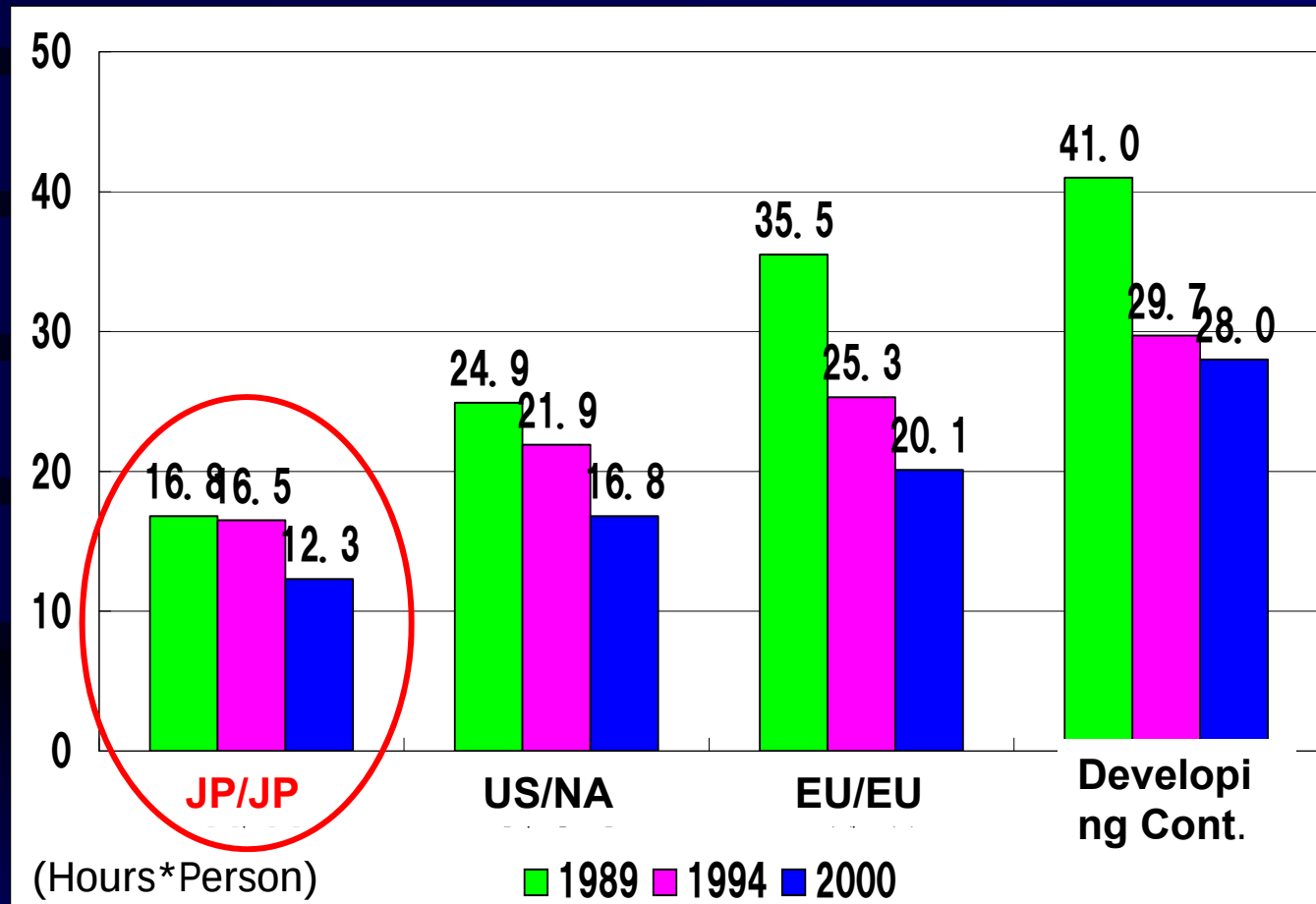
① まず能力構築から・・・「現場＝体を鍛える」トヨタ流の体育会系戦略

② まず利益構想から・・・「本社＝頭を使う」欧米流(中国流)戦略



Example: Productive Performance of Japanese Auto Firms

-- Assembly Productivity (Adjusted Person-Hours per Vehicle) --



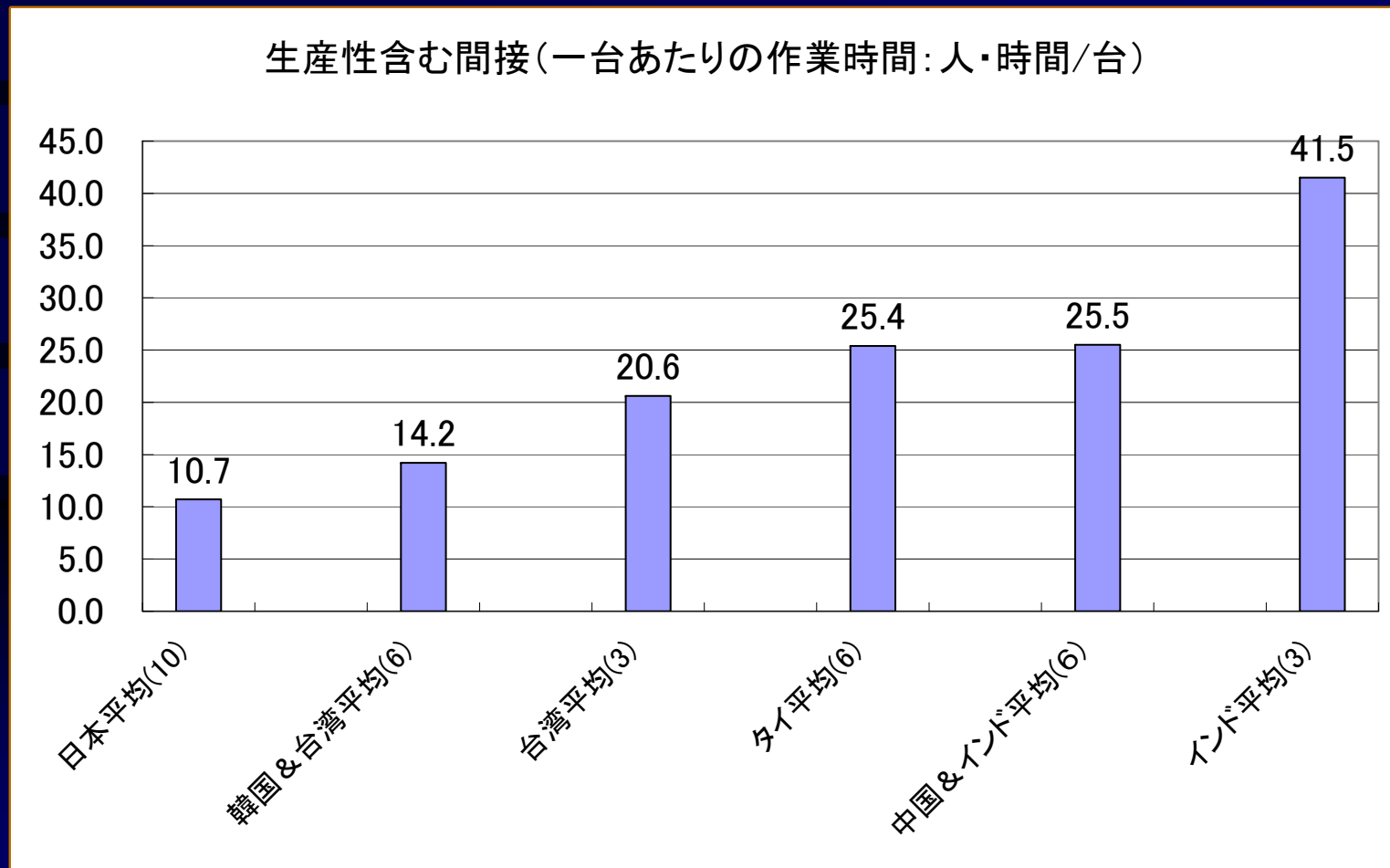
Source: M. Howleg & F.K. Pil, *The second century* (IMVP Survey)

IMVP ラウンド4

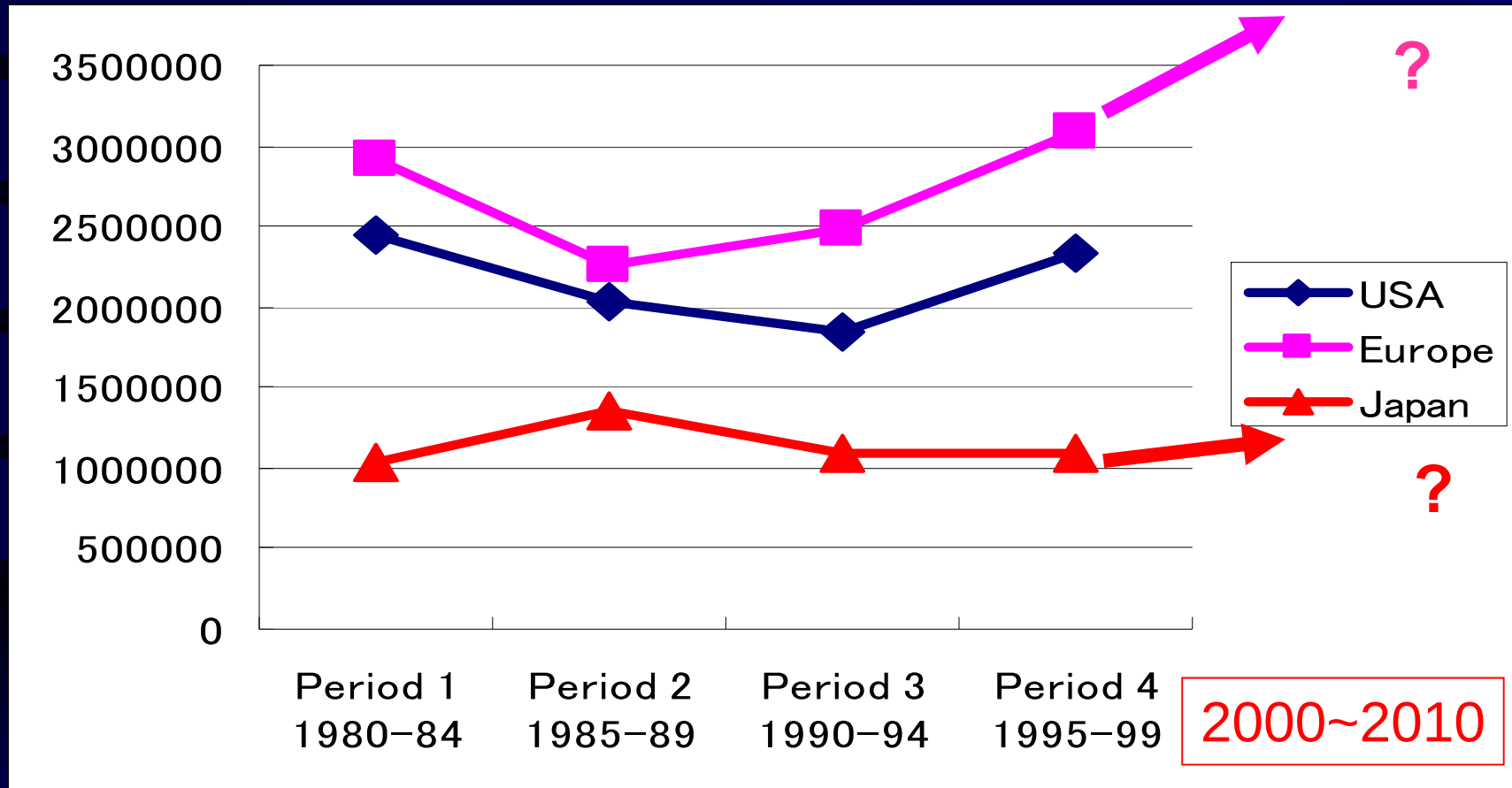
アジア自動車工場の国別・地域別生産性比較

IMVP ラウンド4 アジア自動車工場の国別・地域別生産性比較まとめ

(注): 括弧内はアンケート回答工場数を示す



Example: Productive Performance of Japanese Auto Firms -- Development Productivity (Adjusted Person-Hours per Project) --



Adjustment scheme:

(1) # of body types=2, (2) New design ratio=0.7, (3) Supplier's contribution=0.3, (4)

