

製品アーキテクチャとコーディネーション
—アーキテクチャの比較優位に関する—考察—

2005 / 2

東京大経済学部
ものづくり経営研究センター
経済産業研究所
藤本隆宏

「設計情報価値説」による組織能力分析

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



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**



製品とは、設計情報が素材(媒体)に
転写されたものである

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



設計情報を創造するのが開発
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

「統合型もの造りシステム」の組織能力

20世紀後半の日本から世界に発信された知的資産・・・

「**統合型もの造りシステム**」(チームワーク、情報共有)

いわゆる「トヨタ生産システム」は

「**統合型もの造り**」の一つの(しかし最強の)バリエーション

丸写しでもなく、拒否反応でもなく、広い視野からトヨタに学ぶ

まず、トヨタ的生産・開発システムの諸要素(ルーチン)を抽出

生産: かんばん、TQC、自動化、・・・

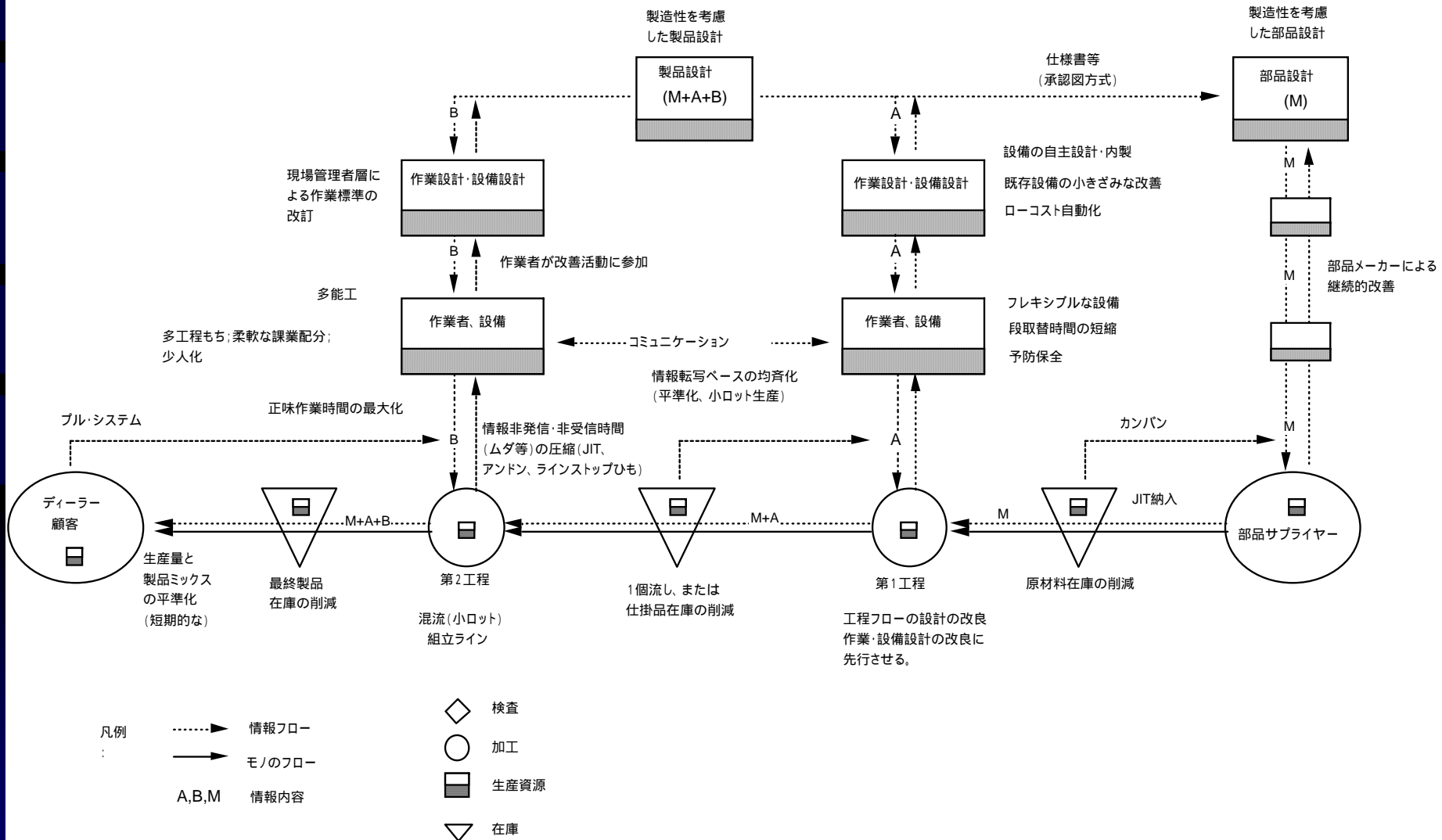
開発: HWPM、オーバーラップ型開発、・・・

これを「**設計情報の創造と転写のシステム**」として読み替える作業

これにより、競争力の高い**開発・生産・購買トータルシステム**として
一貫性のある説明が可能となる

設計情報の流れからみたトヨタのものづくり組織能力(例)

トヨタ的生産システムの組織能力:生産性と生産リードタイム



アーキテクチャとは： (設計)の中をのぞいてみよう

お客さんが
カッコいいと
思ってくれる
ボディの
設計



設計者は、どんな発想で設計をしているのだろうか？

「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

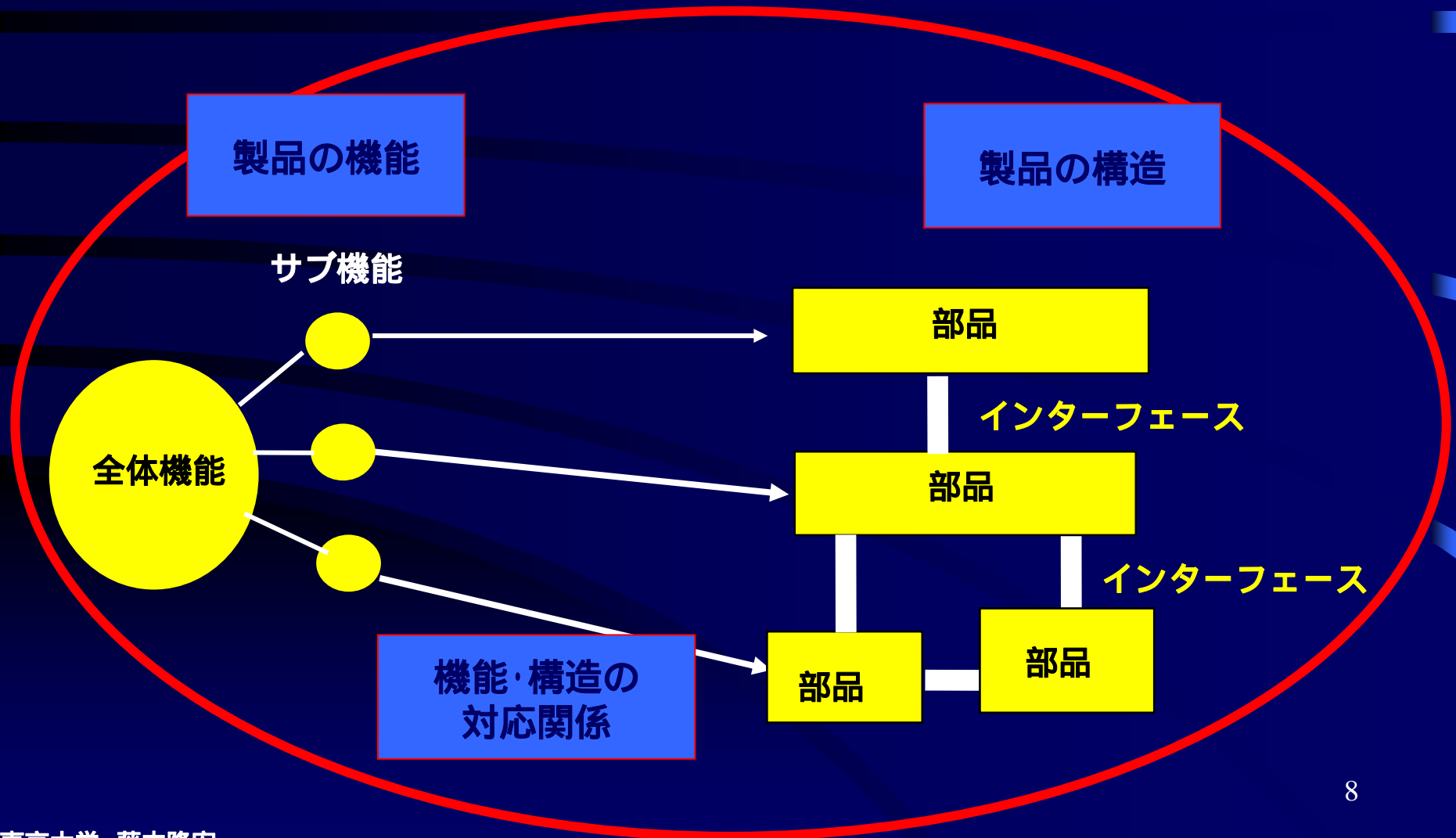
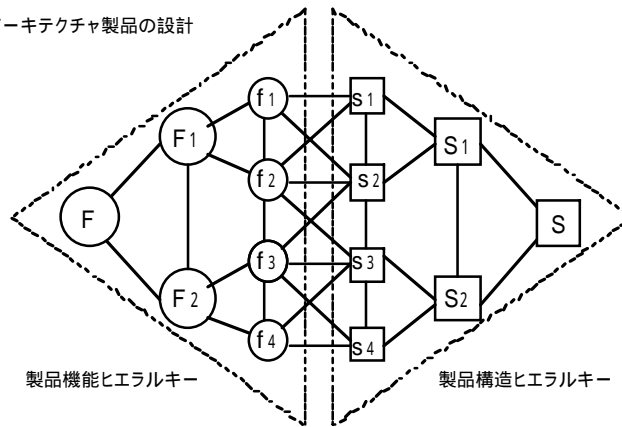
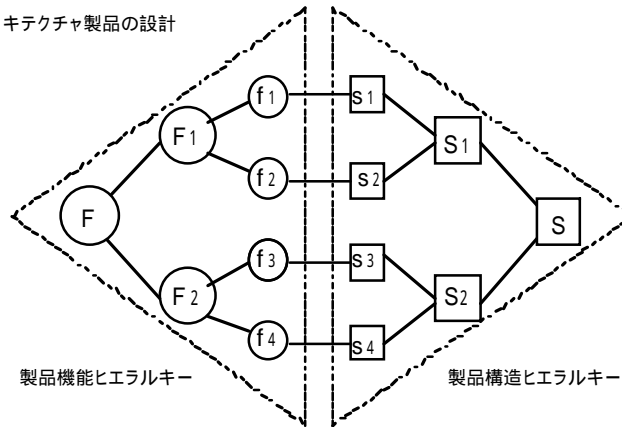


図 製品モジュール化(製品構造・機能の複合ヒエラルキー)