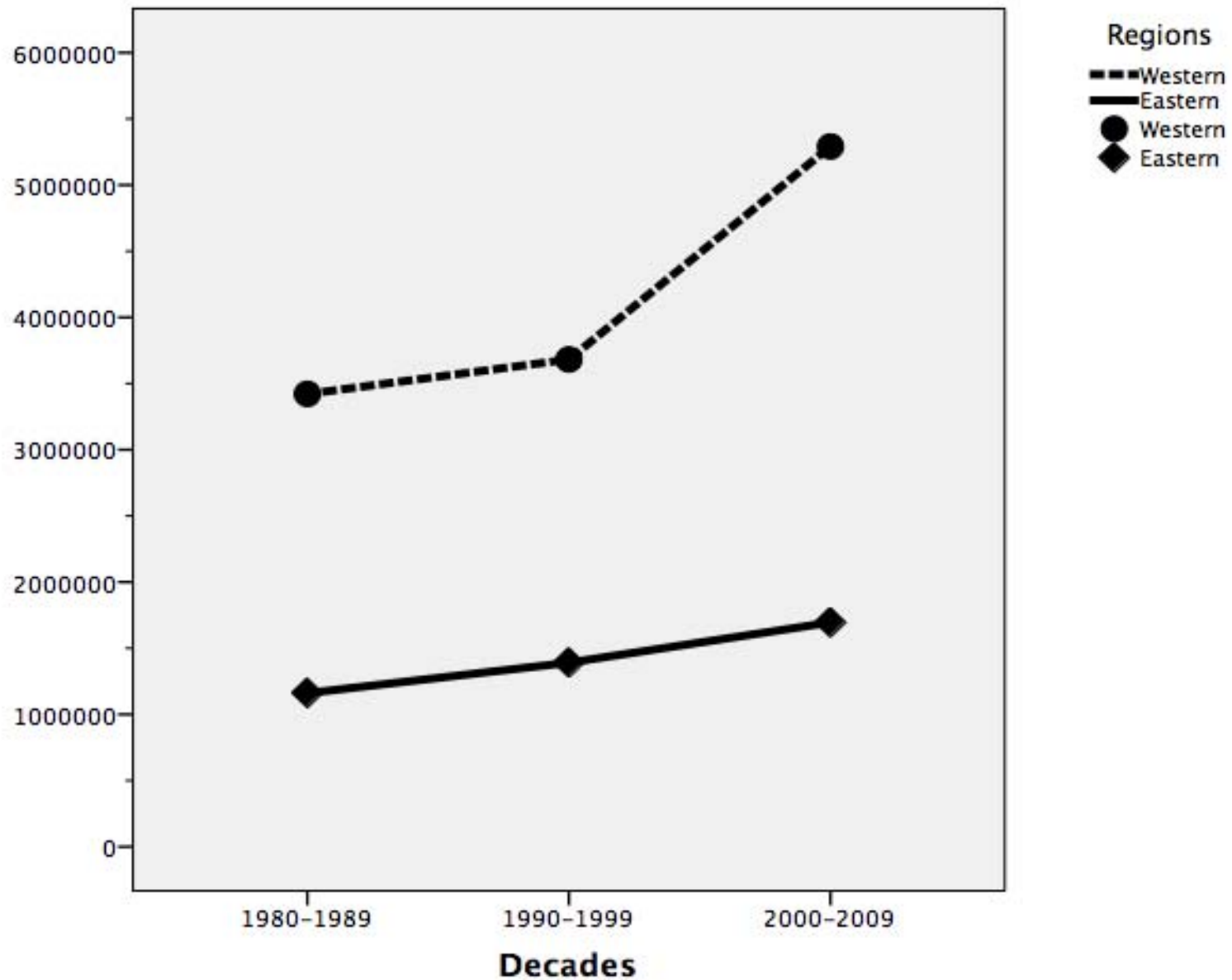
Product class=compact/sub-compact

***Following Graphs Cited from
Nobeoka & Fujimoto(2004)**



HARVARD BUSINESS SCHOOL

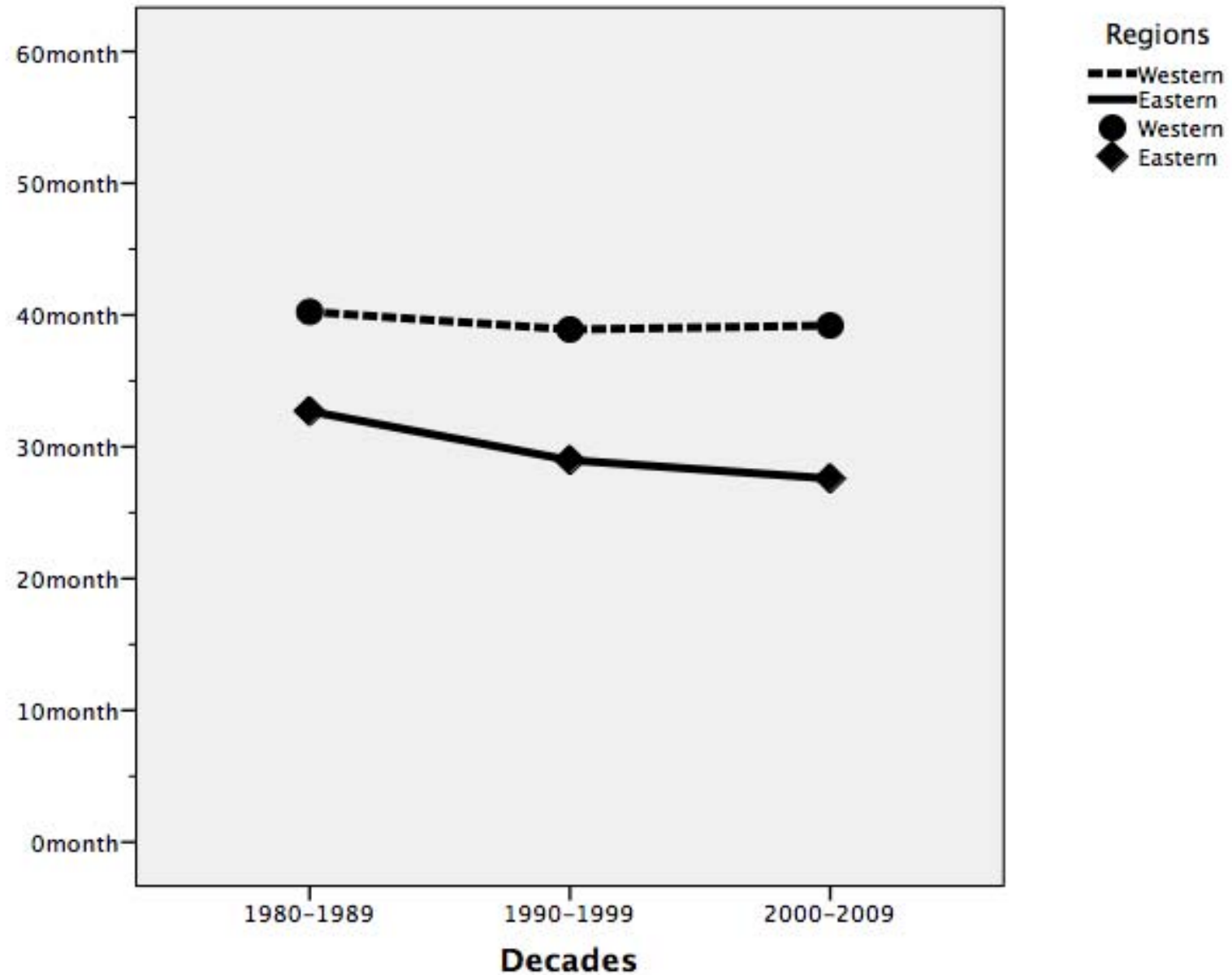
開発生産性(修正済み工数)の推移





HARVARD BUSINESS SCHOOL

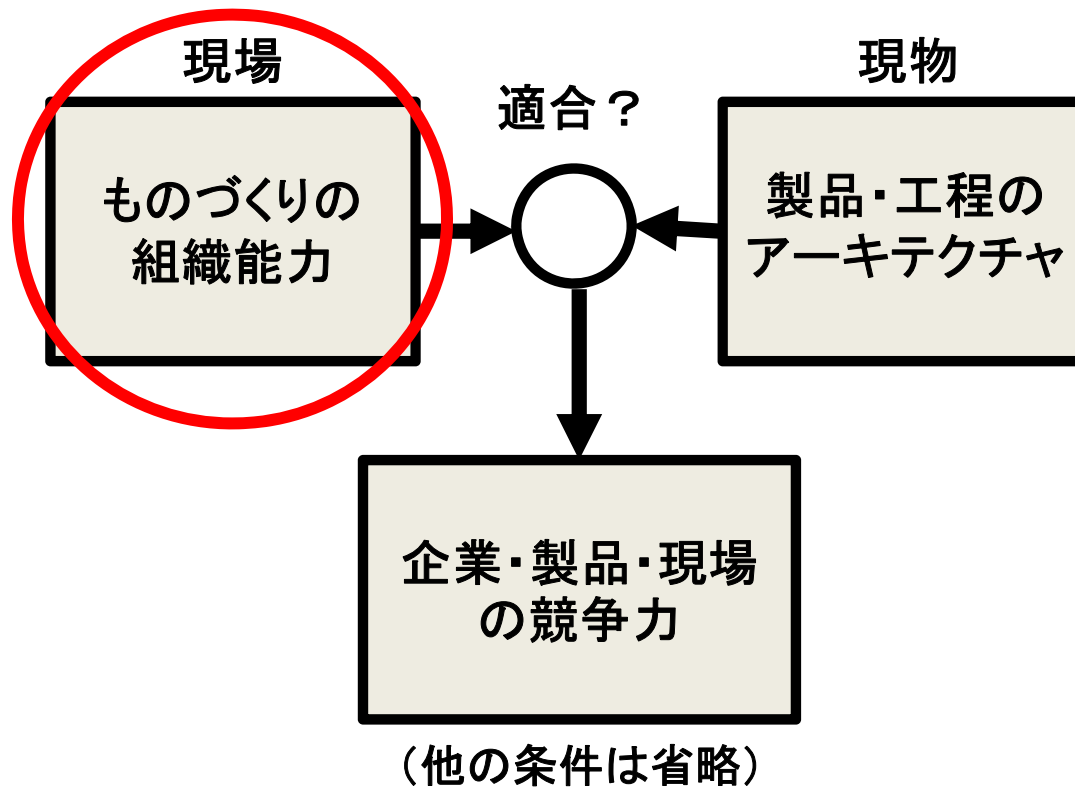
開発リードタイム(デザイン承認～発売)



ものづくりの組織能力

— 常に「良い設計の良い流れ」を作る現場力 —

組織能力とアーキテクチャの動態適合



お客に向かう「設計情報の流れ」を追うのが 「開かれたものづくり」である

出発点・・・製品とは設計情報が媒体＝素材に転写されたものである

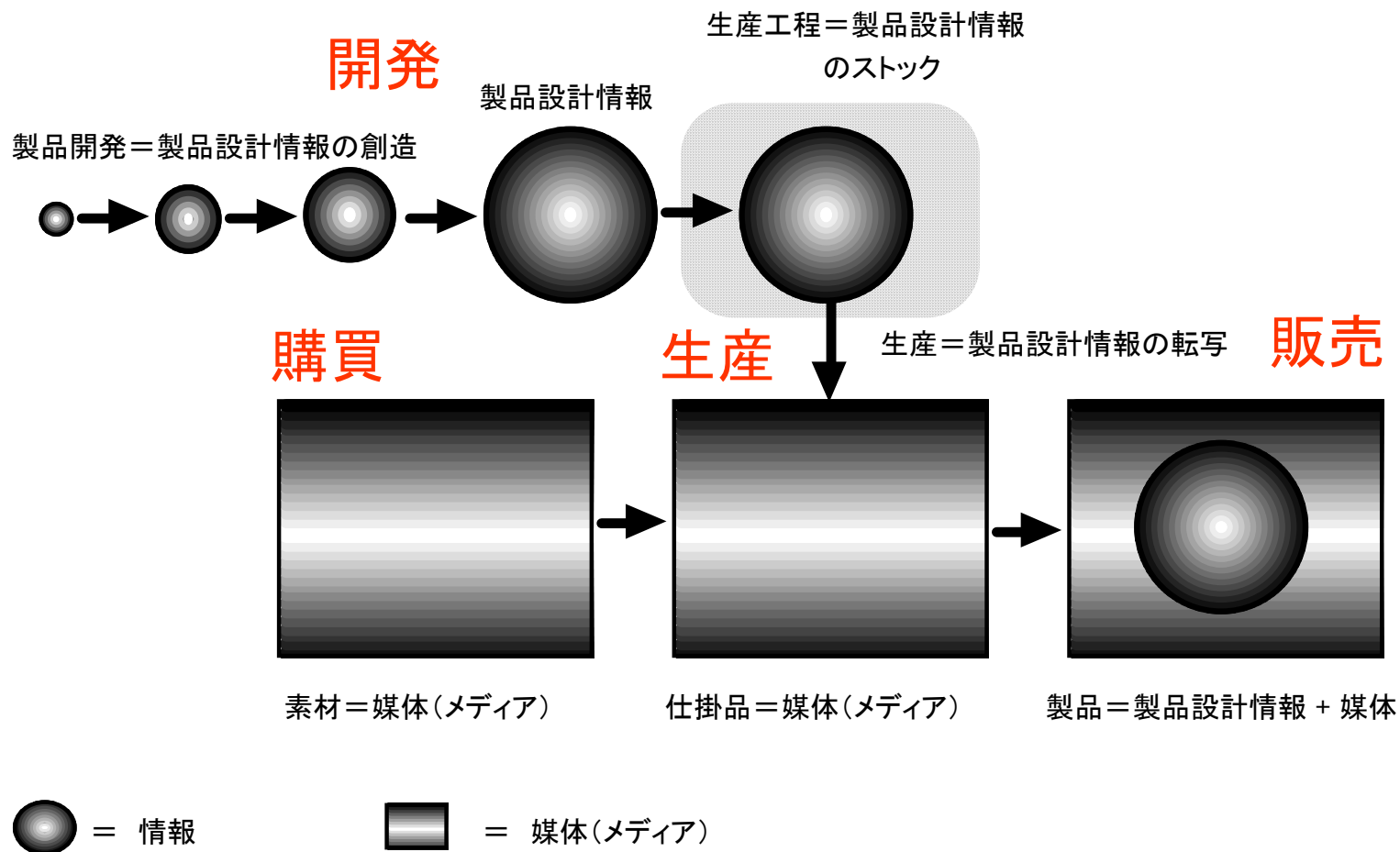
製品とは、設計情報を素材（媒体）に転写したものだ



生産＝設計情報の転写

開発＝設計情報の創造

開発は設計情報の創造である；生産は設計情報の転写である



設計情報

お客さんが
カッコいいと
思ってくれる
ボディの
デザイン



厚さ0.8ミリの鉄板

素材＝媒体

お客さんが
カッコいいと
思ってくれる
ボディの
デザイン

これを創造するのが**開発**

この二つを結合するのが**生産**
(設計情報を素材に転写すること)

厚さ0.8ミリの鉄板

これを買ってくるのが**購買**

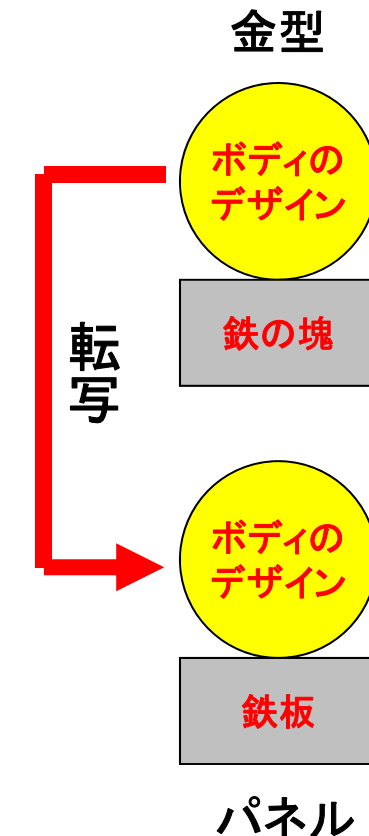


プレス工場で起こっていること・・・生産＝転写

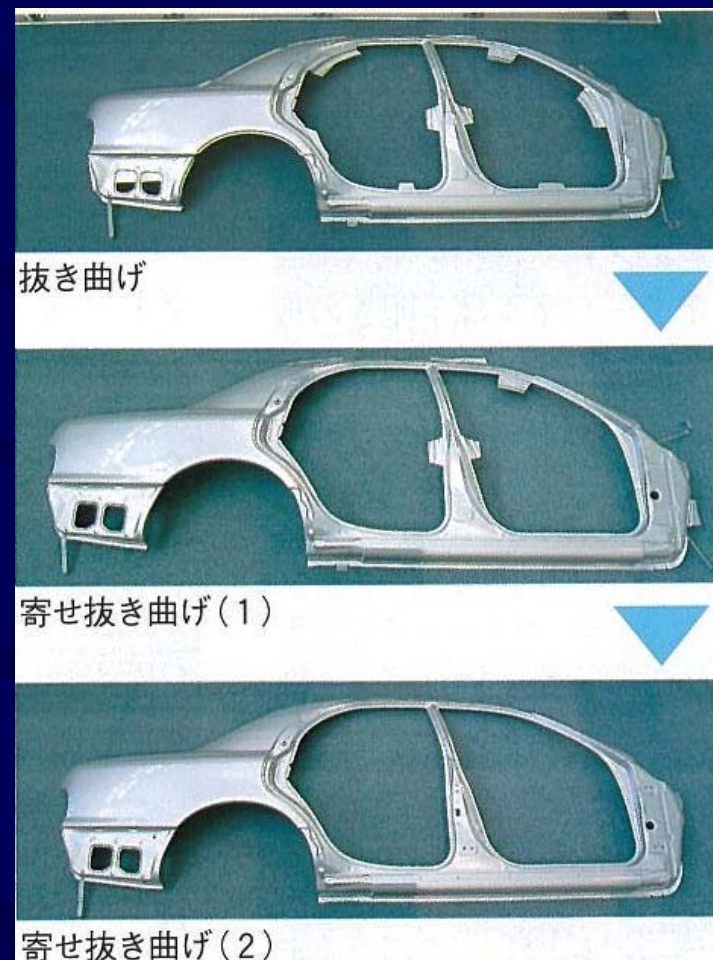
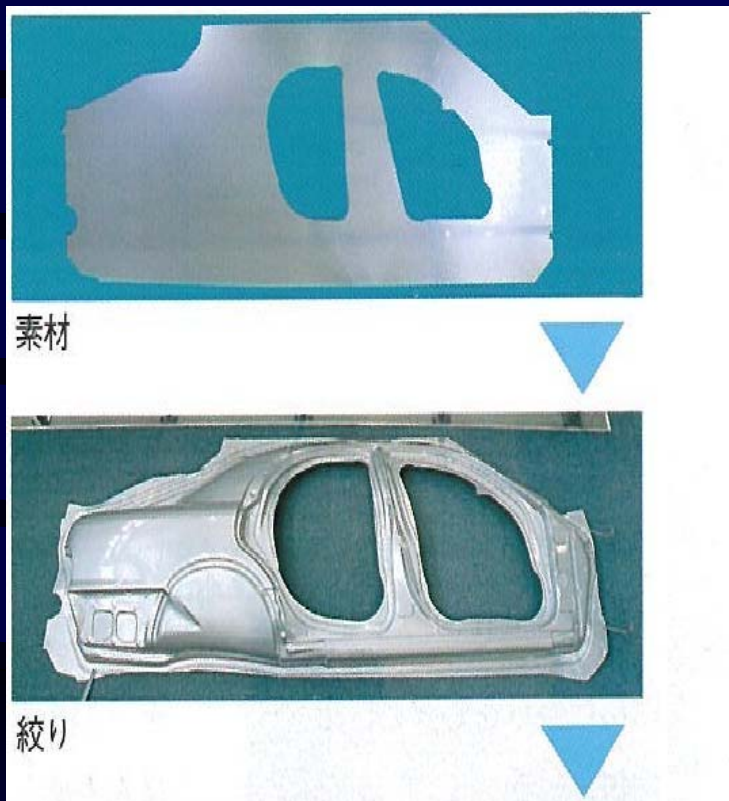
- ・ **金型**＝「かっこいいボディ」の**設計情報**が鉄の塊の中に埋め込まれている。
- ・ 1分に10回近いペースで、その情報が、1000トンを超えるエネルギーを使って、鉄板に「転写」される。印刷と同じ。
- ・ つまり、プレス生産は、金型が持っている設計情報を鉄板に**転写**する活動。
- ・ しかし、うまくやらないと、鉄板は破れる、ゆがむ、しわがよる。つまり転写ミスがおこる。
- ・ いかに**速く、安く、正確に**転写するかが、現場の腕のみせどころ！



写真：トヨタ産業技術記念館



鉄板が金型の持つ設計情報を吸収し、 クルマのサイドボディに変身する



つまり、金型が持つ**設計情報**を、鉄板という**媒体**に**転写**する

ものづくり =
お客様に向かう「設計情報の流れ」を作ること
その流れをよどみなく効率よく正確なものにすること

製品 = 設計情報 + 素材(媒体)

お客さんが
カッコいいと
思ってくれる
ボディの
デザイン

厚さ0.8ミリの鉄板

販売 → 使用 → 解釈



顧客満足

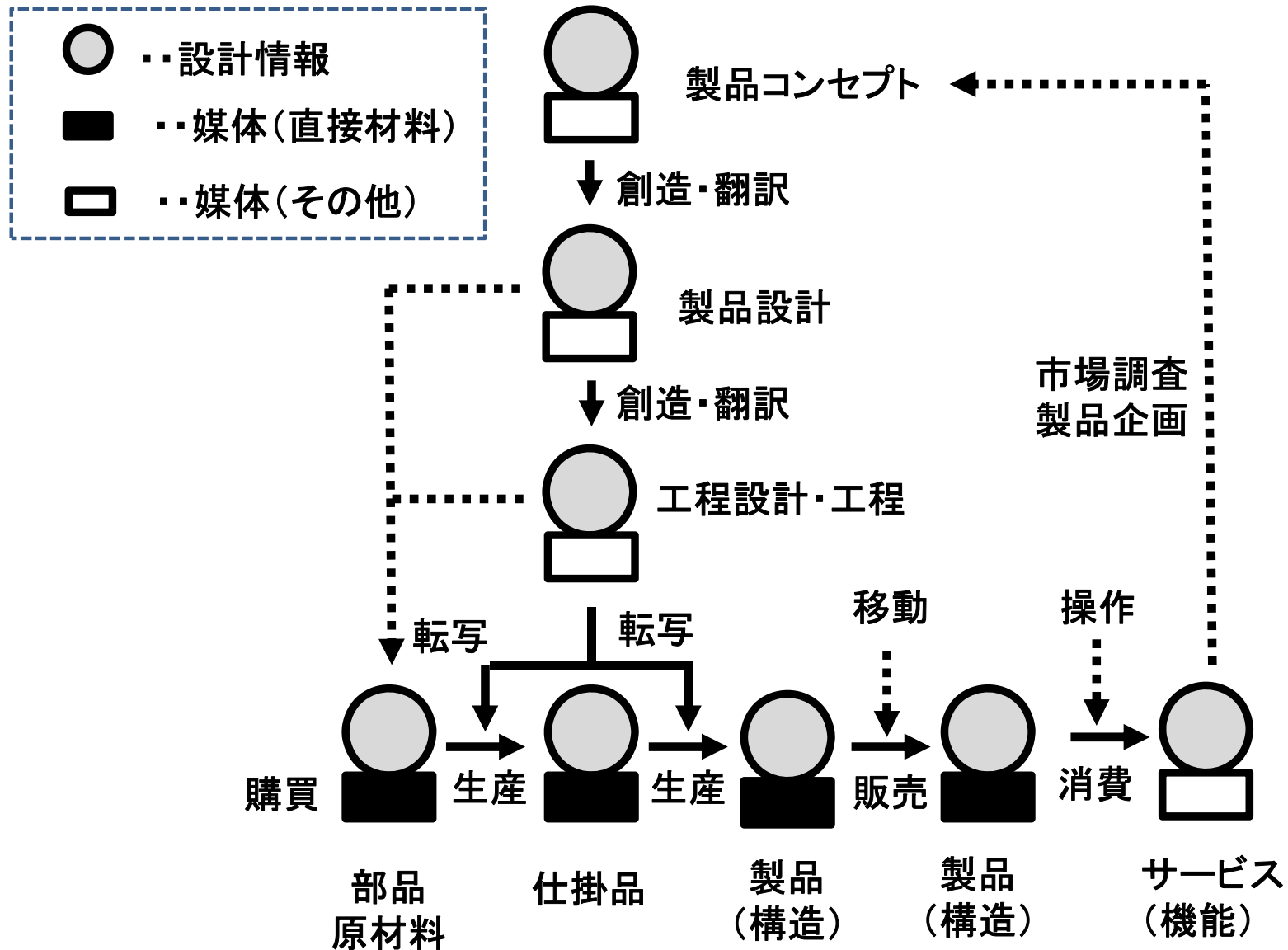
設計情報を**創造**するのが**開発**
媒体を社外から入手するのが**購買**
設計情報を素材に**転写**するのが**生産**
それをお客さんに**発信**するのが**販売**

「設計情報の創造・転写システム」としてみた 「統合型ものづくり」の組織能力

- ① 生産:「**工程から製品への、密度・精度の高い設計情報の転写**」
として統一的に説明できる。
- ② 製品開発:「**早期で統合的な問題解決サイクルの束**」
として統一的に説明できる。
- ③ サプライヤー・システム:
「**長期安定取引**」「**少数者間の能力構築競争**」「**まとめて任せる**」
という3つのルーチンの相互補完性により説明できる。