インテグラル・アーキテクチャ製品の設計



モジュラー・アーキテクチャ製品の設計



凡例: F = 製品全体の機能 S = 製品全体の構造

F1、F2 = 製品のサブ機能 f1 ~ f2 = 製品のサブサブ機能

S1、S2 = 大モジュール s1 ~ s4 = 小モジュール

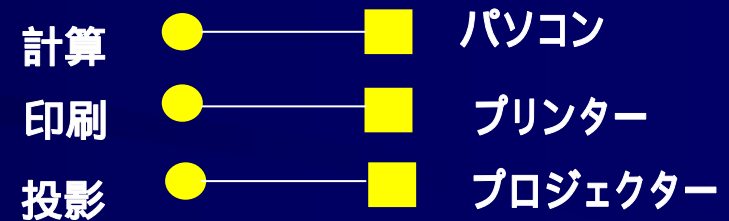
—— = 連結

注: 図の簡略化のため、FとS、およびF1、F2、S1、S2間の連結は省略した。

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

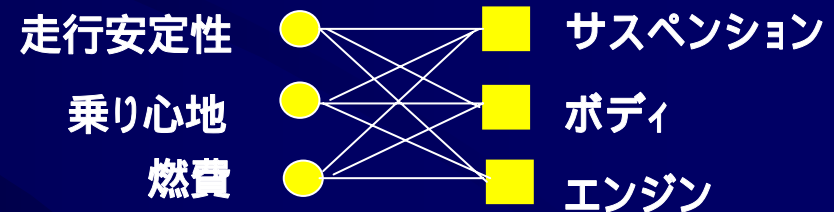


製品の機能

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

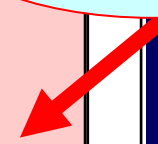


汎用部品(いろいろな会社の製品で使える)は10%以下

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)



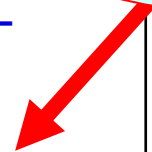
モニターは別売です。

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)	(対角線あり)	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



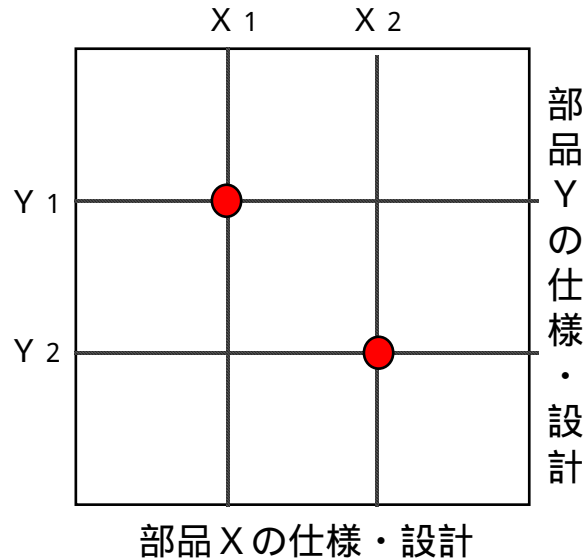
クローズド・モジュラーの製品(メインフレーム・コンピュータ)



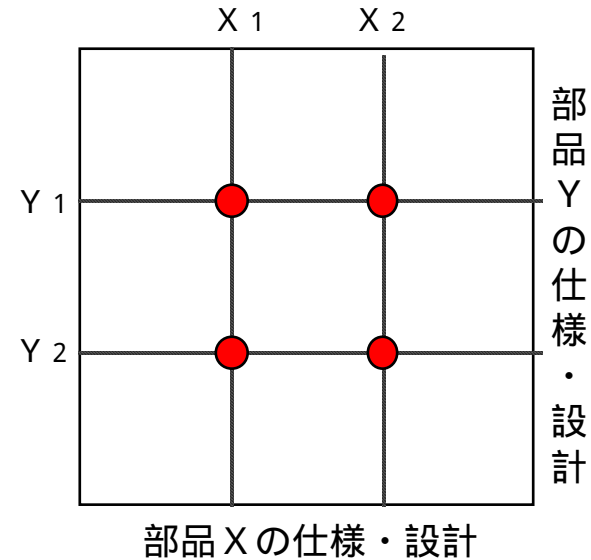
自分の会社で設計した「社内共通部品」を寄せ集めて、多くの種類の製品を作る₁₆

設計パラメータと製品アーキテクチャ (1)

インテグラル
(擦り合わせ)
アーキテクチャ



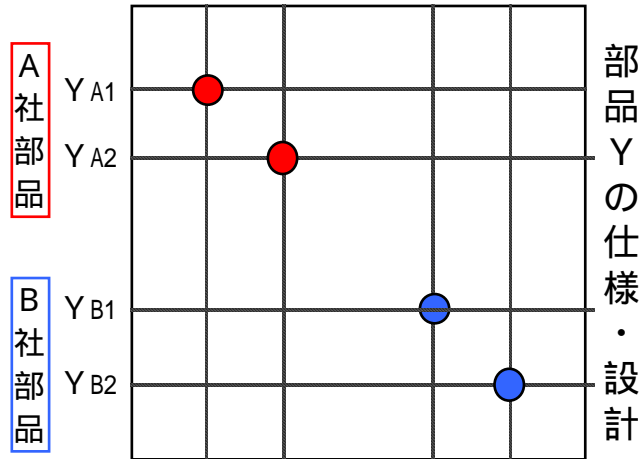
モジュラー
(組み合わせ)
アーキテクチャ



設計パラメータと製品アーキテクチャ（２）

クローズド・
インテグラル
アーキテクチャ

A社部品 B社部品
X_{A1} X_{A2} X_{B1} X_{B2}

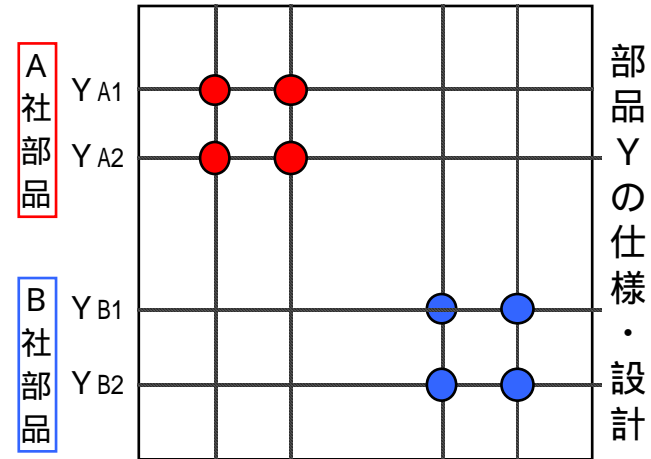


部品Xの仕様・設計

例：高級オートバイ

クローズド・
モジュラー
アーキテクチャ

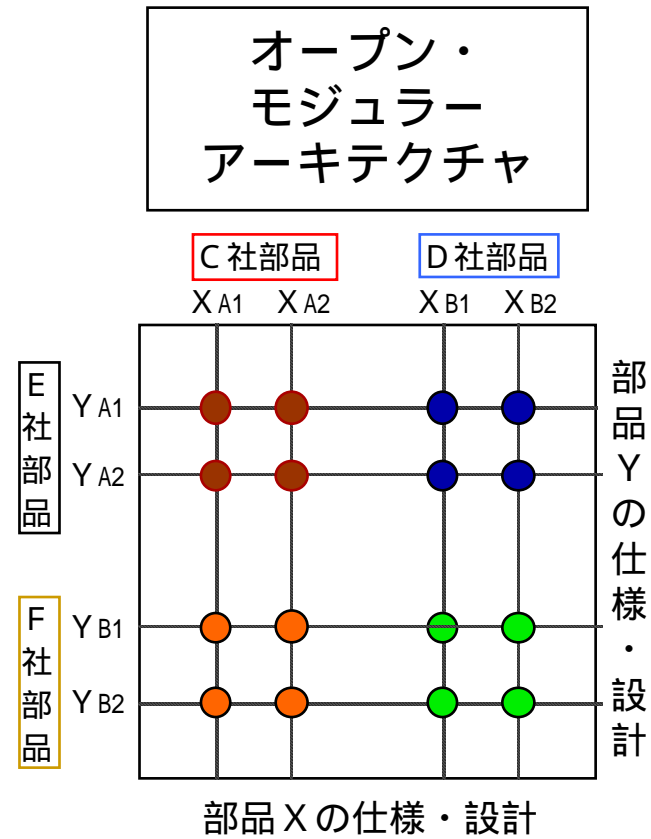
A社部品 B社部品
X_{A1} X_{A2} X_{B1} X_{B2}



部品Xの仕様・設計

例：「素バイク」、RV

設計パラメータと製品アーキテクチャ (3)