要するに・・・「**知(設計情報)のめぐりの良い組織**」である

設計情報の循環



開発・生産統合の「良い流れ」づくり

- ・ 有効需要の創出は、国の公共投資(ケインズ)や大イノベーション(シュンペーター)だけではない。結局は**顧客創造**(ドラッカー)、価値創造、商品企画
- ・ 人生や企業の本質に迫る、迫力ある**商品企画**が減っている？
- ・ この新製品で「あなたの人生を変える」「会社を変える」と言えるか？
- ・ 「ワイガヤ」の本当の意味 (小林三郎理論)・・・本質に迫る**商品コンセプト**
- ・ ソリューション・サービス。ものづくり企業も、最後はサービス(機能)を売っている。モノづくりとコトづくりは一体(モノゴト)。

モノ(人工物) + 操作(文化) = 機能(サービス)

- ・ 「〇〇—PS」の落とし穴。**生産・営業間のボトルネック**が盲点である業界も。

「良い設計の良い流れ」と適合的な「ものづくりIT」

- ・ 多能的な作業・技術者のチームワーク（たとえば大部屋設計）を持ち味とする、調整力に富んだ生産現場、設計現場が、歴史的な理由により、日本には多い。
- ・ 顧客に向かう設計情報の流れに沿って、設計者だけでなく、生産、購買、販売、サービスなどの人間が、同じ設計情報を共有するのが、統合型ものづくりの大前提。
- ・ 調整力に富んだ現場は、調整努力を多用する製品で「設計の比較優位」を発揮する。たとえば、制約条件、規制、機能要件等が厳しい、複雑なインテグラル製品で強い。
- ・ こうしたモノづくり組織能力を増進するITは、以下の特徴を持つことが望ましい。
 - ・ チーム作業（協調環境）で活用できる（個室対応より大部屋対応の）IT
 - ・ 設計情報の流れに沿って、技術者以外の皆が共有できる「軽量IT」
 - ・ 問題解決の前倒し（フロント・ローディング）を促進する「フロントエンドIT」
 - ・ 改善活動に使える、現場の用語を使った 一口サイズの「回転寿司」型IT
 - ・ 中インテグラル（すり合わせ）型製品に対し最適化された
外インテグラル型の（カスタマイズされた）IT

統合型ITの対象領域

基本は「皆に見える、皆で使える、良い流れを作る IT」

分業型の欧米発 IT が使いにくければ、統合型の補完ITでくるんで「毒」を消す

チーム型ものづくり 支援IT

Before Solid
チーム構想設計
支援IT
(Concept Modeler)

1D-CAEも
この概念

Solid
世界標準
3D-CAD
(Solid Modeler)

CAD自体の
モジュラー・
アーキテクチャ化で
用途別CADへ？

After Solid
チーム工程開発・
生産・販売支援IT
(Light Weight Viewer)

XVL等で1ギガを
10メガにして
流れに沿って
設計情報を共有

チーム改善
支援IT
(Light Weight
Data Base)

FoAは、
回転寿司方式の
みんなで使う
カイゼンIT

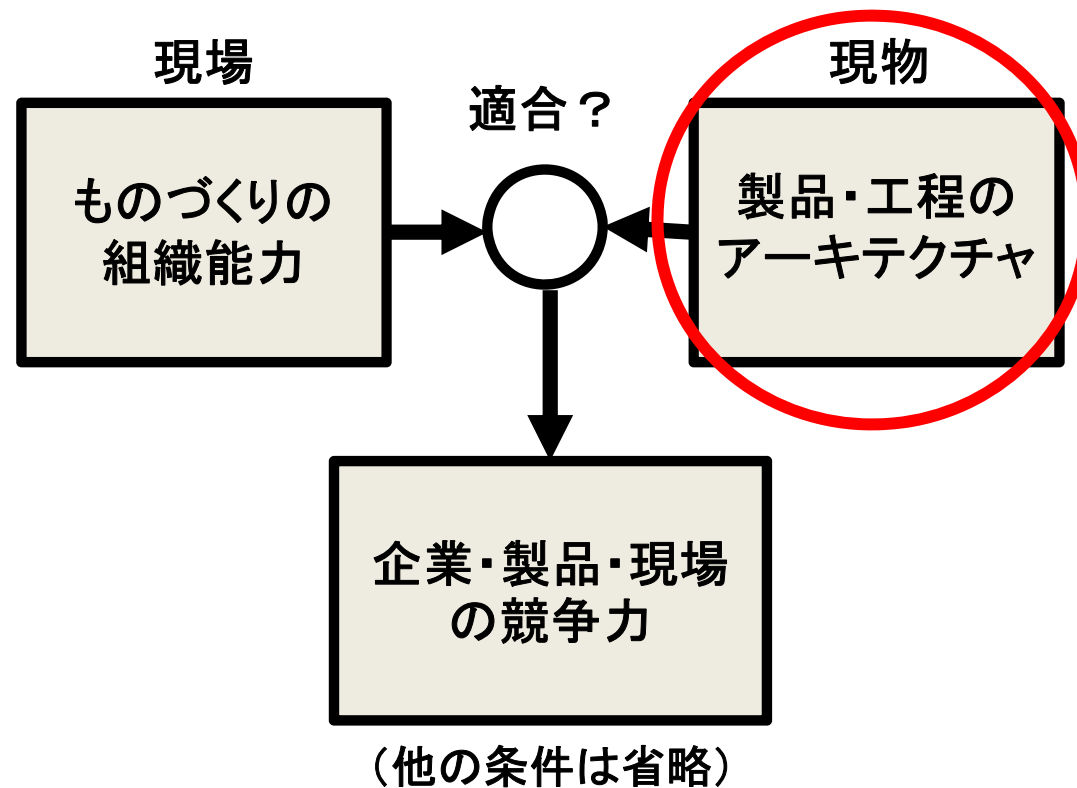
流れ改善
支援IT
(Flexible Production
Scheduler)

自社の「流れ」
に合った
協業重視の
スケジューリング

アーキテクチャと「設計の比較優位」

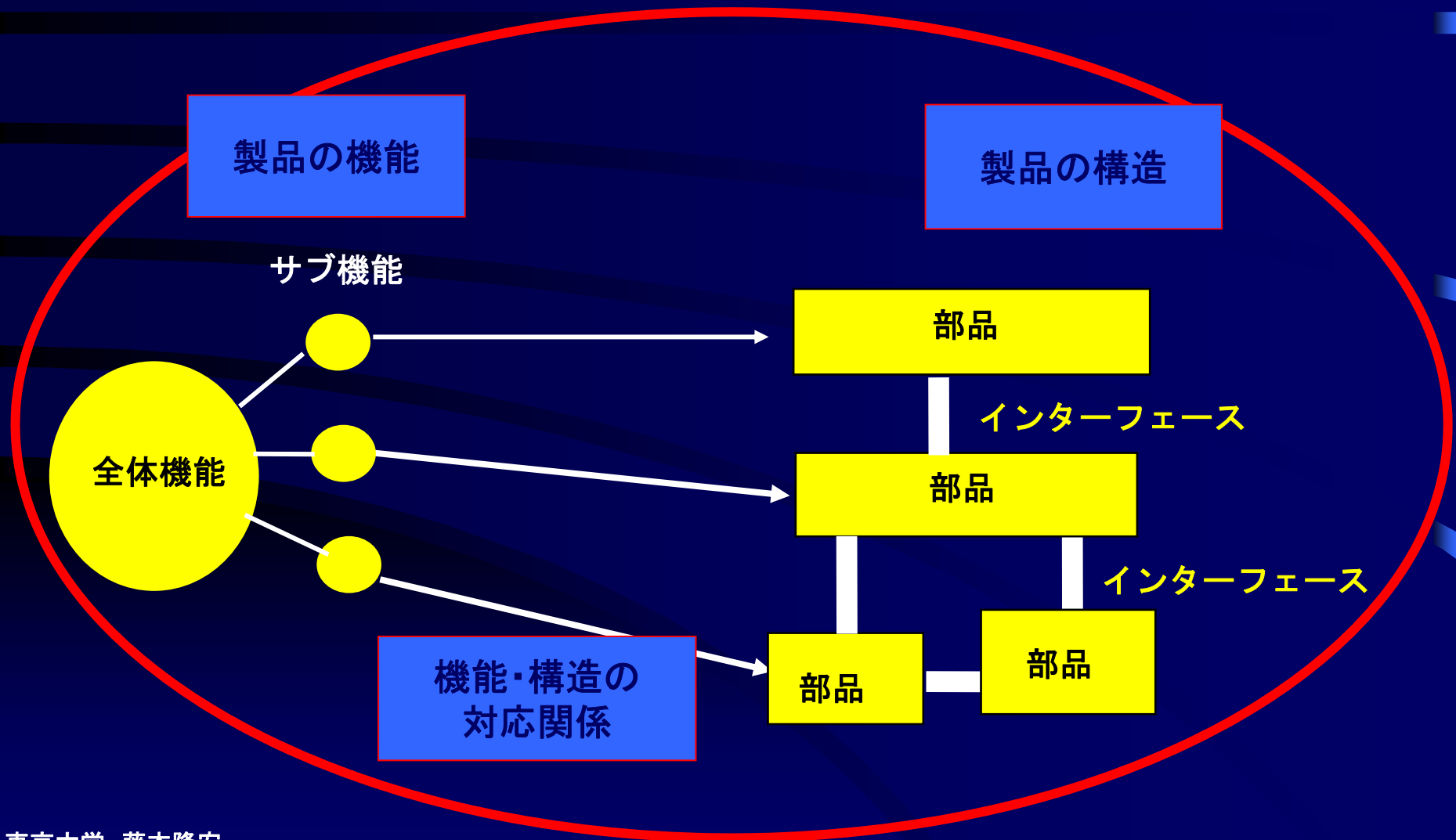
— 現場の組織能力に有った設計思想の選択 —

組織能力とアーキテクチャの動態適合



「設計者の発想」のことを「アーキテクチャ」という

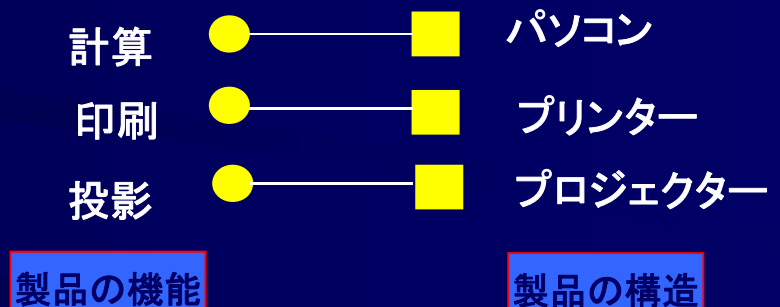
製品に要求される機能を、製品の各構造部分(部品)にどのように配分し、部品間のインターフェースをどのようにデザインするか、に関する、基本的な設計思想



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

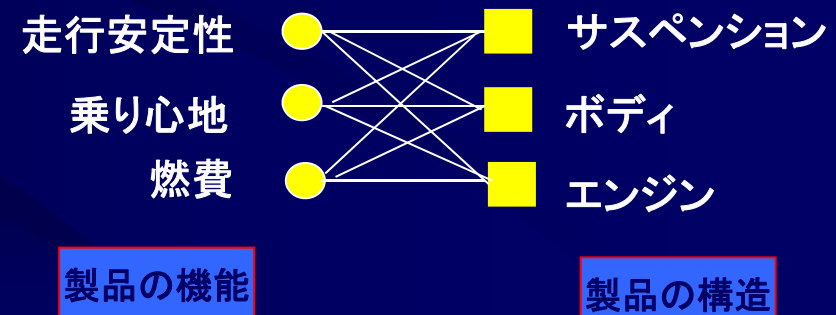
Modular Architecture モジュラー（組み合わせ）型

パソコンのシステム



Integral Architecture インテグラル（擦り合わせ）型

乗用車



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、

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

	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、

オープン・モジュラー型の製品(パソコンシステム)



	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(いろいろな会社の製品で使える)は50%以上

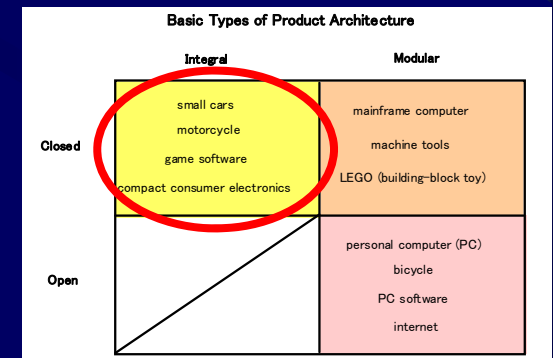
アーキテクチャ論で考えるなら、答えは・・・

(1)これは**モノコック式**（乗用車系；よりインテグラル）

（薄い鉄板を複雑に擦り合わせ設計して、全体で強度・剛性を出す）



・・・このタイプは**日本**企業が得意（ヨーロッパも）



(2) 実はこれもモノコック式 (乗用車系; よりインテグラル)

(一見トラック型だが、実は乗用車と同じ構造。薄い鉄板だけで出来ている)



...このタイプも日本企業が得意

Structure

Modular

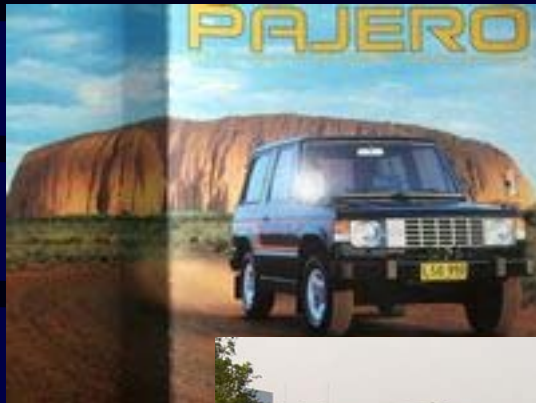
frame computer
machine tools
(building-block toy)

personal computer (PC)
bicycle
PC software
internet

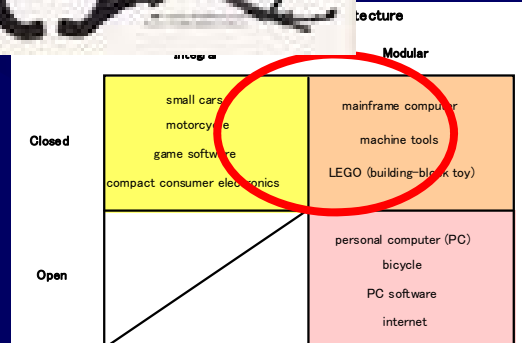
Open

しかしこれは**ボディ・オン・フレーム式**（トラック系；よりモジュラー）

（頑丈なハシゴ状の車台の上にシンプルなボディが乗っている）



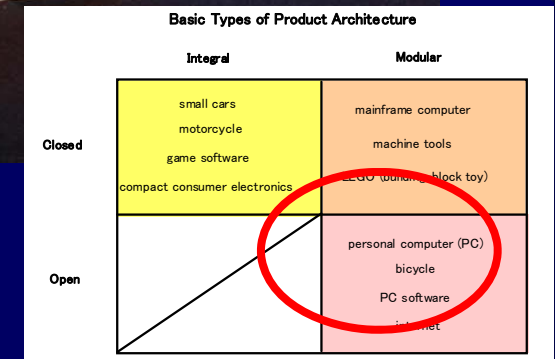
・・・このタイプは**アメリカ**企業が得意



中国地場企業の乗用車（擬似オープン・モジューラー寄り）



・・・ コピー・改造部品の寄せ集めに近い — 中国に多い

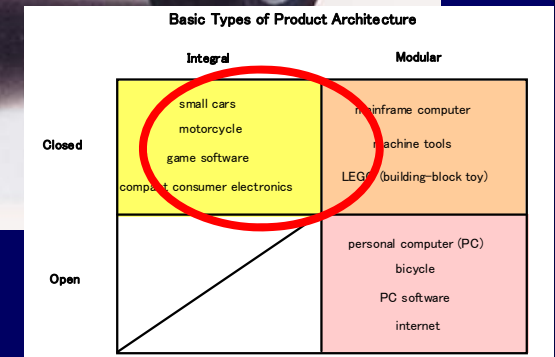


(2) 実はこれもモノコック式（乗用車系；よりインテグラル）

（一見トラックだが、実は乗用車と同じ構造。薄い鉄板だけで出来ている）



・・・このタイプも日本企業が得意

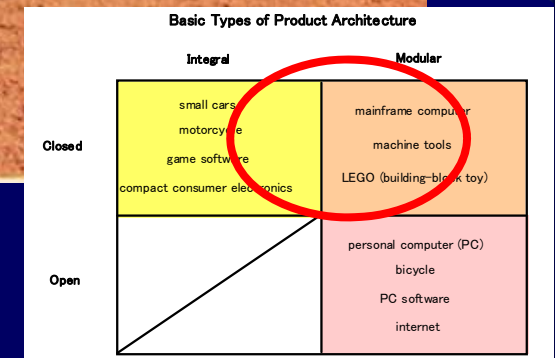


しかしこれは**ボディ・オン・フレーム式**（トラック系；よりモジュラー）

（頑丈なハシゴ状の車台の上にシンプルなボディが乗っている）



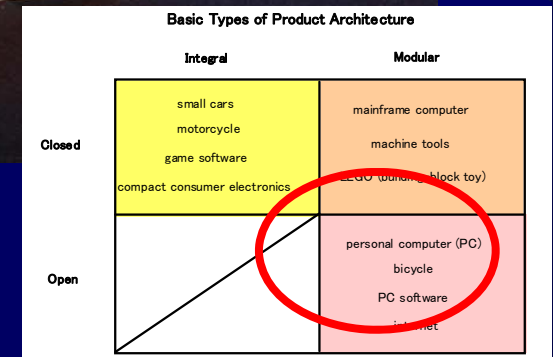
・・・このタイプは**アメリカ**企業が得意



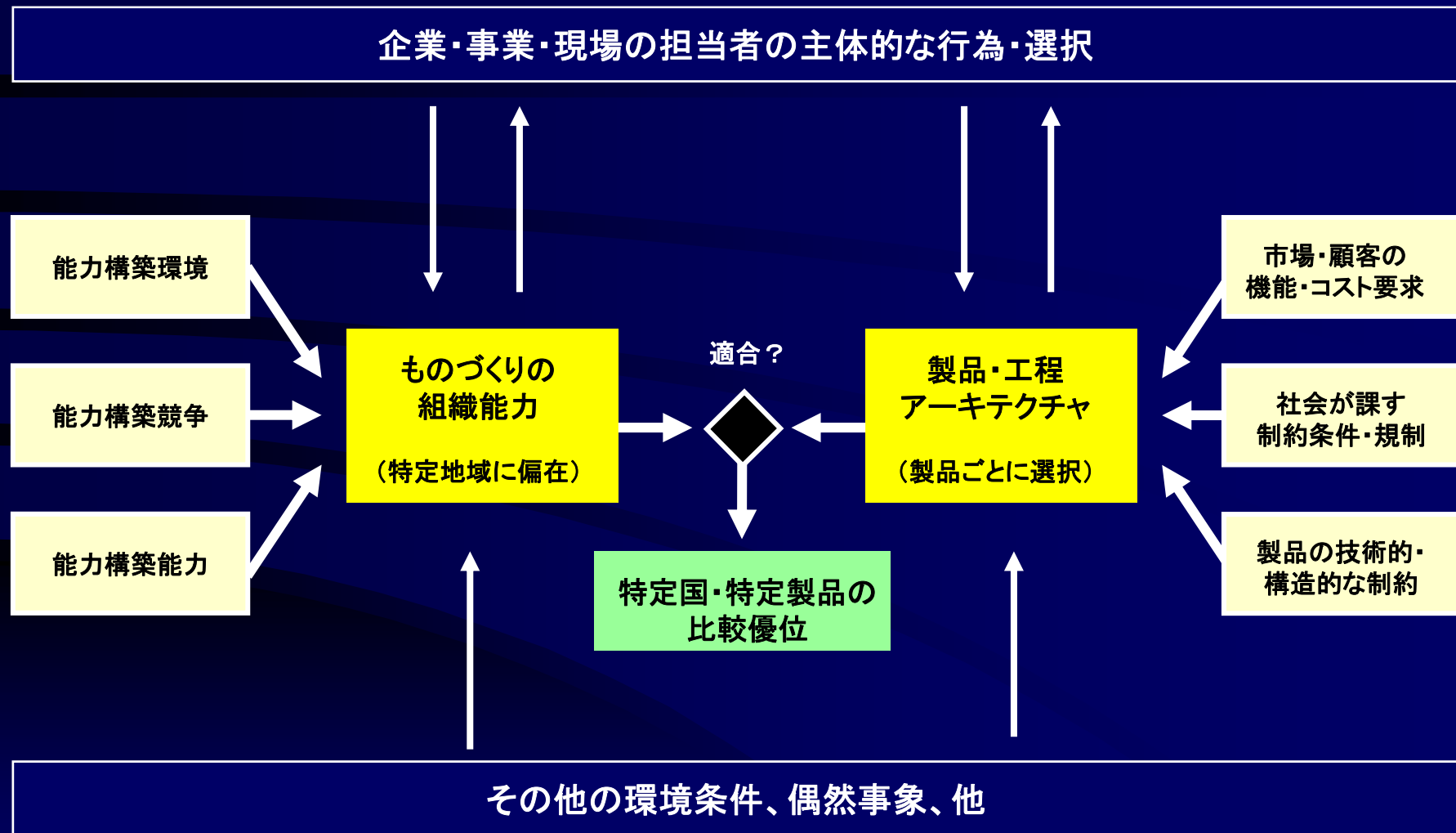
中国地場企業の乗用車（擬似オープン・モジュラー寄り）



・・・ コピー・改造部品の寄せ集めに近い — 中国に多い
しかし、最近は商品力・安全性などの向上も一部で。



枠組：組織能力とアーキテクチャの進化・適合仮説



アーキテクチャの戦略論と産業論

会社のものづくりの組織能力と、製品のアーキテクチャ特性との間には
ある種の「相性」がある

相性が良ければ、現場の国際競争力は強い傾向がある。

相が悪ければ、現場の国際競争力は弱い傾向がある。

(1) 戦略論・・個別企業の組織能力との相性をみる → 日本企業の競争力

(2) 産業論・・ある地域・産業に属する企業群が傾向として持つ

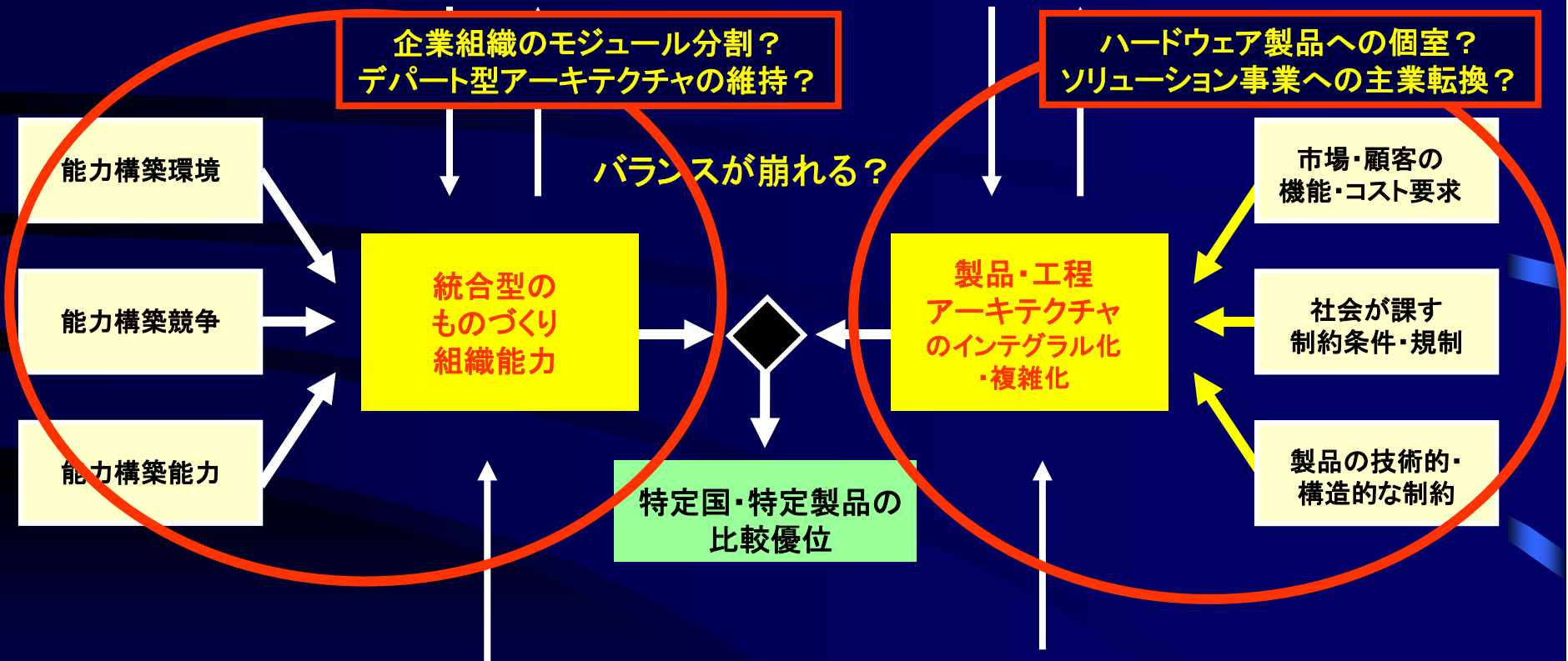
組織能力との相性をみる → 日本の産業競争力

応用1・・IBMの危機と復活

企業・事業・現場の担当者の主体的な行為・選択

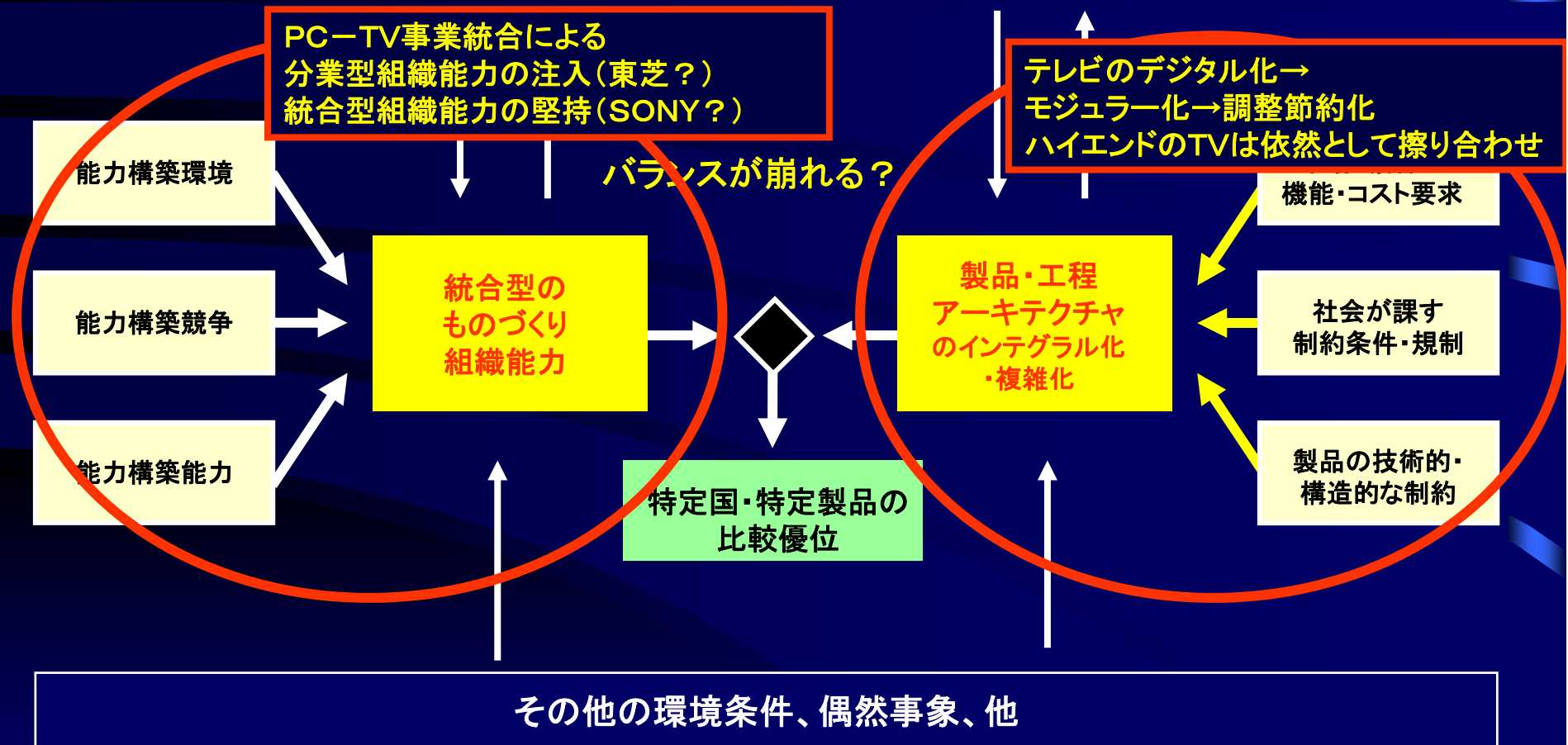
企業組織のモジュール分割？
デパート型アーキテクチャの維持？

ハードウェア製品への個室？
ソリューション事業への主業転換？



応用2・日本テレビ産業の危機と企業の方策

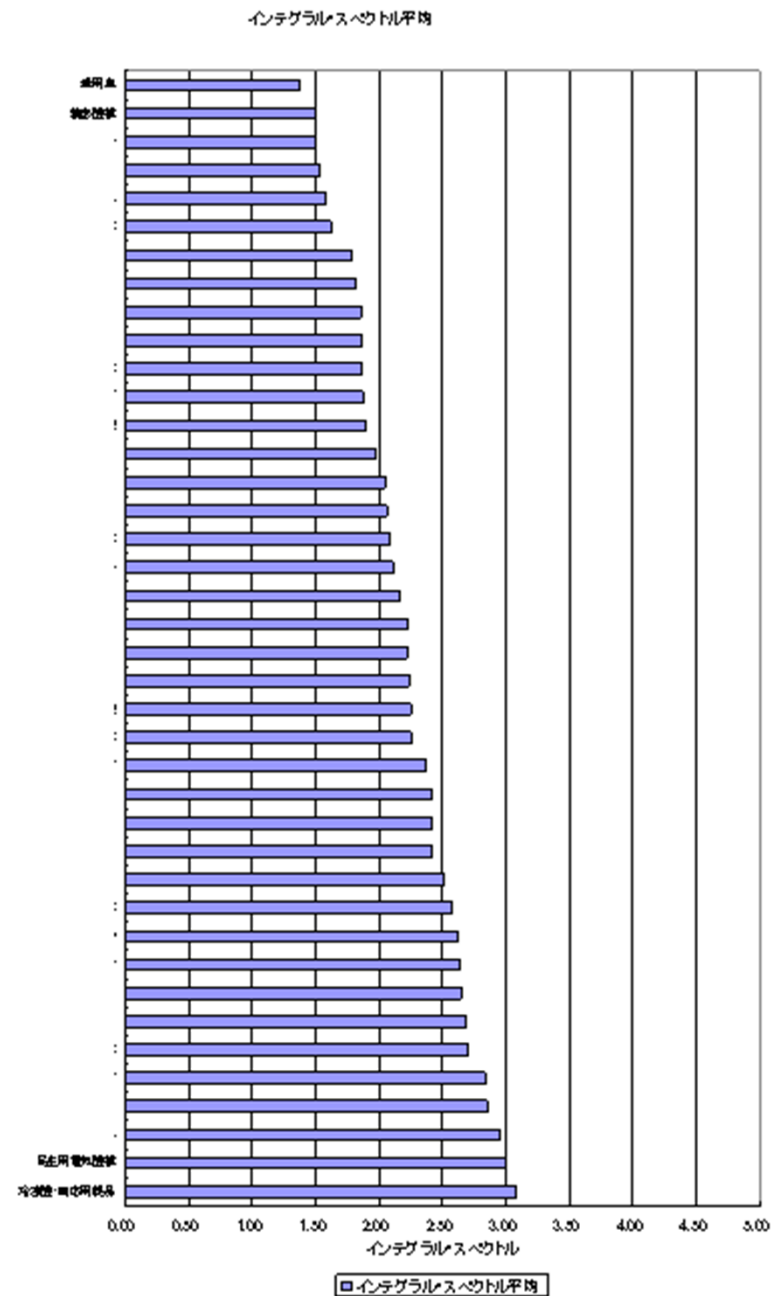
企業・事業・現場の担当者の主体的な行為・選択



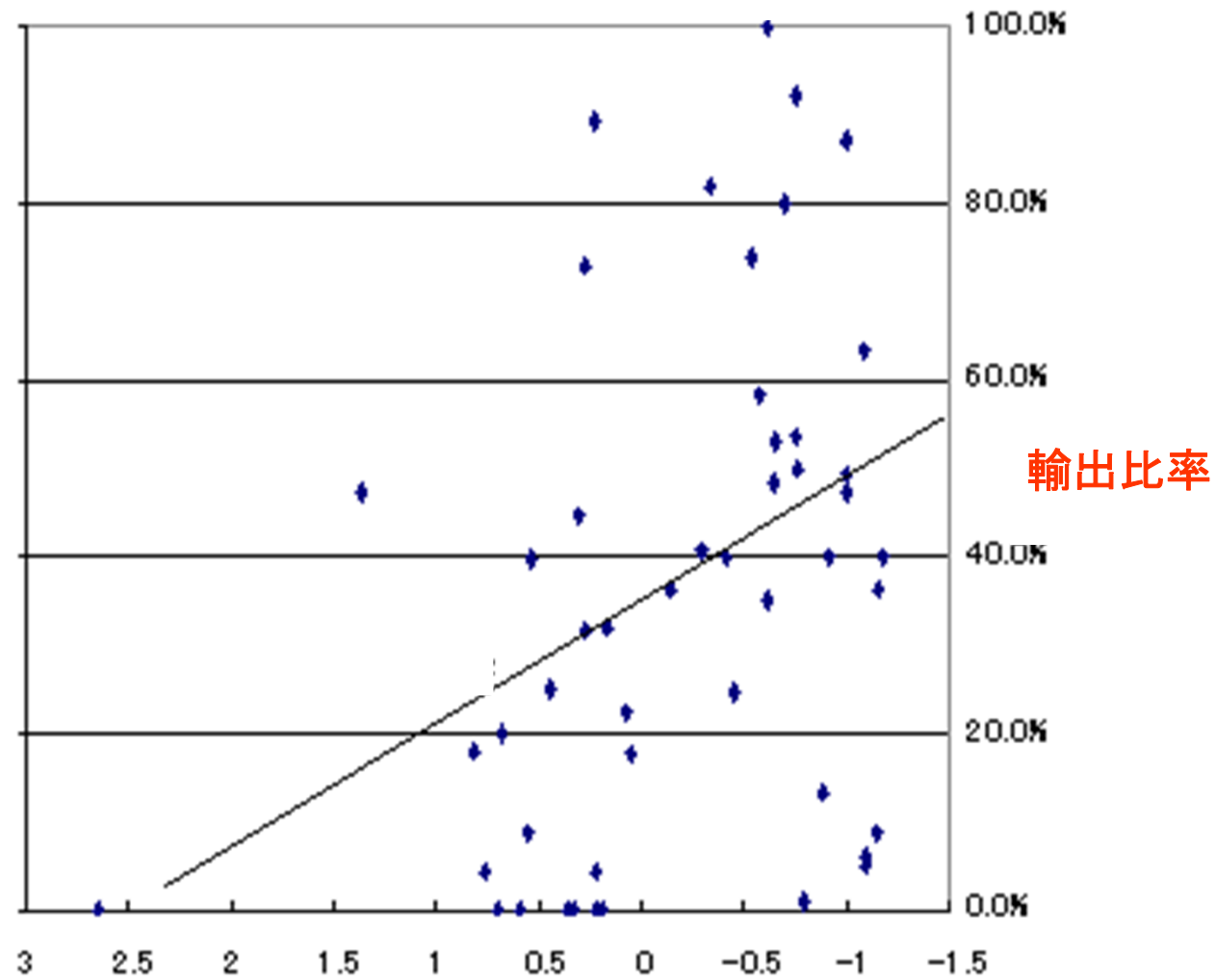
仮説：日本企業が強かった製品アーキテクチャ・・・ 「擦り合わせ」と「囲い込み」

	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)	日本企業の強かった分野？ 乗用車、オートバイ ゲームソフト、 軽薄短小家電、他	メインフレーム 工作機械 レゴ
オープン (業界標準)		米国(中国)企業が強い？ パソコン、同ソフト、 インターネット、 新金融商品、自転車、