例：自転車、パソコン

工程アーキテクチャへの拡張

アーキテクチャ概念の適用範囲を

「製品」から「**工程**」にまで拡大する必要あり

(1)「擦り合わせ型」の工程アーキテクチャ

工程全体の一貫品質管理が必須である製品

機能性素材、スペシャル・グレード、防錆鋼板・・・

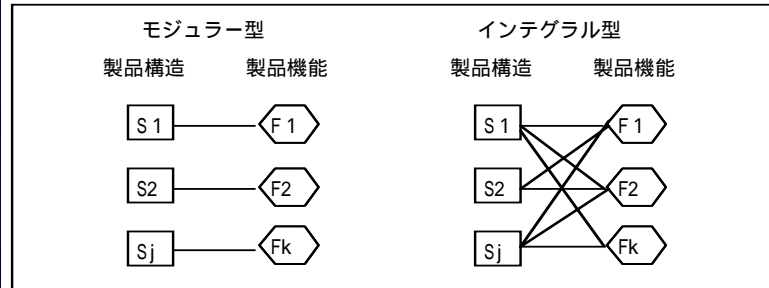
(2)「モジュラー型」の工程アーキテクチャ

個々の設備の個別管理で十分な品質が確保できる製品

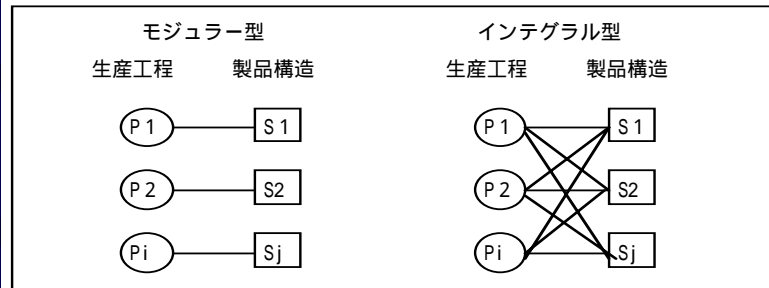
コモディティ・グレードの樹脂、ホットコイル・・・

図 製品アーキテクチャと工程アーキテクチャの基本タイプ

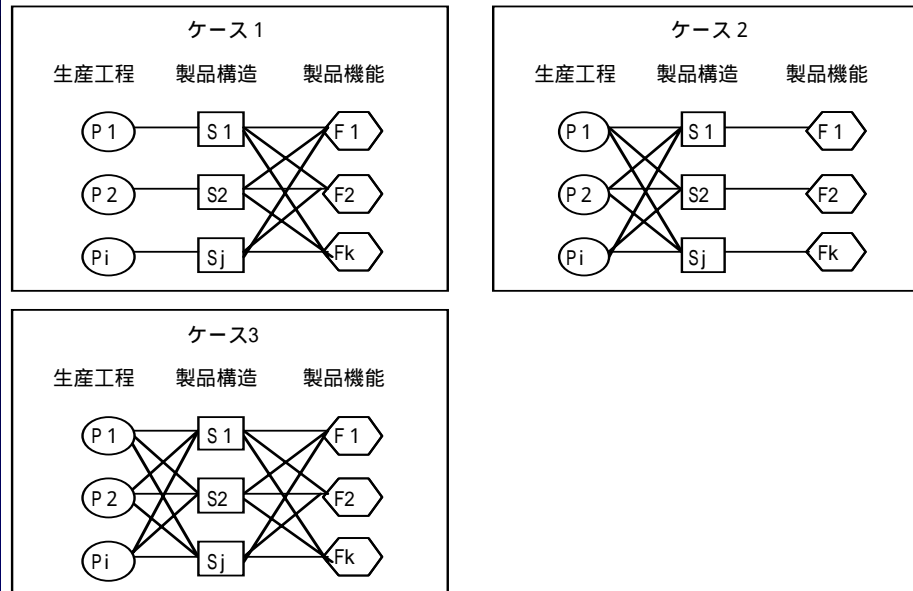
1 製品アーキテクチャの基本タイプ



2 工程-構造アーキテクチャの基本タイプ



3 インテグラルな工程-機能アーキテクチャ



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。

相性が悪ければ、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

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、

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：労働集約的な擦り合わせ製品？ (中国と違う？)

アーキテクチャの測定

機能・構造マトリックス ($n \times m$) における相互依存関係 (x) の数で測定
 機能要素の数 (n) と構造要素の数 (m) として、インテグラル度 = $x/(nm)$

Product Function-Structure Matrix (example)

		product function				products structure					
		f1	f2	...	f _n	s1	s2	s3	s4	...	s _m
product function	f1	z	z	z	z	x	x	x			
	f2	z	z	z	z			x			
	...	z	z	z	z				x		
	f _n	z	z	z	z					x	x
products structure	s1	x				y	y				
	s2	x				y	y				
	s3	x	x			y	y				
	s4			x							
	...				x						y
	s _m				x					y	

Note: The relationship between elements is assumed to be non-directional.

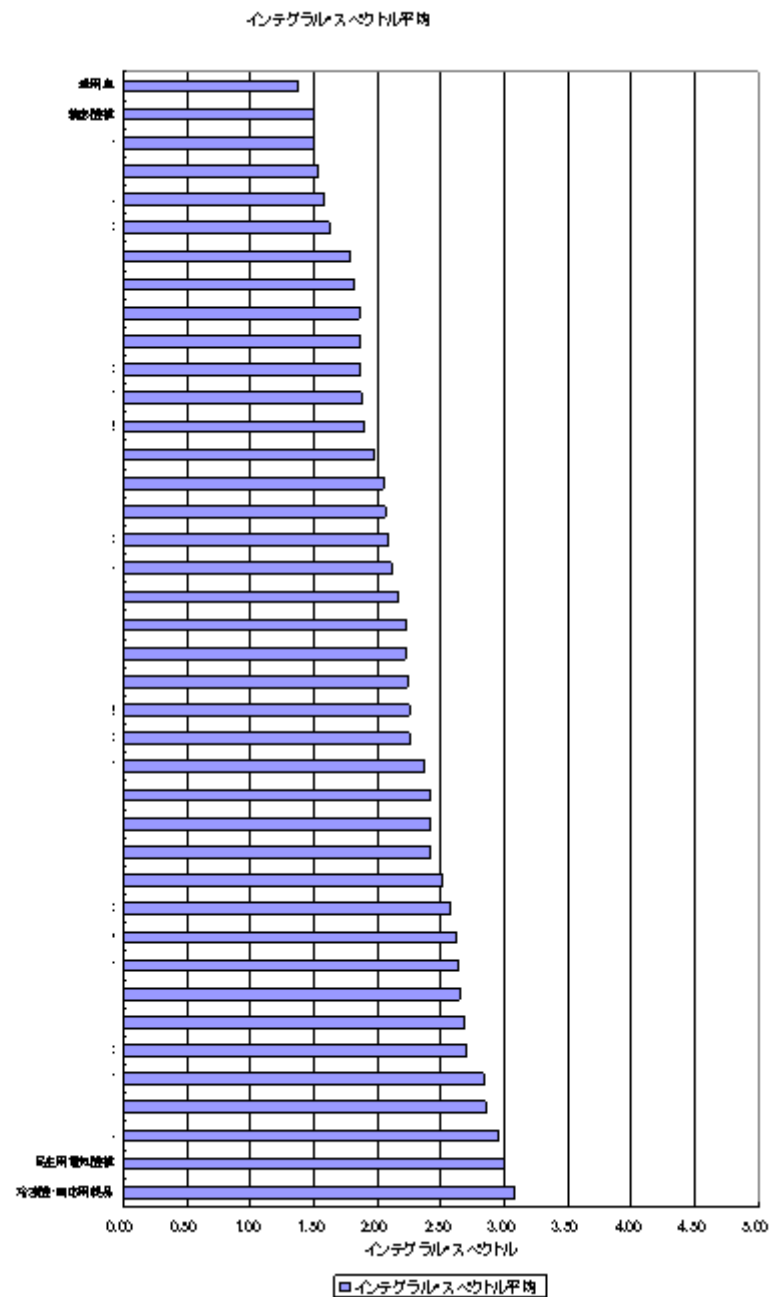
Key: x = relation between functional and structural elements
 y = relation between structural elements
 z = relation between functional elements