製品のインテグラル度・モジュラー度の測定



日本企業は「擦り合わせ製品」で強い



仮説：得意アーキテクチャの「地政学」的な分布

歴史や初期条件の違いにより、
特定の組織能力が国ごとに偏在する傾向がある

→ 相性の良い「得意アーキテクチャ」が異なる

日本：統合力 → 擦り合わせ製品（オペレーション重視）

欧州：表現力 → 擦り合わせ製品（デザイン・ブランド重視）

アメリカ：構想力 → モジュラー製品（知識集約的）

韓国：集中力 → モジュラー製品（資本集約的）

中国：動員力 → モジュラー製品（労働集約的）

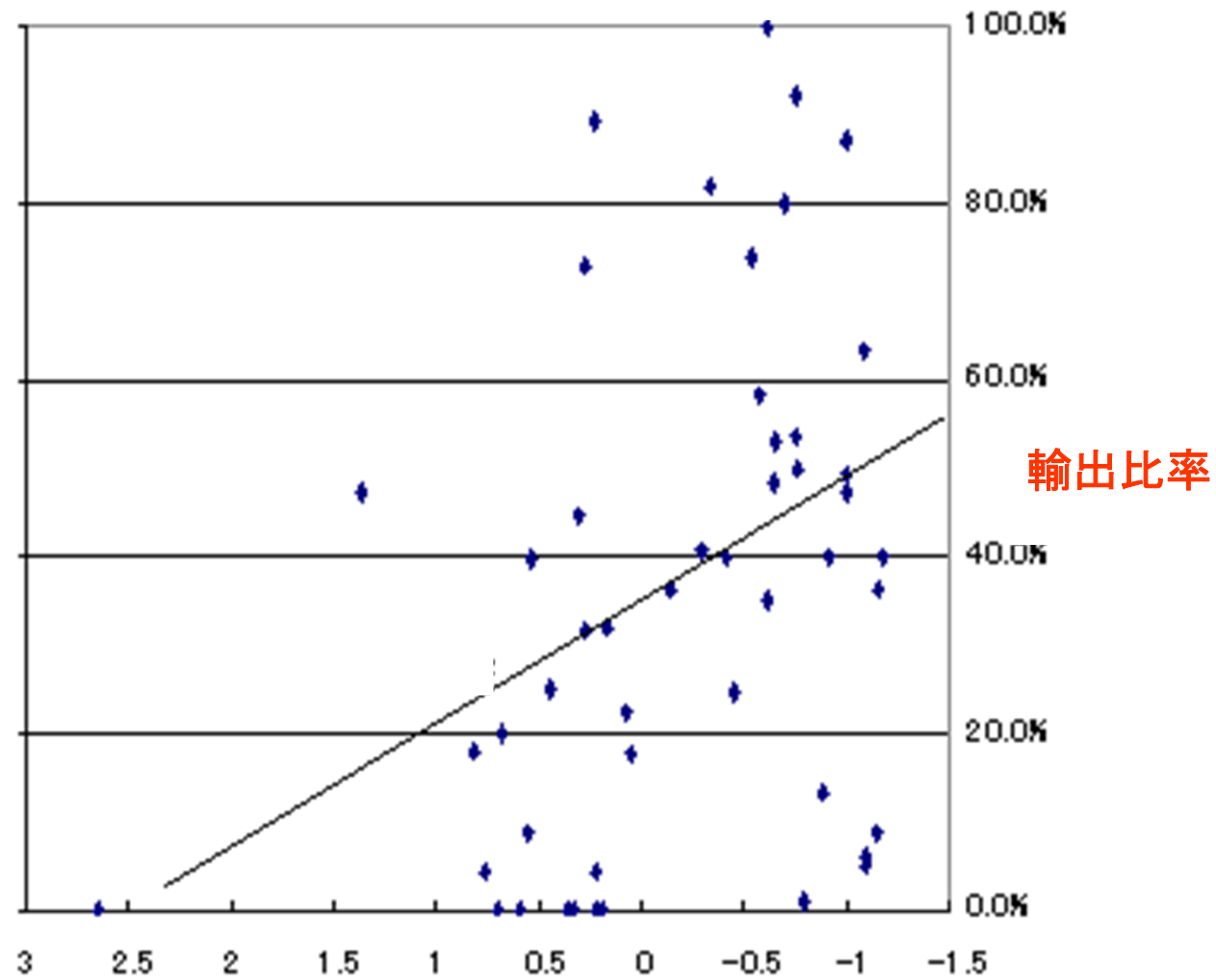
ASEAN：定着力？ → 労働集約的な擦り合わせ製品（中国と違う？）

台湾：転換力？ → モジュラーと擦り合わせの柔軟な切替・使い分け

環太平洋の競争優位：擦り合わせ軸とモジュラー軸



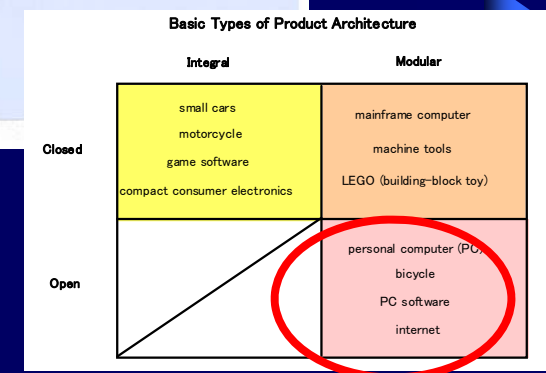
日本企業は「擦り合わせ製品」で強い



中国民族系のSUV(S-RV)



外観デザインは本田に類似(名前も)
しかし構造は全く異なる(後輪駆動・トラックフレーム)
トヨタと三菱のエンジンを搭載可能



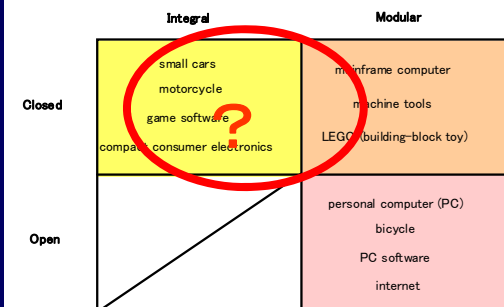
TATA NANO (インドの低価格車)

最低価格 = \$2500 (平均価格は3000ドル台?)



思いのほか、**インテグラル・アーキテクチャ**寄り
専用設計部品が多い .. T型フォードに近い?
中国ローカル系の低価格車とは設計思想が異なる!

Basic Types of Product Architecture



自動車の将来

— 21世紀前半はエンジンミックス多様化の時代 —

HV、EV論の前に考えておきたいこと

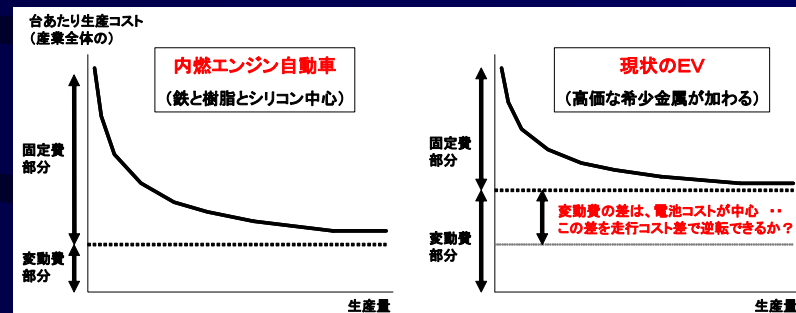
まず「あるべき姿」を

- ・ **あるべきクルマ社会**の姿が先。HV・EV・FCVはその手段に過ぎない。
- ・ 自動車は「**原罪**」を背負って生まれた製品。安全・環境問題の克服は永遠の課題。
- ・ 「**公共空間を高速移動する高額な重量物**」という宿命は、HVも、EVも、FCVも同じ。
 - ① **安全性**は一切妥協せず、際限なく高めていくしかない。
 - ② **排ガス対策**も、際限なく厳しくなっていく（1台あたりではかなり良くなったが・・・）
 - ③ **CO₂ 排出量**の削減・燃費向上も際限なく（油田から走行まで。クルマだけでは・・・）
 - ④ しかし、クルマとしての**利便性、快適性、楽しさ**を、できるだけ犠牲にせずに。
- ・ この基準を満たさないクルマを、速やかに**交替・退出**させることがポイント。奇策はない。
- ・ 様々な工夫をする結果、用途により「**エンジンミックスの多様化**」が進むのが21世紀前半か？

安直なEV待望論への疑問

地道に知恵を出さねばいけない

- 21世紀は、エンジンミックス多様化の時代。電気自動車の研究は絶対に必要だ。
 - ・ 雰囲気的「電気自動車待望論」は、全体観を欠く。楽観論はかえって幻滅を呼び危険。
- 総合効率(Well to Wheel)でみれば電気自動車のCO₂ 効果は絶対的ではない(早大・大聖教授)。
発電・送電のCO₂ 削減が一つの鍵 (火力発電効率化、送電網、原子力、風力、太陽光・・・)
- 2次電池電気自動車はエネルギーを閉じ込めて走る(トヨタ渡邊技監) → 高エネルギー密度の材料 → 高い材料費 → 高い変動費 → 量産効果に限界(100万台作っても・・・)



- ①波状的・画期的な電池イノベーション群が必要。リチウム以上に安くて高エネルギー密度の素材？
- ②あるいは利用モデルのイノベーション (5人でバッテリーをシェアすればハイブリッド並みに？)

電気自動車は、単体売りは限界あり。システム売りとしてのニッチ需要がまず先。
たとえばルート、地形が安定した用途、CO₂地域排出を絶対に無くしたい地域で。

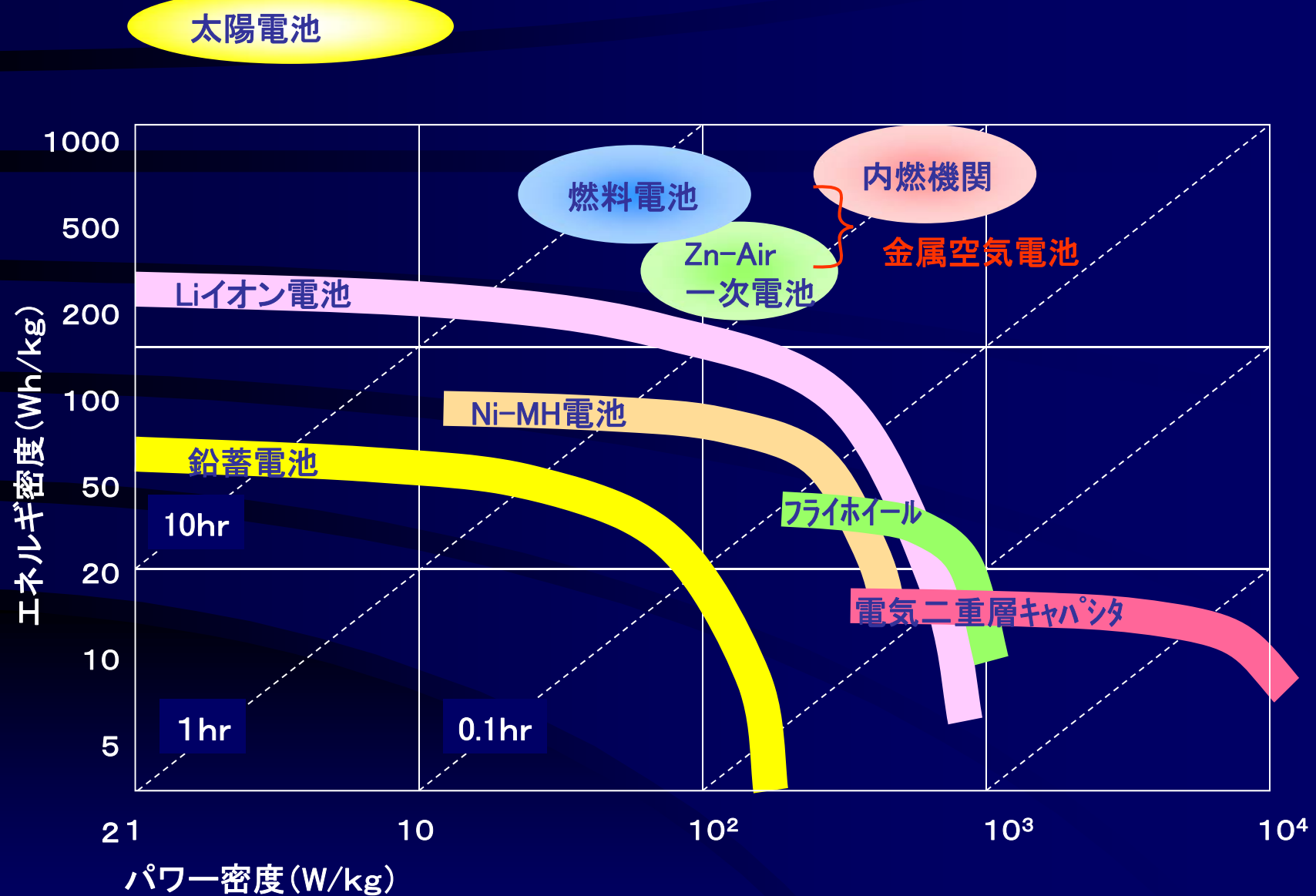
自動車を超えたシステム開発・システム販売の総合力が必要。
→ 企業連合体の総合力 + 国の適切な支援

EVの将来 .. ビジネスモデルの工夫が必要。単体よりシステム売り？

- ・ エネルギー密度の高いバッテリーは値段も高い。今はニッケル水素やリチウムイオン電池
- ・ 実用航続100km弱、重量200kg、バッテリーシステム価格200万円 ... この壁をどう克服？
- ・ エネルギー密度〇倍、コスト3分の1は2020年までに可能？可能ならEVの用途は増えるが ..
実用航続300km強、重量200kg、価格70万円超 ... これなら戦える？しかしそれはいつ？？
(1年に1万キロ走行するヘビー・ユーザーが5年乗って50万円ぐらいのコスト節約か)
- ・ しかし現状では、1人あたりのバッテリー保有量を数分の1以下に減らすしかない .. HVはこれ
- ・ 当面は、高稼働率・狭域・短距離の用途？(ルート安定なら非接触電源も)
 - ① タクシー、バス、宅配便車など、狭域・近距離用の営業車・業務車
区域限定のEVレンタカー(丸の内・大手町内・・など)
自然保護で売りたい観光地のレンタカー、タクシー等も有望
 - ② 自家用車的な用途では、カー・シェアリング、バッテリー・シェアリング
「自分のクルマ」が欲しいならバッテリー・シェアリング
業界標準バッテリー、電池交換技術、顧客ポートフォリオ作成技術などが必要。
総合的なシステム売りのための組織能力を要する。

EVを自家用で単体売りすることは当面難しい。EV単体の旧型車代替能力は、今はHVよりずっと低い。
→ ビジネスモデルの工夫、企業・自治体向けシステム売りの能力を！

2030年に2次電池のエネルギー密度を7倍にできるか？

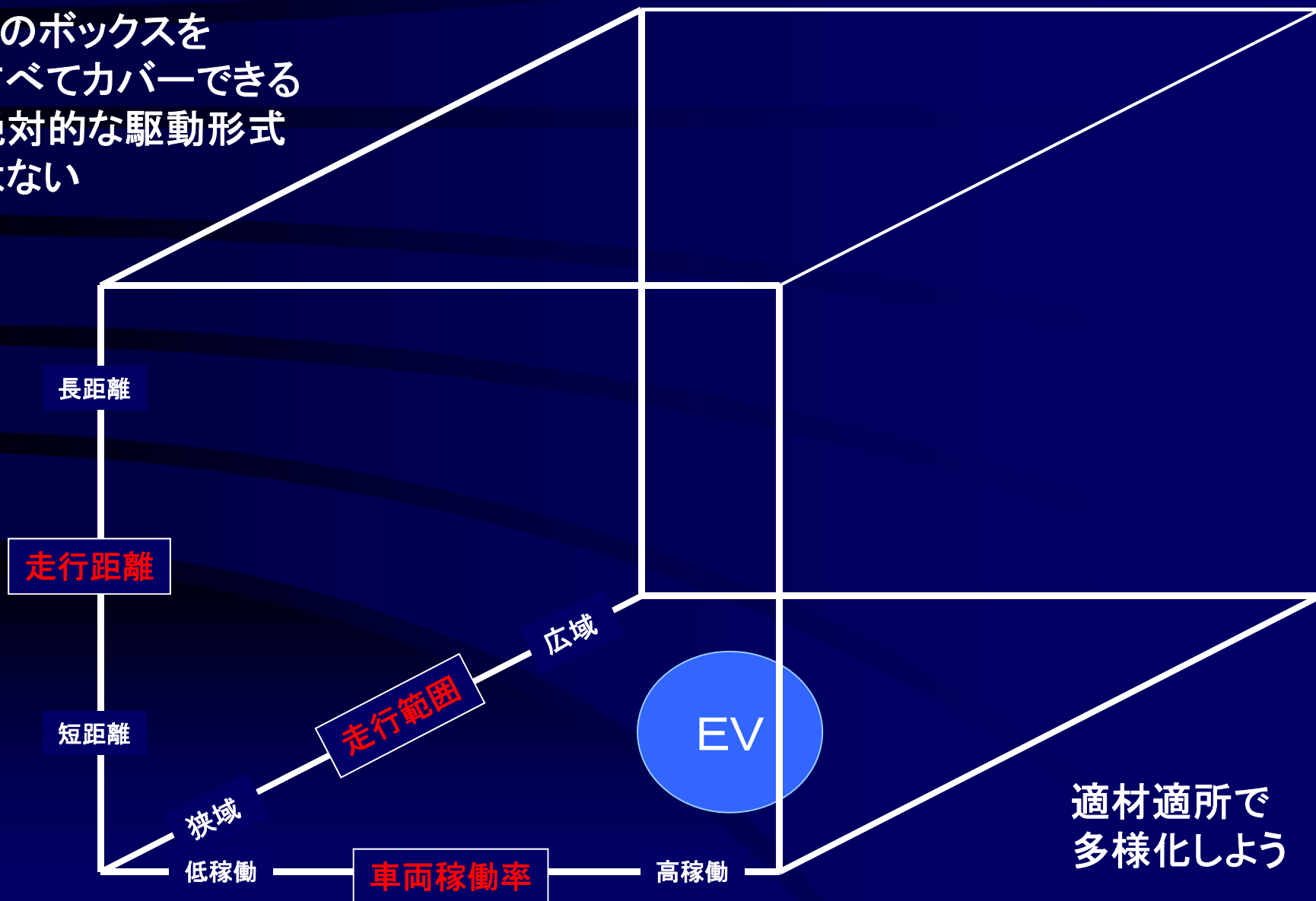


FCV .. 「自由移動車」として可能性あり あとはサイエンス・イノベーション？

- ・ EVと違い、エネルギーを供給しながら走る。 ... 自由移動車(広域・長航続)として、筋が良い。
(とくに大型商用車で効果的？)
- ・ 一方、内燃エンジンは持たない。水素で走る自家発電車。クルマからの発生は H_2O のみ。
- ・ しかし、「総合効率」の問題は残るので、幻想は禁物。水素は、水素生産の電力は、どう作る？
- ・ しかし、個人に炭素C(ガソリンや軽油)を扱わせると、運転次第で、思わぬ CO_2 増加につながる。
- ・ よって、個人が水素(H_2)を買って使い、企業が水素(H_2)を作る、という水素インフラは、筋が良い。
(個人にCを持たせない)
- ・ H はたいてい C とくっついている。いかに CO_2 の地上発生量を抑えつつ、H を取り出すか？
(Hに対しCの少ないエタノール、メタン等、; Cの直接固定; CO_2 の地中埋蔵 .. ?)
- ・ 問題は車両価格。今は問題外？ 「希少金属の制約」、「変動費の壁」は、EV以上か。
→ よって、当面は、公共向けのシステム売りから始めるしかない？ 長い目で見よう
- ・ 一方、イノベーションによる、コスト・パフォーマンスの「伸び代」は、EV 以上にある？
- ・ FCV単体の、自家用車としての実力は、地道なサイエンス・イノベーションにかかっている。

21世紀前半はエンジン・ミックスの多様化の時代

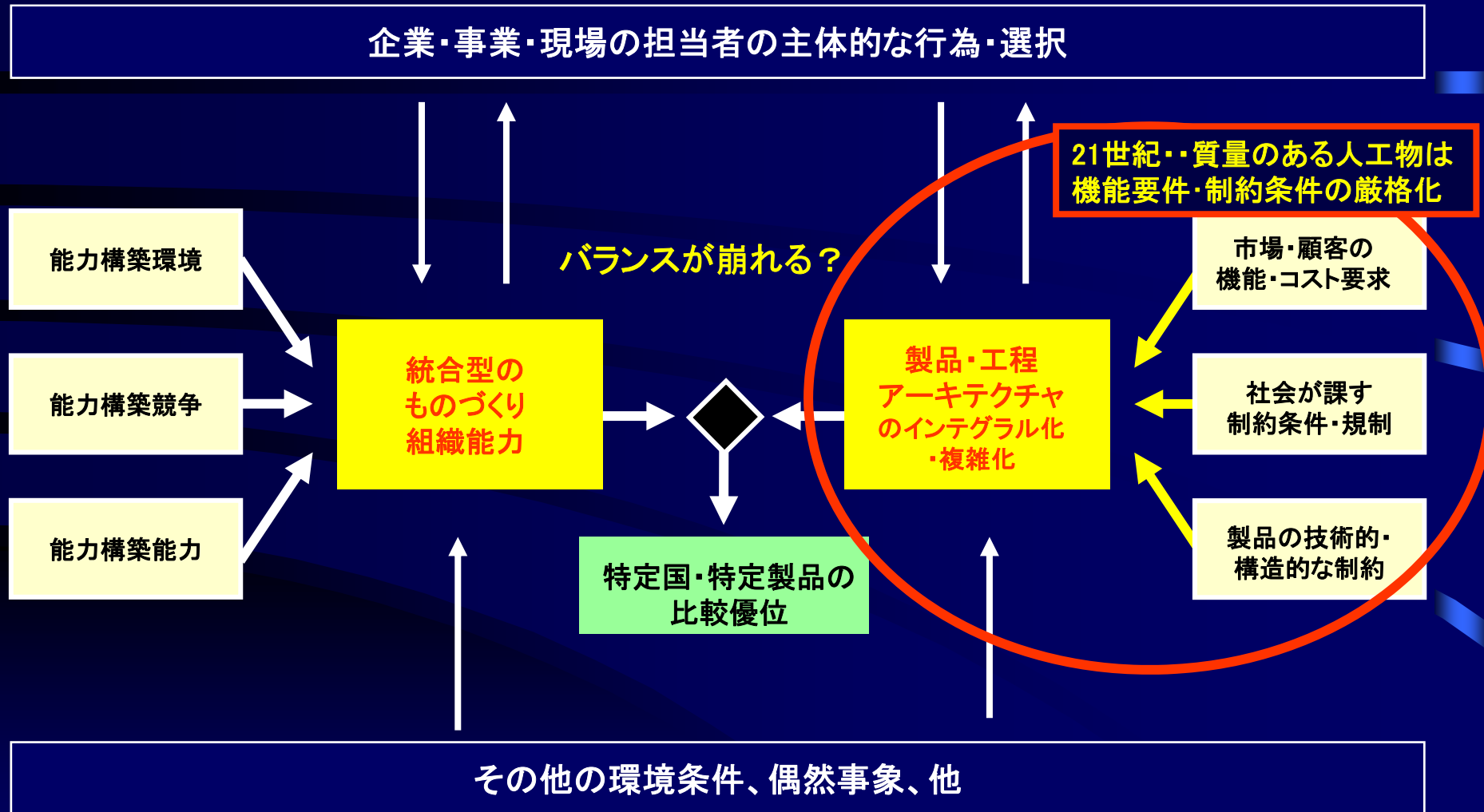
このボックスを
すべてカバーできる
絶対的な駆動形式
はない



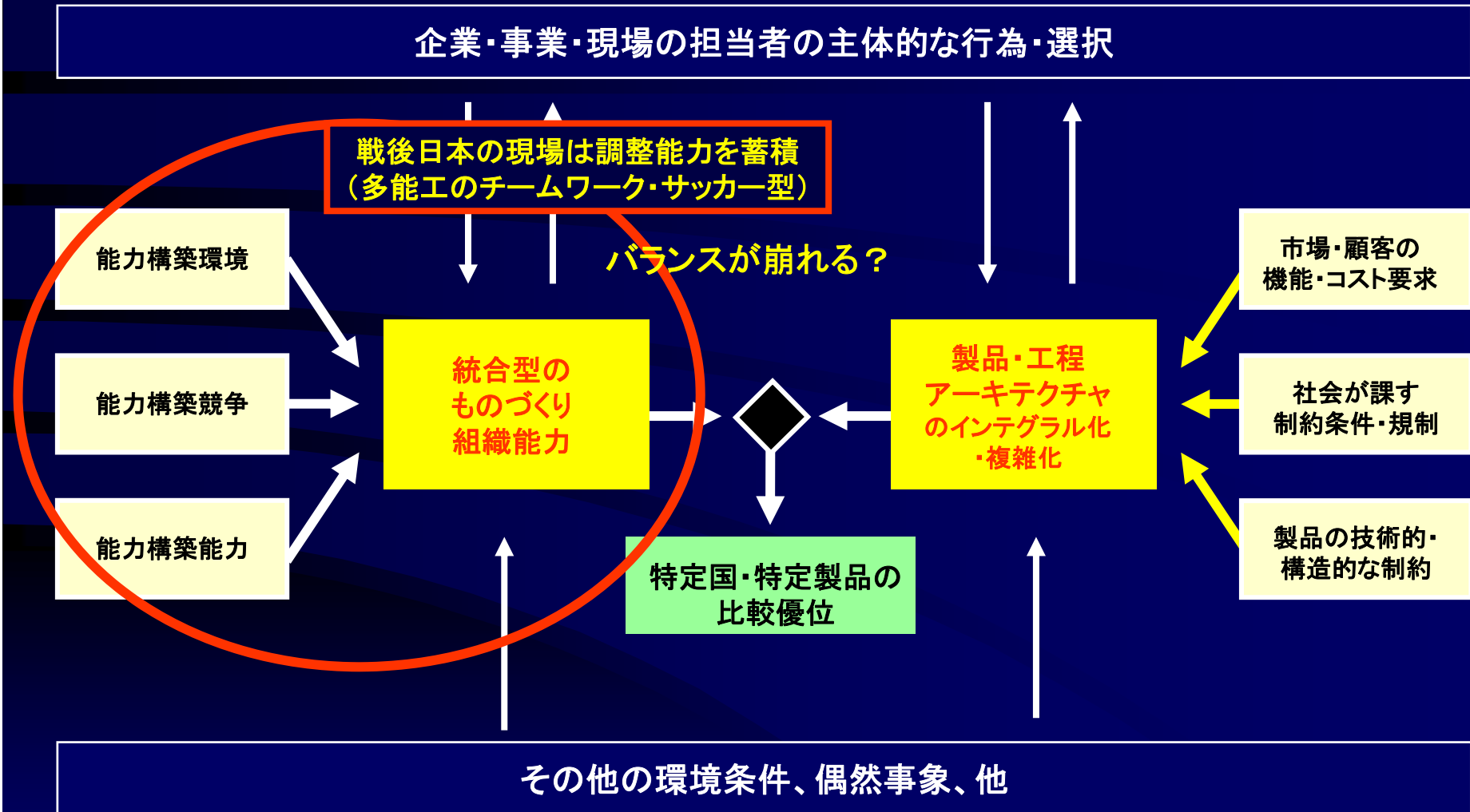
能力構築とアーキテクチャ選択

— 現場・現物発想でぶれのない産業分析を—

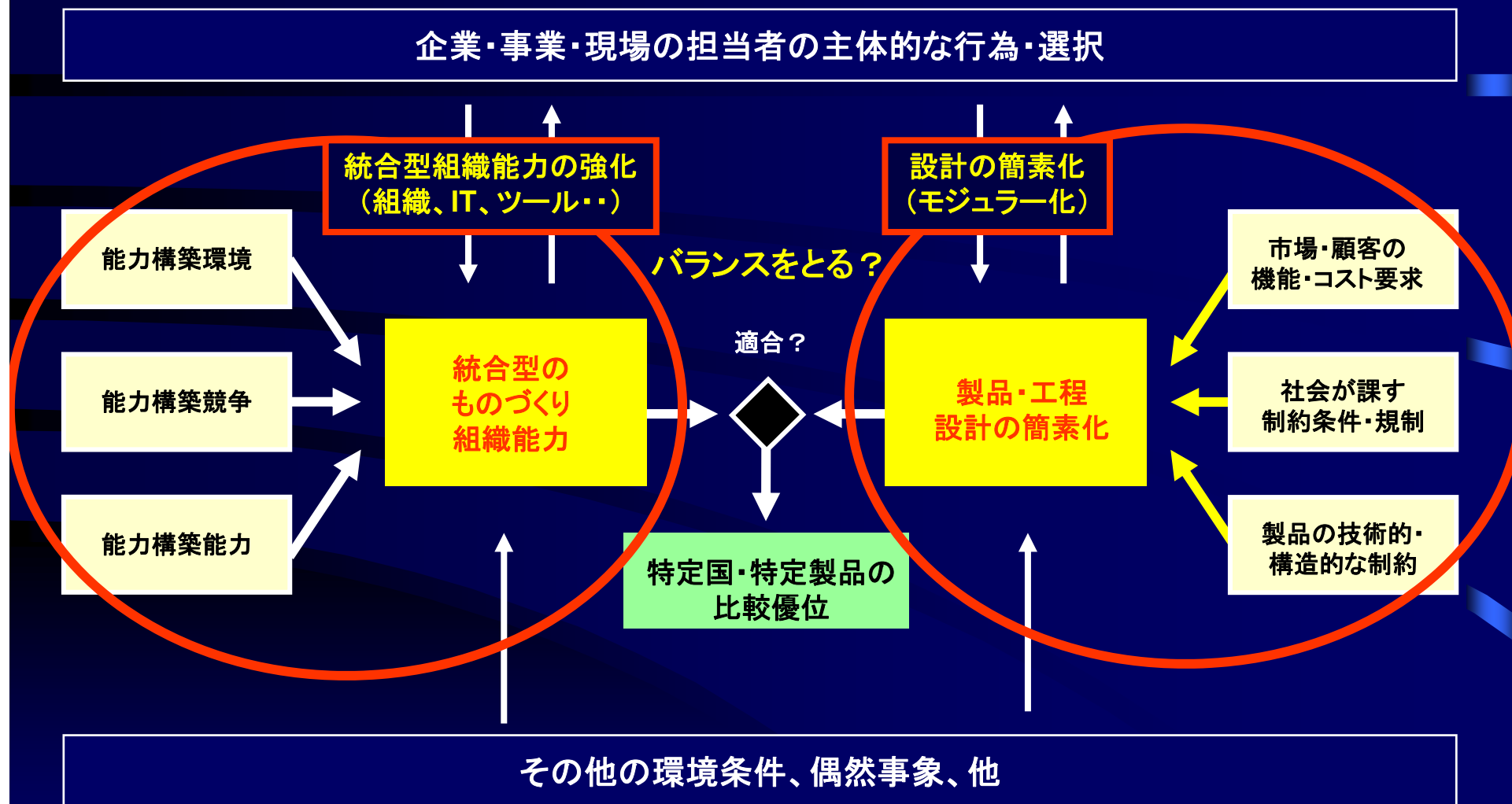
複雑化(調整集約化)の諸要因と結果



日本には歴史的な理由で調整能力が蓄積された



複雑化に対する対策(能力強化、製品簡素化)