しかし、これは測定が大変なので、METIとの共同調査では簡便法で測定

アーキテクチャの測定：機能・構造・工程マトリックスへの拡張

		機能	機能	構造	構造	工程	工程
		機能 1	機能 2	構造 1	構造 2	工程 1	工程 2
機能	機能 1		1	1	1	1	1
機能	機能 2	1		1	1	1	1
構造	構造 1	1	1		1	1	1
構造	構造 2	1	1	1		1	1
工程	工程 1	1	1	1	1		1
工程	工程 2	1	1	1	1	1	

製品のインテグラル度・モジュラー度の測定



組織の統合力と統合型アーキテクチャ

- **中馬論文**(2004)の問題提起 …… 極めて「擦り合わせ度」の高い製品(導体露光装置)で日本企業が劣勢であるのはなぜか。
- **中馬説: 事後的モジュラー性**
- **藤本試論: 「設計パラメータの調整(コーディネーション)」の問題として定式化**
- **調整(統合)の2タイプ: 「科学的な調整」(coordination before doing)**
「試行錯誤的な調整」(coordination by doing)
- **試行錯誤的調整は、現場的知識の共有に依存。長期雇用・長期取引は有利**
- **日本企業は試行錯誤的調整が得意。 ……しかし、科学的な調整は??**
- **以上を単純な数値例で定式化**

設計の「連立方程式」と2段階コーディネーション

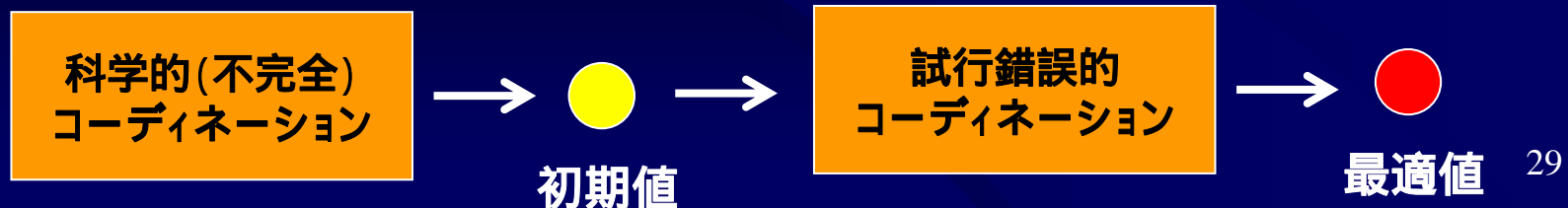
- 調整 = 「設計パラメータを最適値に収斂させる活動」と定義
 - 設計問題は連立1次方程式で近似できる(中尾)
 - $y = Ax$ y = 機能ベクトル、 x = 構造ベクトル、 A = 機能構造行列
- A が対角行列であれば、純粋なモジュラー設計 (x と y の次数は同じと仮定)



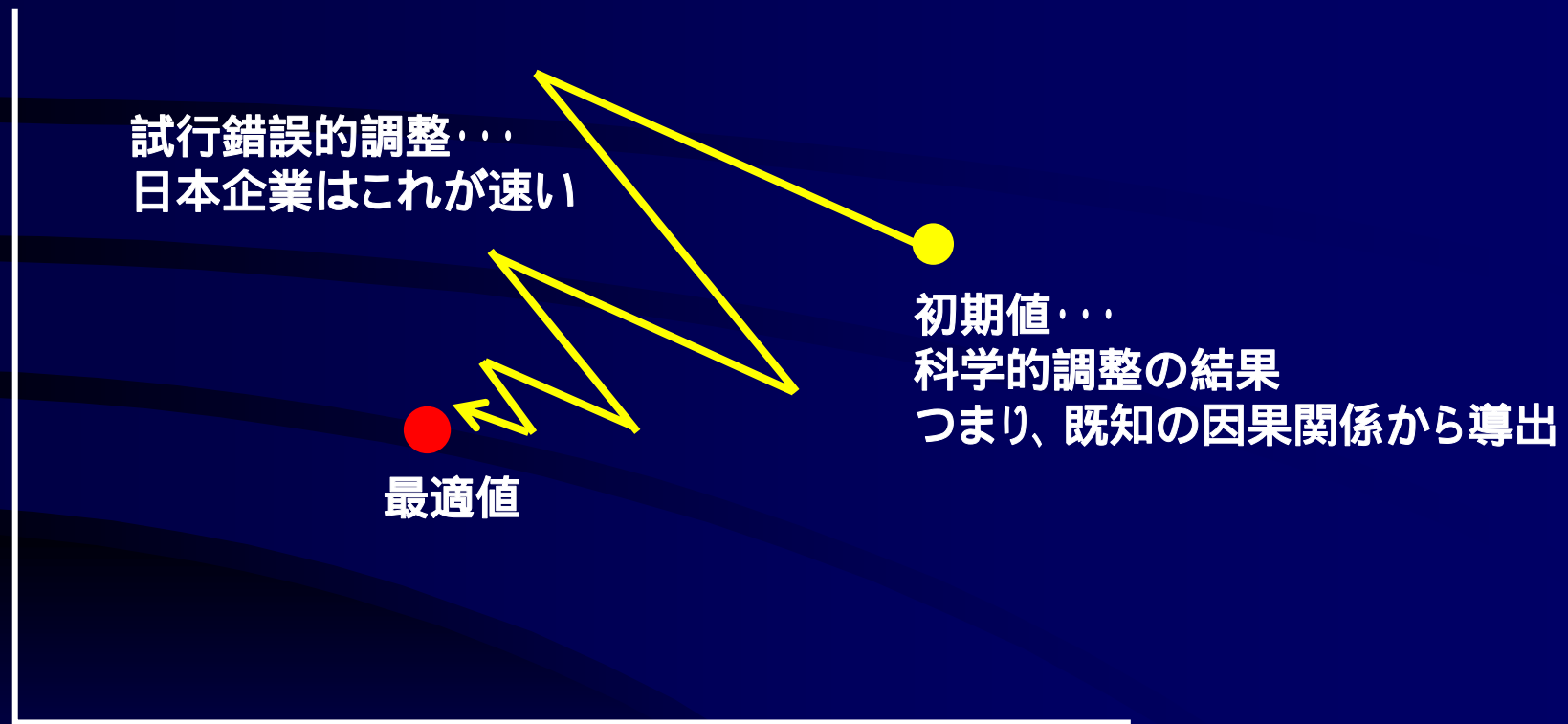
… しかし、**限定合理性**ゆえに、式の一部(A')しか分かっていないとしよう。