人工物複雑化に対する企業の対応

「製品＝人工物」の複雑化に対して、企業は複数の補完的なアプローチで対応

①製品アーキテクチャのモジュラー化

・しかし、何らかの理由で徹底したモジュラー化が難しい製品の場合

②実物試作により機能検証を行う試行錯誤的な製品開発の能力を高める

③開発支援IT(e.g. 3次元メカCAD)を活用した試行錯誤的なデジタル開発

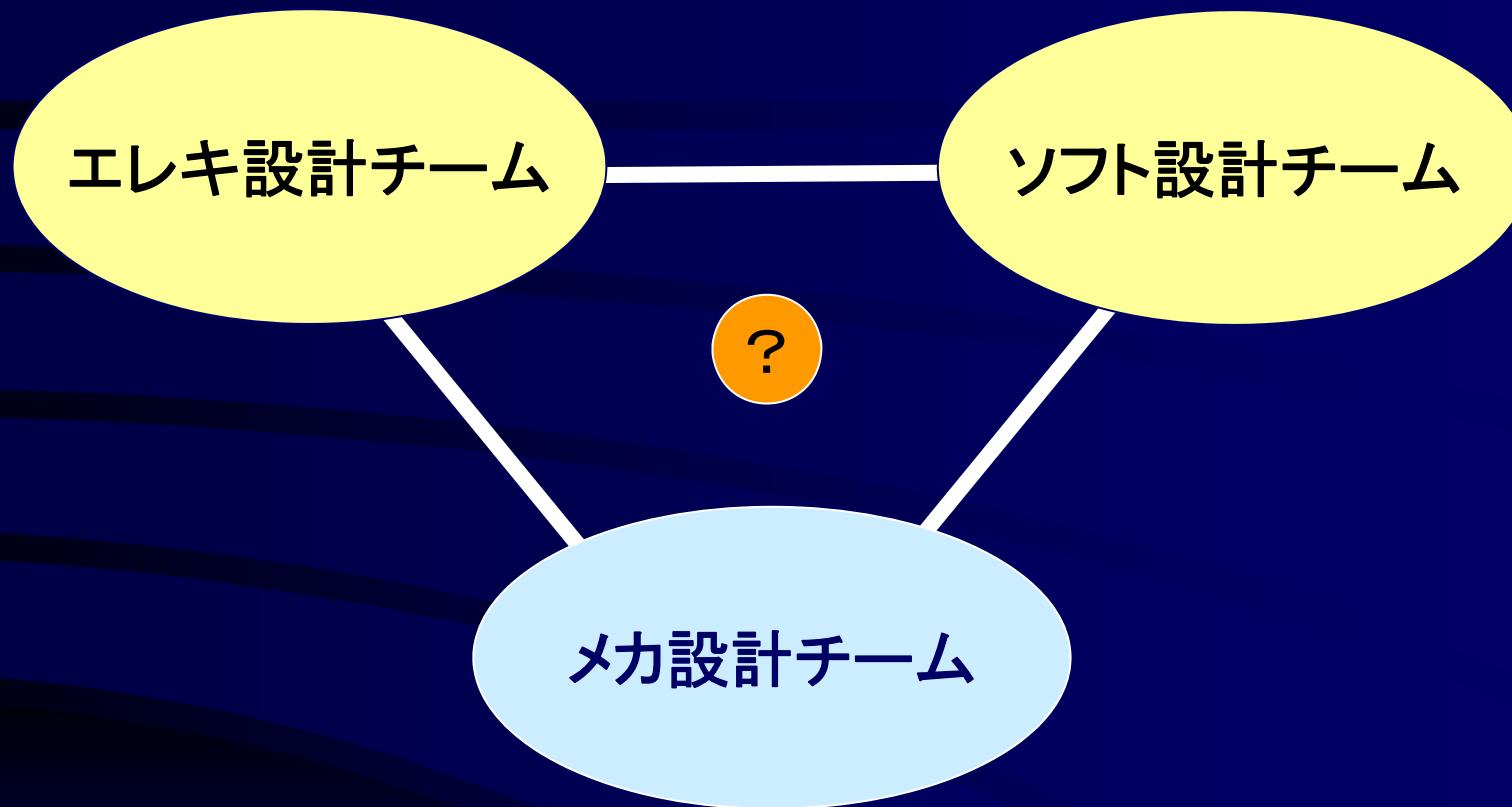
④機能のばらつきが少ない構造設計を効率的に探索する品質工学

⑤リアルタイムで目標機能の実現を保証する電子制御系

⑥電子制御系の複雑化に対応する電気設計(エレキ)系のCAD

⑦組み込みソフトウェアの設計を支援するモデル・ベース開発、他

メカ・エレキ・ソフト設計の融合化



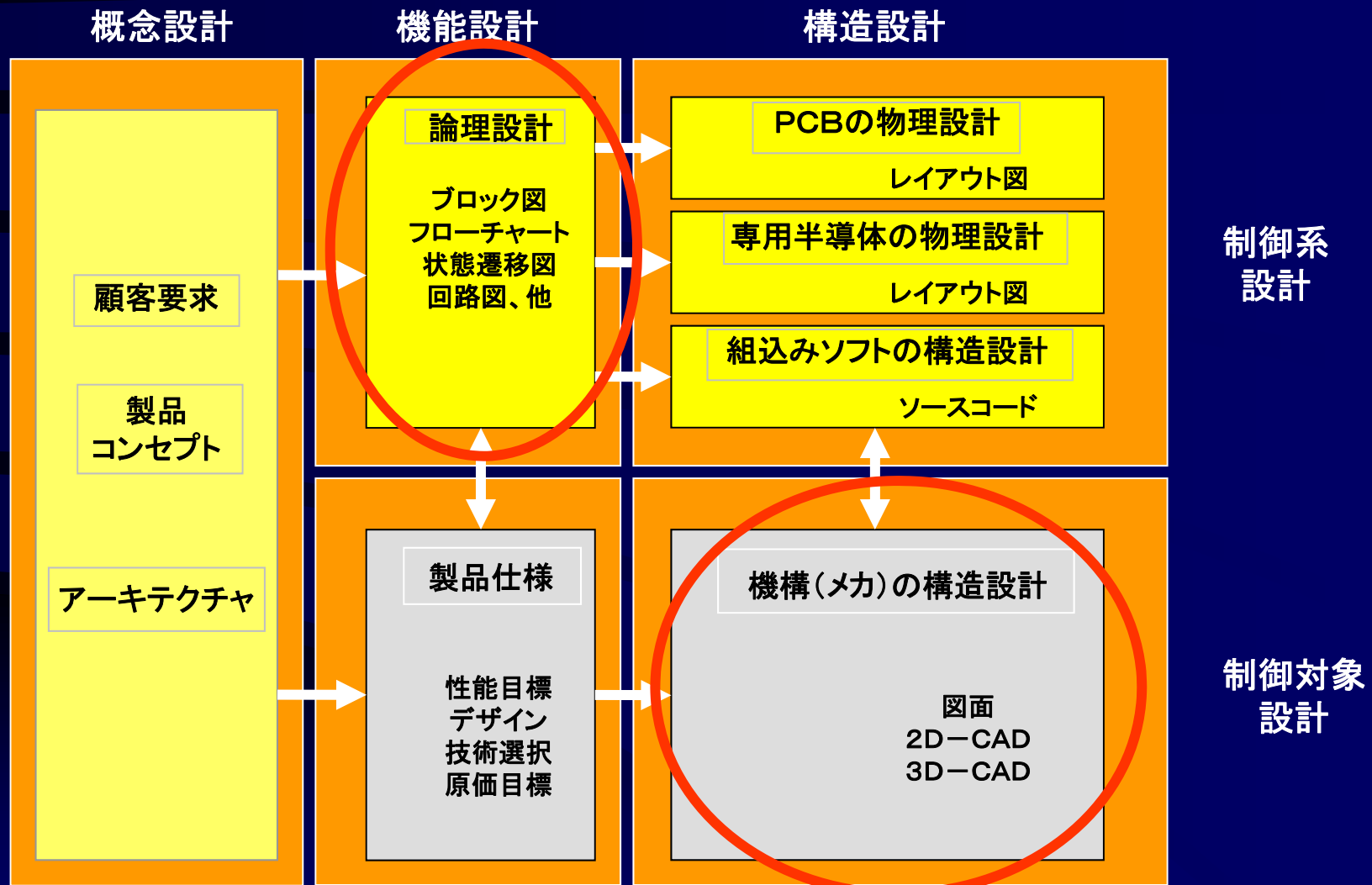
制御系の複雑化 …… メカ・エレキ・ソフト設計チームの連携は必須

しかし …… メカ・エレキ・ソフト内部の連携は良いが、チーム間は？

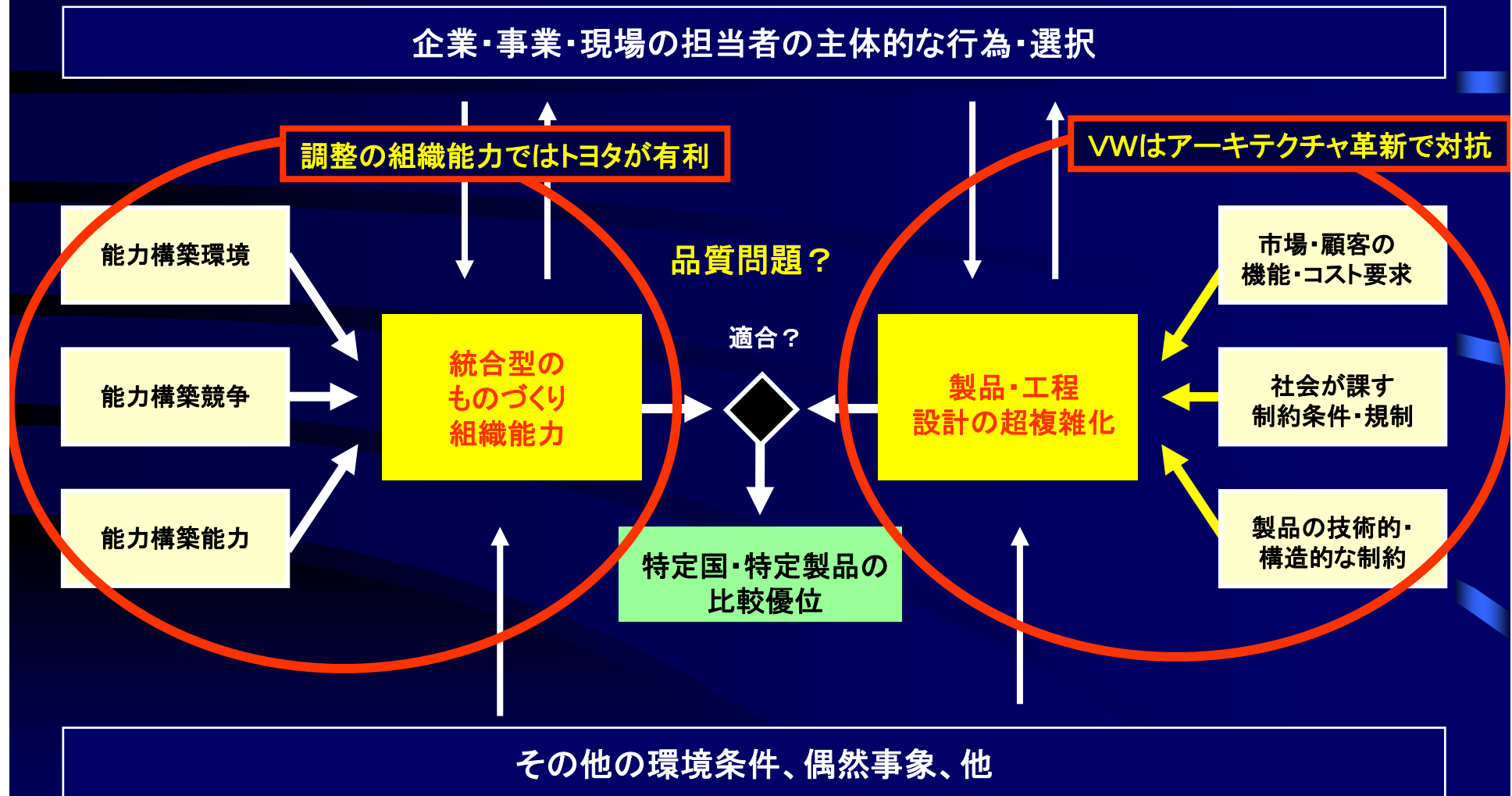
小括

- ・自動車は、「制御されるもの」から「制御するもの」に徐々に移行しつつある。それにしたがって、**制御系の設計**である**エレキ・メカ設計**の比重が高まっている。
- ・しかし、自動車の製品開発プロセスは、**制御対象(被制御系)**である**メカ設計**が主流であり、全体の開発日程も、メカの設計思想を暗黙の前提にしているように見える。
- ・**制御系の設計**である**エレキ・ソフト設計**は、制御対象の操作と動作(つまり機能)を設計者の意図通りに達成することを重視するので、必然的に、**機能設計(論理設計)**を**精密**に行う必要がある。他方、制御対象の**構造設計**は、**関数表現**($y=f(x)$)で**抽象的に**記述すればよいと考える。つまり**機能設計重視・論理設計重視**の風土がある。
- ・これに対し、**被制御系の設計**である**メカ設計**においては、機能設計は要求仕様の指示であり、それは総花的でなく、シンプルで要点を絞り込んだものが良いとされる。他方、**構造設計(図面、3D-CAD、実物試作など)**は、**精密な形状表現**として行うことを指向する。詳細な構造設計ができれば、機能検証は、逆機能検証も含めて事後的にできる、という発想がある。つまり、**構造設計重視・物理設計重視**の風土がある。
- ・このように、自動車の制御系(エレキ・ソフト)と被制御系(メカ)は**設計風土**が違い、それが開発手順のずれに反映する。このプロセスの違いを、**設計風土・設計思想に遡って融合**させるかが課題。特に、制御系の論理設計を充実させることがポイント。一部では既に動きがある(モデルベース開発、トヨタの設計標準全面改訂など)。

メカ・エレキ・ソフトの設計体系



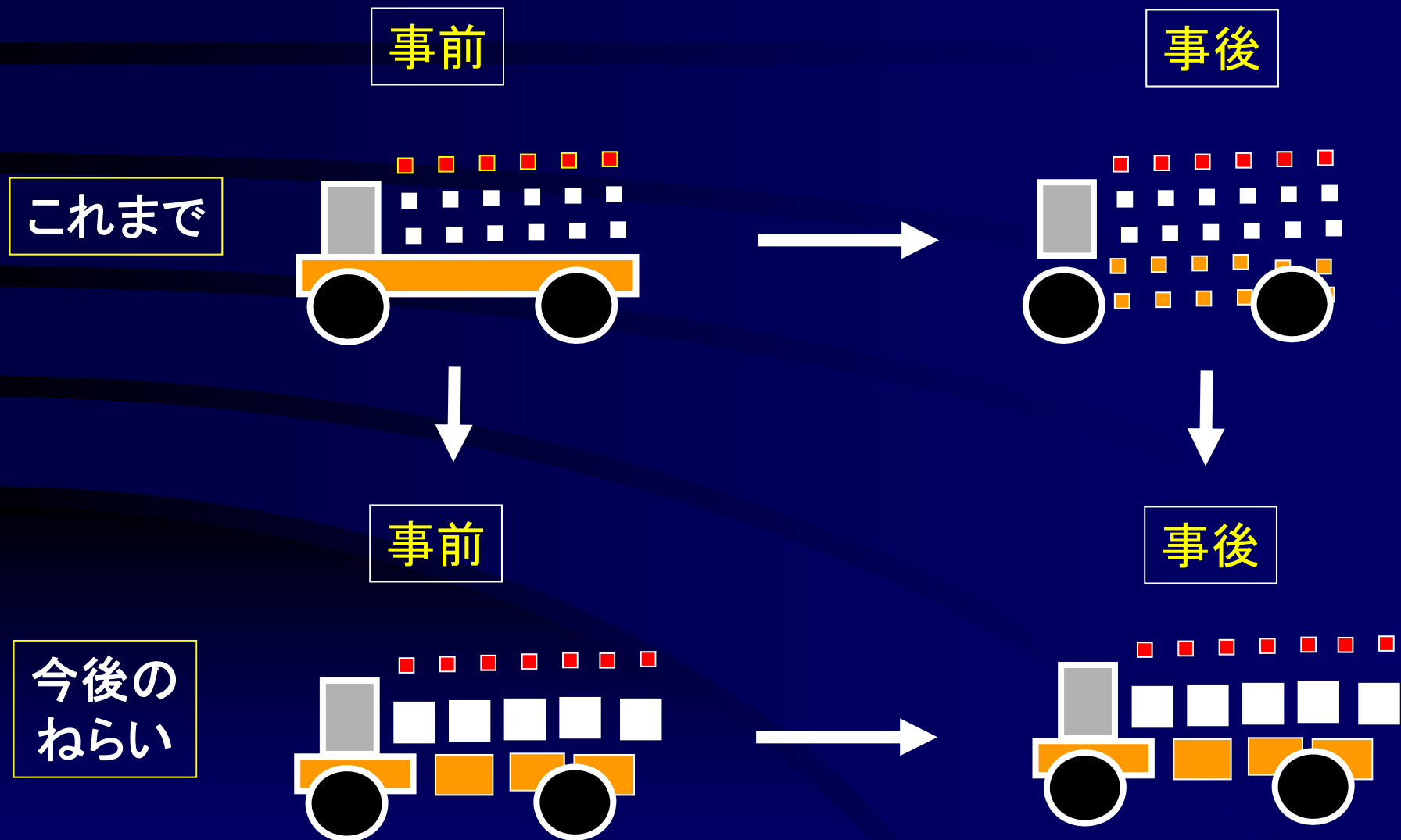
応用4 ・・ VWのアーキテクチャ戦略と日本企業



最近の自動車モジュール化論の混乱

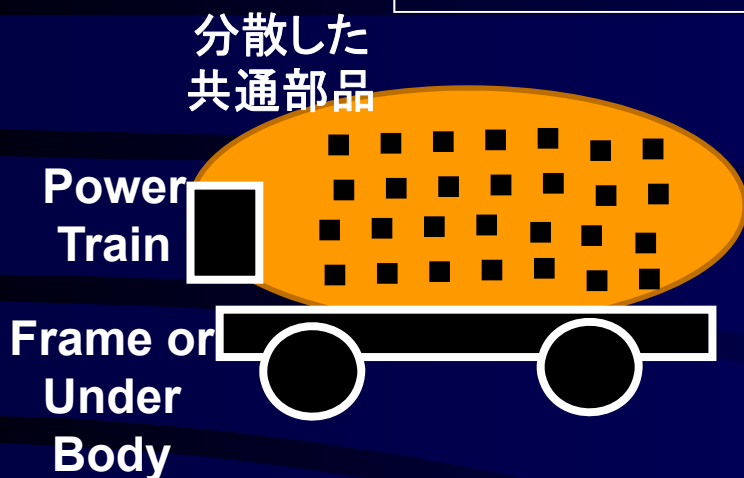
- ・ そもそも**単純なモジュール化ではない**。複雑な設計の動き。高機能と製品多様性を維持しながら、いかにコストを下げるか。非常に高度な設計術である。パソコンと自動車の本質的な区別が付かないような議論(モジュール化→パソコン化→自動車産業構造の大転換)は混乱しており論外。「**重量1トン、時速100キロで公共空間を走る人工物**」と「**質量のない電子と論理で動く人工物**」の根本的な違いを認識せよ。
- ・ ①アンダーボディ、②アッパー意匠部品(とくに外装)、③アッパー機能部品
- ・ アンダーはむしろ分解。**事前アーキテクチャはむしろインテグラル化**。しかし、**事後アーキテクチャ**はモジュラー化しているのかもしれない。いずれにせよ、「モジュール戦略」という表面の言葉で間違えてはいけない。アッパー意匠部品はインテグラルなまま。アッパー機能部品は粒度を大きくして共通モジュール化している。**部位により動きは複雑**。
- ・ **VWはサイエンス指向(ドイツ企業の伝統)**。魚への包丁の入れ方が分かっている。ミュンヘン大教授など科学者のブレインあり。「**可変部分の海**」と「**不変部分の島**」の仕分けが巧み?
- ・ 日本企業の「**大部屋試行錯誤方式**」は、基本的に適度に複雑な擦りあわせ製品に強いが、車がさらに複雑化して**科学的要素**が大きくなると、ひっくりかえされるおそれがある(半導体露光装置のASML)。

自動車のアーキテクチャ変化は複雑

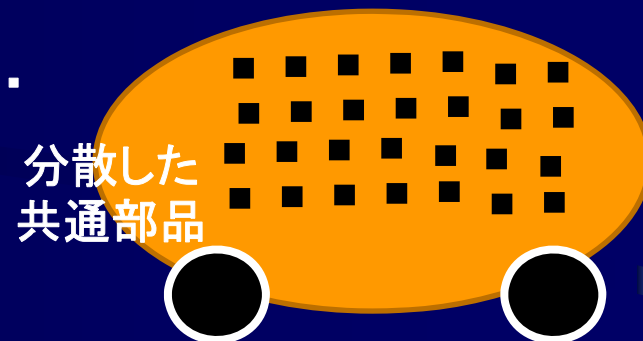


不変部分(共通部品)と可変部分(専用部品)を どの粒度でどう配置するか

伝統的な共通化政策(事前)



または..



VWらの考えるモジュール化政策？



アーキテクチャから理詰めで考える設計手順

- ① 顧客ニーズ・社会制約・技術制約の情報から出発（品質機能展開：QFD）
- ② その製品の機能要素群（性能目標）と構造要素群（部品の設計パラメータ）を特定
- ③ 機能・構造分析により、アーキテクチャを設計
- ④ アーキテクチャ（機能構造関係）に基づき各部品・モジュールのインターフェースを設計
- ⑤ 製品群間で共有できる共通モジュールの本体設計（一括企画）
- ⑥ 以上を前提にした個別製品（製品特殊部品も含む）の設計開発

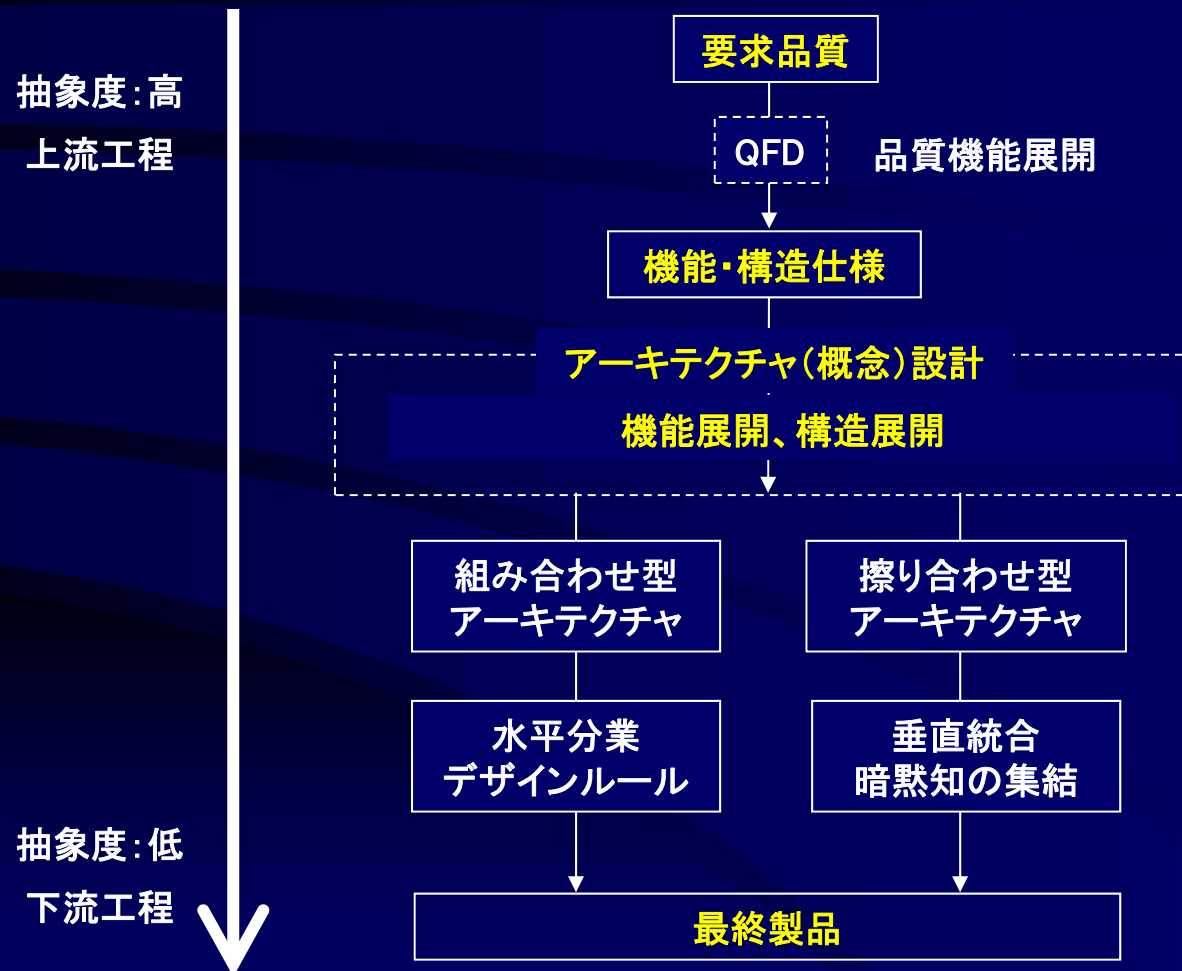
ミッドフィルダー重視型の試合運び（VWなどが得意） ⇔ フォワード（CE）重視のトヨタ
アーキテクチャ設計者→インターフェース設計者→モジュール設計者→製品設計者の階層
優秀な若手を個別製品開発のリーダーに抜擢

強みは高機能製品の多機種急速展開力

しかし、共通モジュールが陳腐化し流用困難になると窮地に。

アーキテクチャ設計から詳細設計へ

- ・設計とは、要求品質の抽象度を順次下げ、モノに転写してゆく行為である(廣田)。
- ・アーキテクチャ(概念)設計と詳細設計の2段階の設計が通常必要である(廣田)。



自動車産業の風景・複雑化とシンプル化の錯綜

- ・ リーマンショックによる米国市場の急縮小で、複雑な擦り合わせ型製品が得意だった**トヨタ、ホンダ**などが一番落ち込んだ。トヨタが複雑化に対応しきれずリコール問題。つまり、過剰複雑化と複雑化対応不足が同時に起こり、トヨタなどに逆風。しかし、米国市場の回復と共に、徐々に復活。
- ・ いち早くシンプルな車の増産に入った**日産**は比較的早く回復。しかし米国市場の回復局面では苦戦。
- ・ ウォン安とシンプルな車作り、大胆な新興国戦略(例:ブラジルの新聞広告)で快調だった**現代自動車**。エクステリア・デザインとボディ・シャシーの商品力が飛躍的に向上。しかし新世代パワートレイン、国内労使関係に弱点。ウォン高、低成長化でやや逆風も。
- ・ **VW**は、高機能な車を比較的大きな**機能モジュール**で構成するサイエンスに強い。アンダーはむしろプラットフォーム概念を縮小化。上もの機能部品は大型モジュール化。上もの意匠部品は大型モジュール化。「**アーキテクチャ設計→インターフェース設計→モジュール本体設計→車両設計**」と理詰め。
- ・ しかし、トヨタ等も反転攻勢。弱みの消しこみと再拡大。短期の結果だけ見ても、本質的な流れは見えてこない。

日本企業の両面戦略：本体は高機能領域に残し、別働隊が シンプル・モジュラー製品（ボリュームゾーン）を攻める

高性能・高価格
(インテグラル型)

低性能・低価格
(モジュラー型)

①製深刻向け
高機能製品

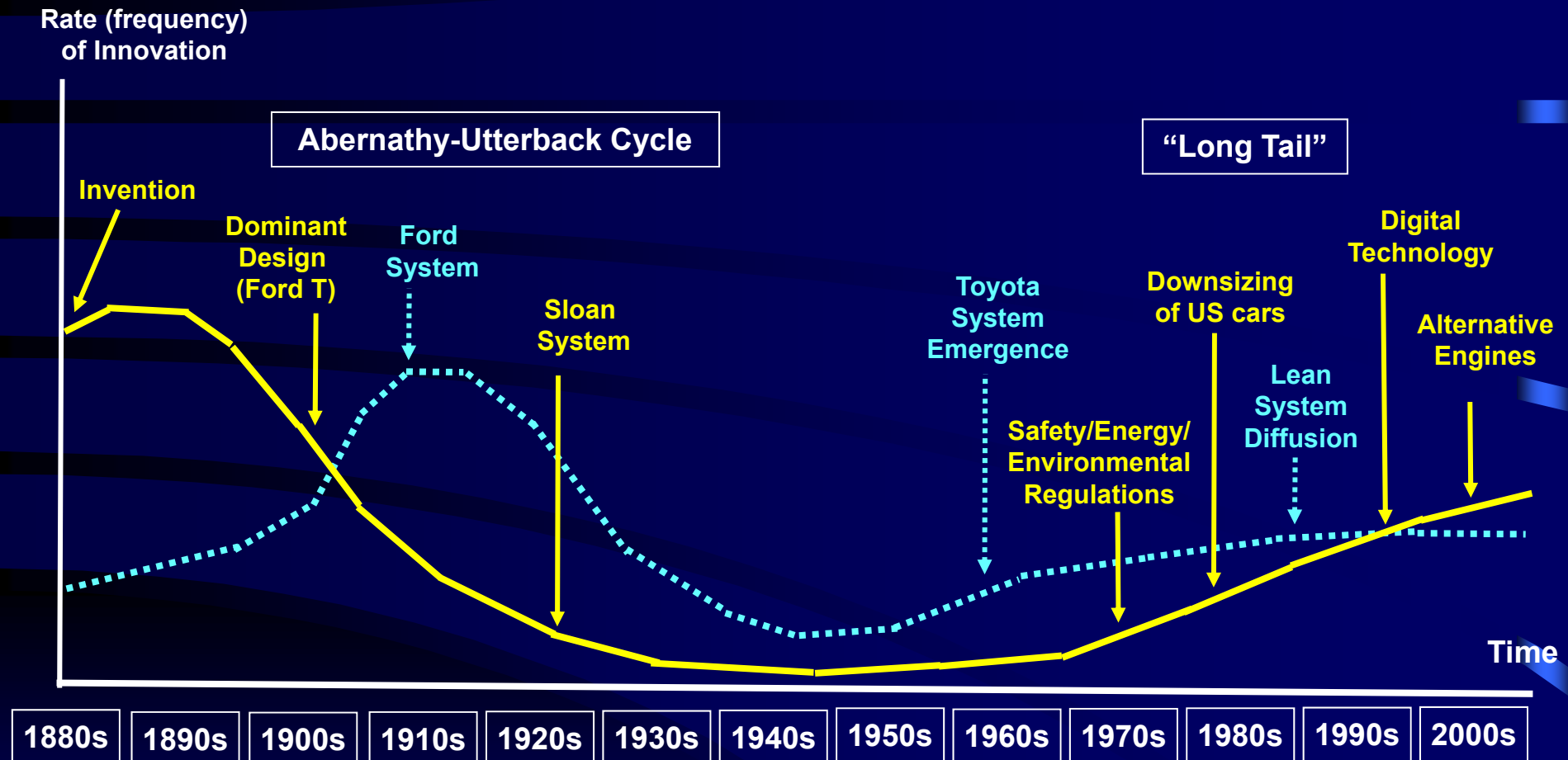
②新興国で
開発・生産する
後続製品

市場規模

競合する
新興国の
ローカル企業
の製品

T

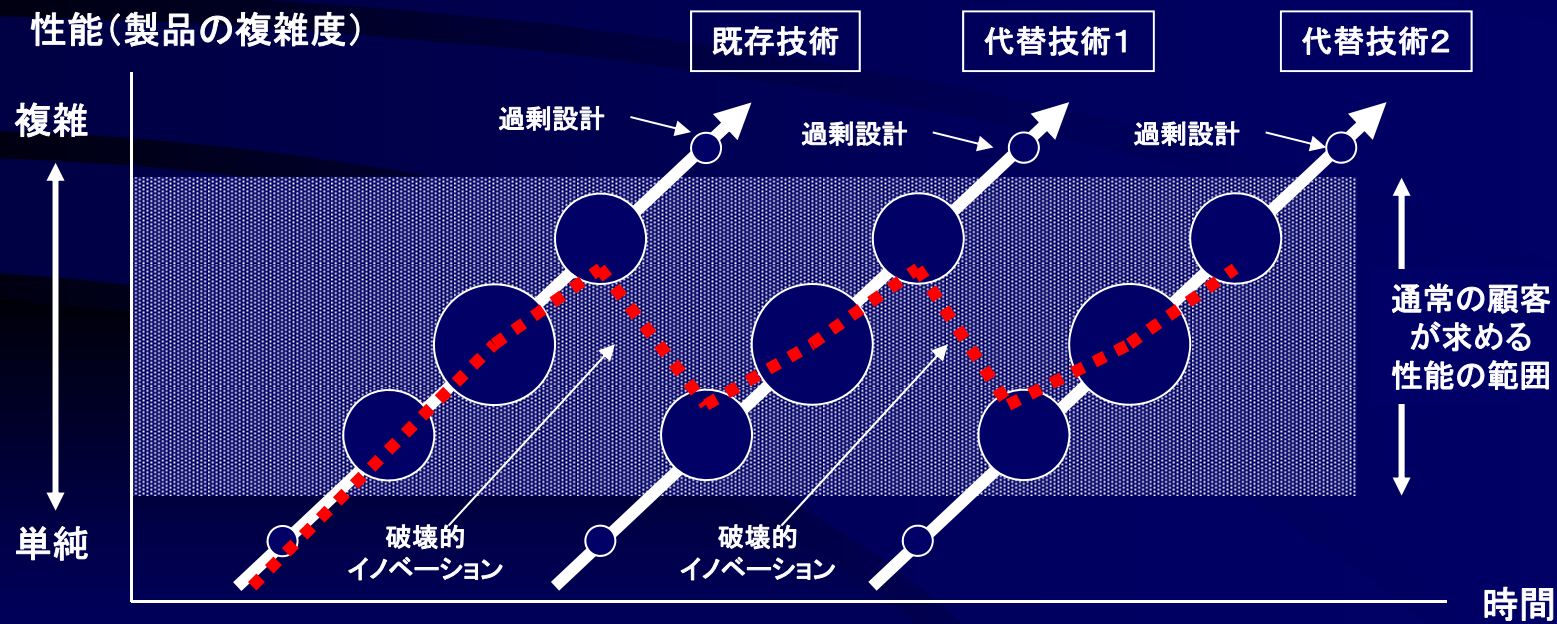
自動車産業ライフサイクルの「長い尻尾」



Note: The author's subjective estimation based on Abernathy (1978), Cusumano (1985), Womack et al (1990), Clark and Fujimoto (1991), Fujimoto (1999), and other sources.

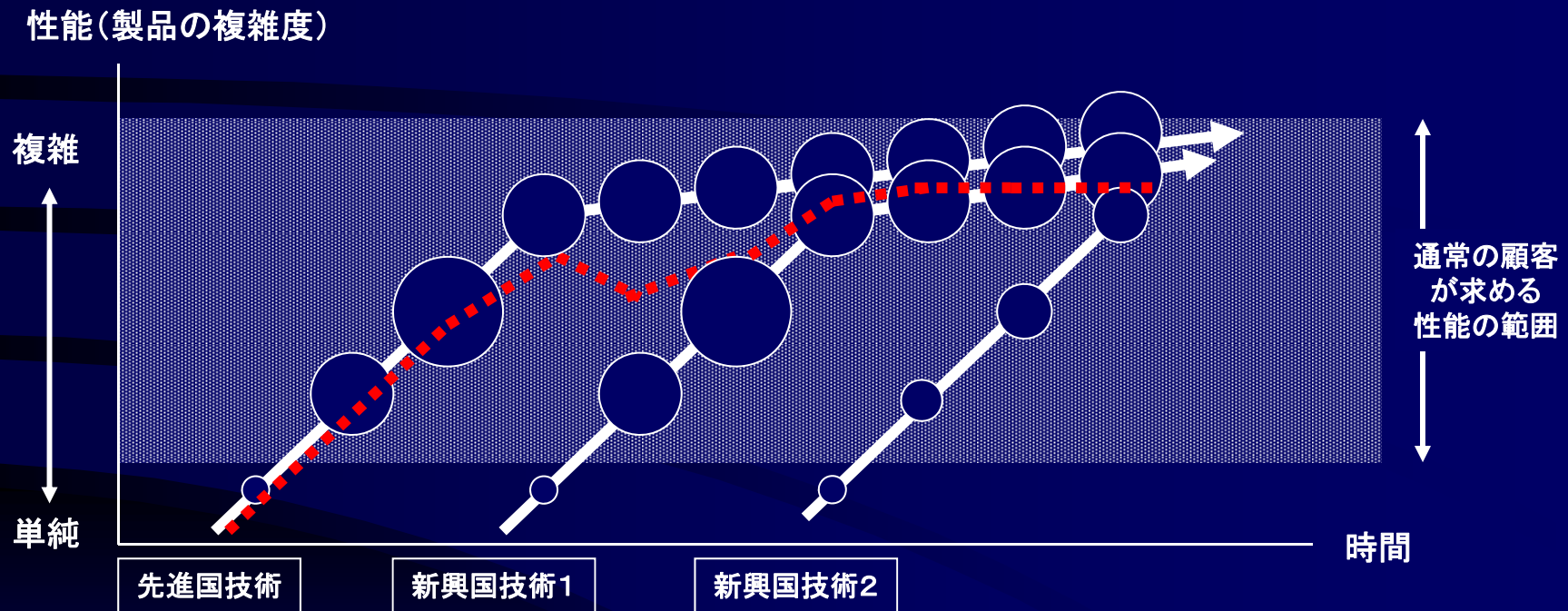
製品性能曲線、市場規模、平均複雑度曲線

1. 破壊技術が次々と出現するケース(クリステンセンの想定)



製品性能曲線、市場規模、平均複雑度曲線

2. 二つの技術が並存する場合（自動車はこれに近い？）



凡例 ○ = 市場規模

↑ = 同系統技術の
性能向上曲線

--- = 全技術の平均
複雑度曲線

環太平洋の競争優位：擦り合わせ軸とモジュラー軸

「適財適所」の拠点選択とは？

擦り合わせ軸

モジュラー軸



自動運転・運転支援について（東大・中野公彦教授談2014.2より）

“Google Car”（自律走行車）が話題に。・・・しかし地道な取り組みが必要
小脳機能（認知・操作）は自動車業界、**大脳機能（判断）はIT業界**が得意（矢野研・森氏）

- ①**協調運転**・・・路車間・車車間通信により運転者に警告・介入。
- ②**運転支援**・・・運転者が安全運行に責任を持つ。特定機能が全機能を自動支援
- ③**半自動運転**・・・自動制御だが、運転者に継続監視、緊急引継ぎの責任あり
- ④**自律運転（完全自動運転）**・・・永続的に自動制御。運転者不要。

手動→自動、自動→手動の**切り替え（引継ぎ）の瞬間**が難しい。
・・・1トン以上ある普通の自動車は①②③まで？

PL訴訟のリスクが極めて大きくなる。（しかし警察は意外にポジティブ）

高速道路でのトラックの**隊列走行**（協調運転）は燃費削減等に効果あり。

センサー技術が鍵。電気自動車（モーター）との相性が良い。

完全自動は、根本的に異なる乗り物で実現？（藤本私見）

人を囲む人工物・・・①建物、②自動車、③**???**、④衣服



自動車産業の課題(1)・・・複雑化問題をどう克服するか

- ・ 人工物としての自動車は複雑化している。 自動車 = 自由移動車 + 自動制御車
- ・ その一因は**制御系** ... メカ部品3万点、ECU(電子制御ユニット)100、ソフト1000万行・・・
自動車はあくまでもメカ製品だが、今後はメカ・エレキ・ソフト複合体の色彩を強める。
- ・ 安全・環境・燃費などの**制約条件**はますます厳しく、少なくとも規制の厳しい先進国では、
自動車のアーキテクチャが、簡単にモジュラー化する兆しは見られぬ(依然インテグラル)
(日本の共通部品率は↑ 中国モジュラー車は輸出力困難 インドのナノは擦り合わせ)
- ・ そのため、製品開発部門に大きな負荷がかかる。開発工数、開発リードタイムは ↑ 傾向。
- ・ 自動車はもともとメカニカル。開発プロセスも、メカ主導が暗黙の前提だったが・・・
いまや、高級車・エコ車ではエレキ・ソフトが、製造原価の30%以上。
メカ・エレキ・ソフトの連携プレーが挑戦課題。(もともと仲が悪かった?)
クルマを「関数の束」とみる制御系の発想を強化。機能設計と構造設計のバランス
- ・ 2次電池や燃料電池など、**サイエンス**まで遡る技術開発が必要。世界の科学ネットワークの活用
大部屋主義の日本企業は、サイエンス・イノベーションがやや不得意? どう克服?
- ・ 先行開発部門の強化に、各社取り組む。 製品複雑化と、製品開発リードタイム短縮のジレンマ

自動車産業の課題(2)… グローバル化の中でしたたかな環境戦略を

- ・ 21世紀前半、①環境制約問題と ②グローバル競争激化とが、同時進行しよう。
- ・ どんな環境対策車、どんな高級車、どんな低価格車を、どこで作り、どこで売るか？
- ・ 「市場があるところで作る」一辺倒では対応できない（諸国の産業保護主義は緩和へ）
貿易が自由化すれば、「適材適所立地」の比重が高まる（比較優位論の原則）
- ・ 市場立地と、適材適所立地を、いかにバランスよく使うかが、各企業の腕の見せ所だ。

例えば

高級高性能車 … 日本集中生産が基本

低価格車 … 低コスト地域で、準市場立地生産し、第3国輸出か

グローバル環境対策車 … 日本集中生産が基本（大市場のみ市場立地も）

ローカル環境対策車 … 市場立地が基本（エタノール車、CG車…）

- ・ グローバル環境対策と、ローカル環境対策へのバランスの良い対応を。
- ・ 日本企業は、国内現場でも海外現場でも、変種変量生産は得意。この能力を最大限に活かす。
- ・ 日本の政府・財界は、進んで厳しい環境規制・安全規制を採用し、
新興国も含め、他国にも厳しい規制を要求する努力を（自分にも人にも厳しく）
- ・ 実はそれこそが日本産業にとって有利。大義名分と産業活性化を融合したしたたかな国家戦略を

クルマ社会の将来… 楽しく安心な自由移動社会を厳しい制約条件下で

- ・ あくまでも、まず車を含むトータル交通システムで考える。そこでの自動車の役割は？
- ・ 個人にとって、自動車の基本は「自由移動車」（居る所から行きたいところへ） 21世紀も…
 - ① 生活・生命のため、自由移動を必要とする人に、安心・安全で確実な自由移動手段を
 - ② 人生の一部として「楽しい自由移動」の機会を

- ・ しかし、公共空間での、重量物の高速自由移動は、他人や社会に迷惑をかける。

交通事故、騒音・振動、地域環境汚染、地球環境汚染、エネルギー資源浪費 …

- ・ これに対処するために、自動車は、「自由移動車＋自動制御車」となった。この趨勢は続く。
- ・ 厳しい制約条件下で「移動の自由」「移動の楽しさ」を確保するために、イノベーションは限りはない。

新技術の探求、製品本体の複雑化、制御の複雑化、新ビジネスモデル …

- ・ 既存の自動車メーカーは、総合力で優位性を持つが、さらに広範囲の総合性が必要。広い連携も。

日本は現場を鍛え「設計立国」「ものづくり立国」を目指せ

- ① 実需経済のグローバル化 ② 国際分業型の産業構造
- ③ 微細な産業内貿易 ④ 設計に対する厳しい制約条件

以上が21世紀の「意外に常識的で古典的なトレンド」であるなら、
産官学は、何をすべきか？ 企業は、産業は、現場は、地域は、何をすべきか … ?

- (1) 日本の「**現場力**」(**ものづくり力・設計力**)を維持せよ
不況脱出後の復元力は、「**良い現場**」を日本に残せるか次第だ！
- (2) 日本の現場力と**相性の良い製品**に集中せよ。 当面、その中心は、
厳しい**制約条件**の中で設計する「**擦り合わせ設計**」「**作りこみ生産**」の製品
- (3) 日本の産官学は、地道な「**設計立国**」「**ものづくり立国**」をめざせ
「**良い現場**」を日本に残し、それを活かす製品に産官学が集中し、
「**難しい設計は日本に任せろ！**」という声価を世界から得られれば、
日本住民は、比較的高い生活水準で、食べていくことが可能になる。

参考文献

- ・製品開発の基本的「成功パターン」とは何か(自動車)
 - 藤本・クラーク『製品開発力』ダイヤモンド社
- ・効果的製品開発手法の異なる産業間での比較(コンピュータ、医薬、他)
 - 藤本・安本共編著『成功する製品開発』有斐閣
- ・トヨタ自動車の強さの源泉は何か? → 藤本『生産システムの進化論』有斐閣
- ・製品アーキテクチャのコンセプトを戦略に活かすこと
 - 藤本・武石・青島編『ビジネス・アーキテクチャ』有斐閣
- ・文系・理系の溝を埋めることをねらった生産管理・技術管理の教科書
 - 藤本『生産マネジメント入門(上)(下)』日本経済新聞社
- ・自動車産業はなぜ強かったのかを問う同時代史 → 藤本『能力構築競争』中公新書
- ・ものづくり現場発の戦略論の提案 → 藤本『日本のもの造り哲学』日本経済新聞社
- ・対中国戦略へのアーキテクチャ論の応用
 - 藤本・新宅編著『中国製造業のアーキテクチャ分析』東洋経済新報社
- ・サービス業にも広がる「開かれたものづくり」 → 藤本他『ものづくり経営学』光文社新書
- ・日本の強いプロセス産業への応用 → 藤本・桑嶋編『日本型プロセス産業』有斐閣
- ・現場発の国家政策・地域振興・産業活性化 → 藤本『ものづくりからの復活』日本経済新聞社
- ・複雑化する製品・工程・人工物に企業はどう対応するか
 - 藤本編『「人工物」複雑化の時代』有斐閣
- ・地域インストラクタースクールへの取組 → 藤本・柴田編『ものづくり成長戦略』光文社新書
- ・ものづくり現場の視点から見た日本産業論 → 藤本『現場主義の競争戦略』新潮新書