まずこの不完全な方程式を解く … 第1段階 (科学的調整) = 試行錯誤の初期値
試行錯誤で最適解に収斂する … 第2段階 (試行錯誤的調整)

- (1) **科学的調整の組織能力** … 判明している式の割合 初期値の最適値からの距離
- (2) **試行錯誤的調整の組織能力** … 調整応酬のスピード(情報・コード共有による)

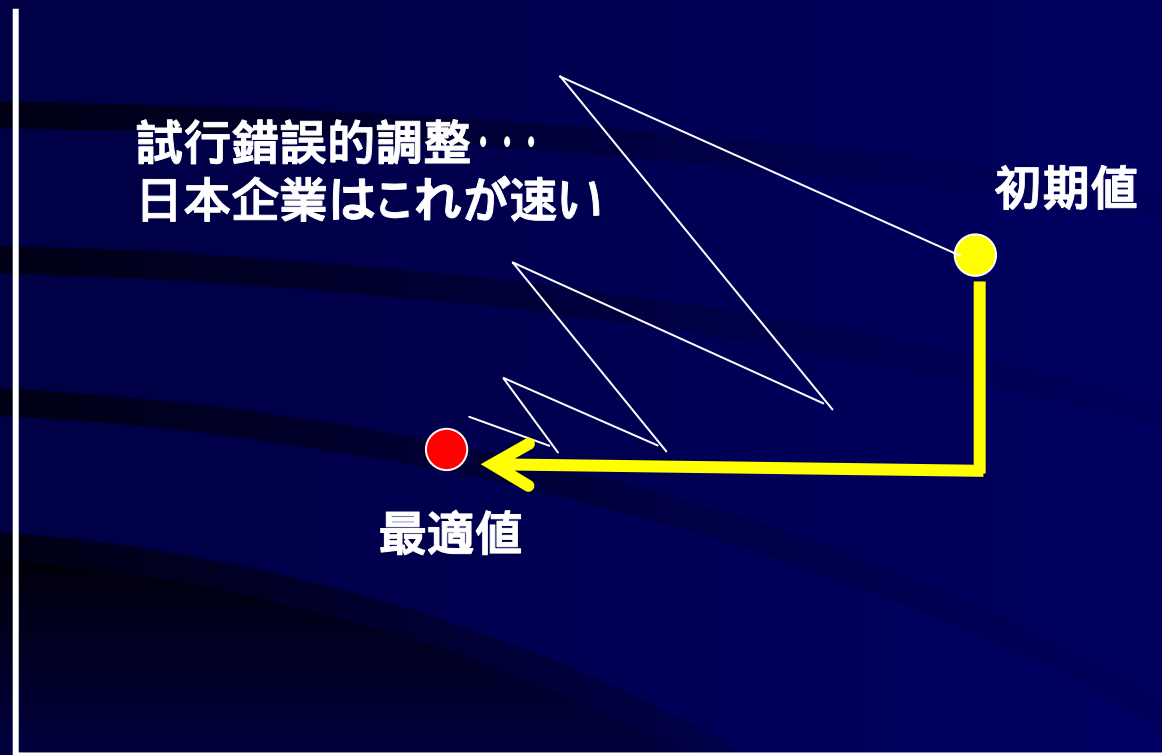


「試行錯誤的調整」における日本企業の優位性



モジュール化における米国企業の優位性

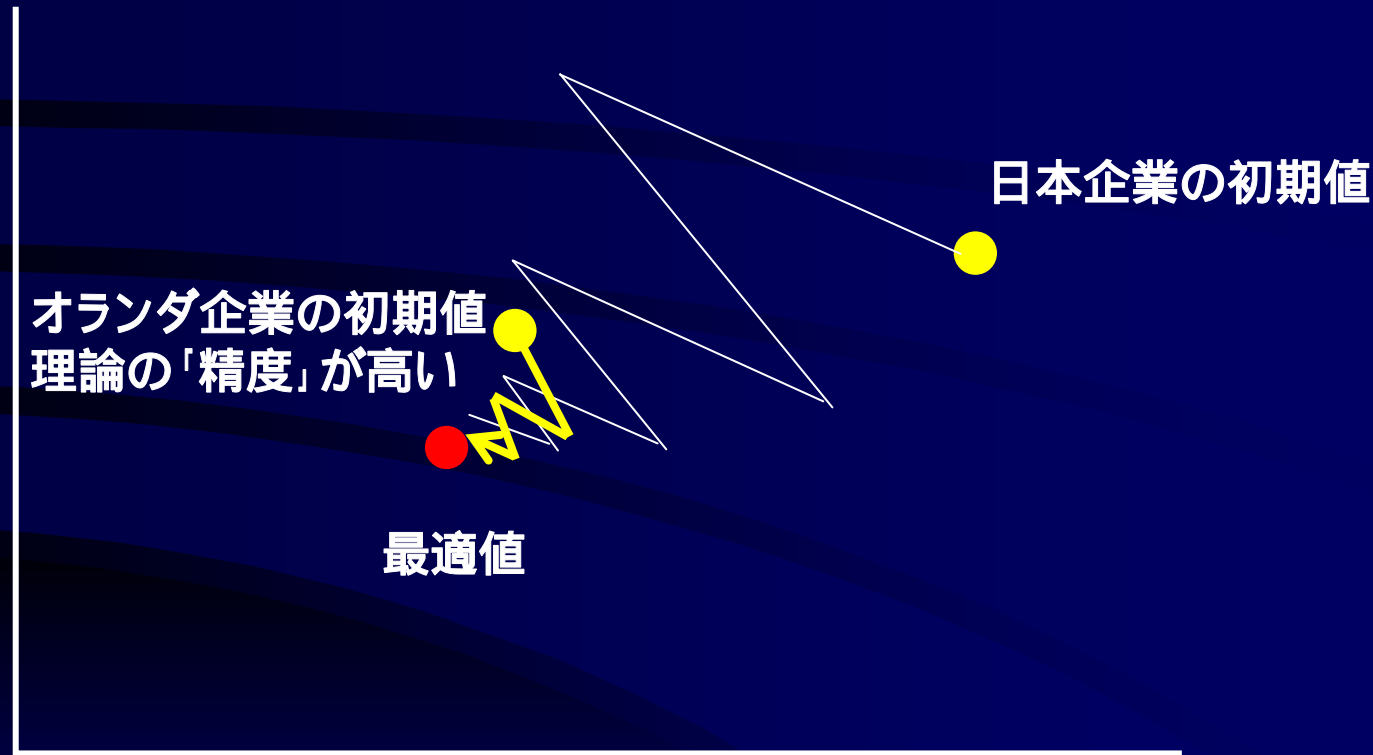
相互依存性の切断によるショートカット効果



- (1) 日本企業は事前の科学的知識が低く、事後的な試行錯誤に頼る
- (2) 米国企業は、モジュール化(方程式の簡略化)でショートカット

「科学的調整」におけるオランダ企業の優位性

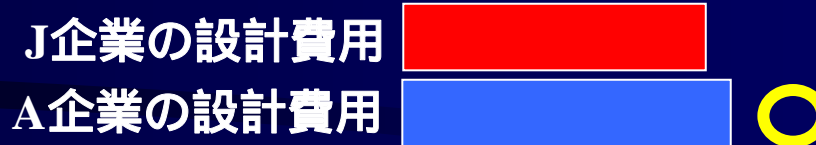
「ウサギと亀」現象



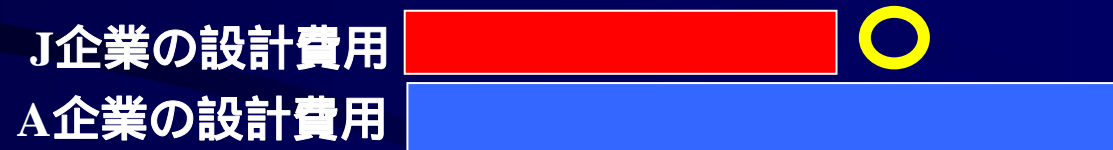
- (1) 製品の「擦り合わせ度」が極端に高い(複雑な連立方程式)
- (2) 日本企業は事前の科学的知識が低く、事後的な試行錯誤に頼る
- (3) オランダ企業は、事前に把握している変数や因果式が多い(科学的調整力)

日本企業は「中程度の擦り合わせ」製品が得意？

モジュラー製品・・・試行錯誤の数が少ないので設計費の差が出ない



中程度の擦り合わせ製品・・・試行錯誤の数が多いため設計費の差が出る



極端な擦り合わせ製品・・・科学的調整の巧拙で逆転が生じる



まとめ:アーキテクチャの比較優位論

- **設計概念(理系)と、リカード的な比較優位論の融合**
- 生産性の差の大きさが比較優位を決める
- **製品費用 = 生産費用 + 設計費用** とみる
- 生産費用については従来どおりの議論でもよい。
- 設計費用については、設計パラメータ調整費用の差をみる。
- **設計費用 = 科学的調整の費用 + 試行錯誤的調整の費用**
- 日本企業の設計パラメータ調整スピード(現場試行錯誤)が速いとすると…
モジュール数が多く、既知の科学知識の少ない(**現場試行錯誤**への依存度の高い)
「擦り合わせ型」製品で、設計費用に関する日本企業の比較優位が生じる

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真の源泉は何か？

藤本『生産システムの進化論』有斐閣

自動車産業トータルシステムの将来シナリオ

藤本・武石『自動車産業21世紀へのシナリオ』生産性出版

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

もの造り現場発の戦略論の提案

藤本『日本のものづくり哲学』日本経済新聞社