

2020年代の産業進化と自動車の未来

「CAPアプローチ」と「3層構造」分析

2022年4月

早稲田大学教授

東京大学名誉教授

ものづくり改善ネットワーク代表理事

藤本隆宏

現場の観察から始める産業経済学・産業経営学



Yamagata, Japan, 2011.8

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
必要なのは「軍師」の視点と能力

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

高度1000M・・・個別産業論・貿易論

高度100M・・・経営戦略論

高度5M・・・ものづくり現場論

高度1.5M・・・生活者＝現場人の人生

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)

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

産業記者(日経産業15面)
現場派の経営・経済学者

現場(引きこもり型?)・家庭

まずは高高度から眺めてみよう

平成(冷戦後)の製造業:全部負けていたわけではない どこで勝っていたのか・・・設計の比較優位説

単位:円

日本の製造業付加価値総額(実質)の推移

120兆

100兆

80兆

60兆

40兆

20兆

1990

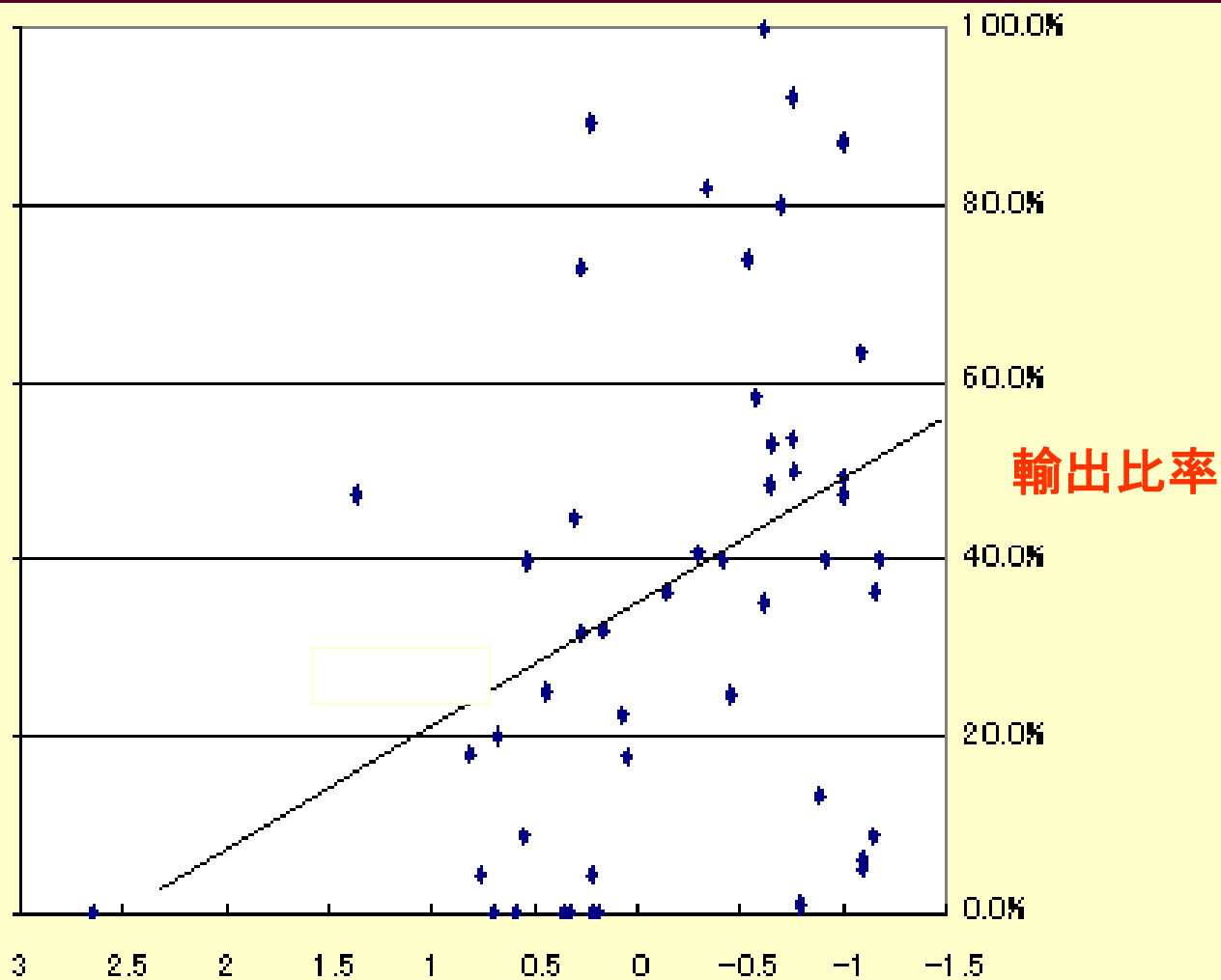
2020

0

1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018

内閣府HP. 2018年度国民経済計算(2011年基準・2008SNA)より作成

日本の製造業は、擦り合わせ型・インテグラル型 アーキテクチャの製品で強かった (自動車はその一例)



インテグラル・アーキテクチャ度

日本の統合型ものづくり現場(多能工のチームワーク)は インテグラル型(調整集約型)アーキテクチャと適合的

モジュラー型(組み合わせ型)
アーキテクチャ … 調整節約型

分業型の現場が多い米中が強い

例: パソコンのシステム



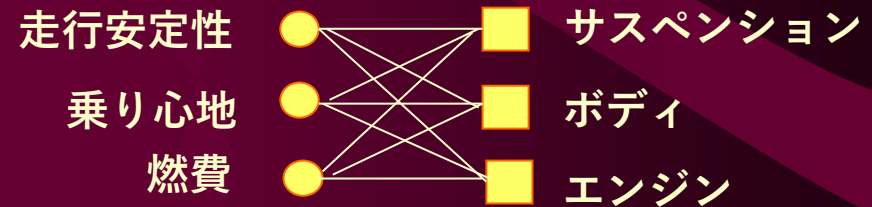
製品の機能

製品の構造

インテグラル型(擦り合わせ型)
アーキテクチャ … 調整集約型

統合型・調整型の現場が多い日本が強い

例: 高機能乗用車

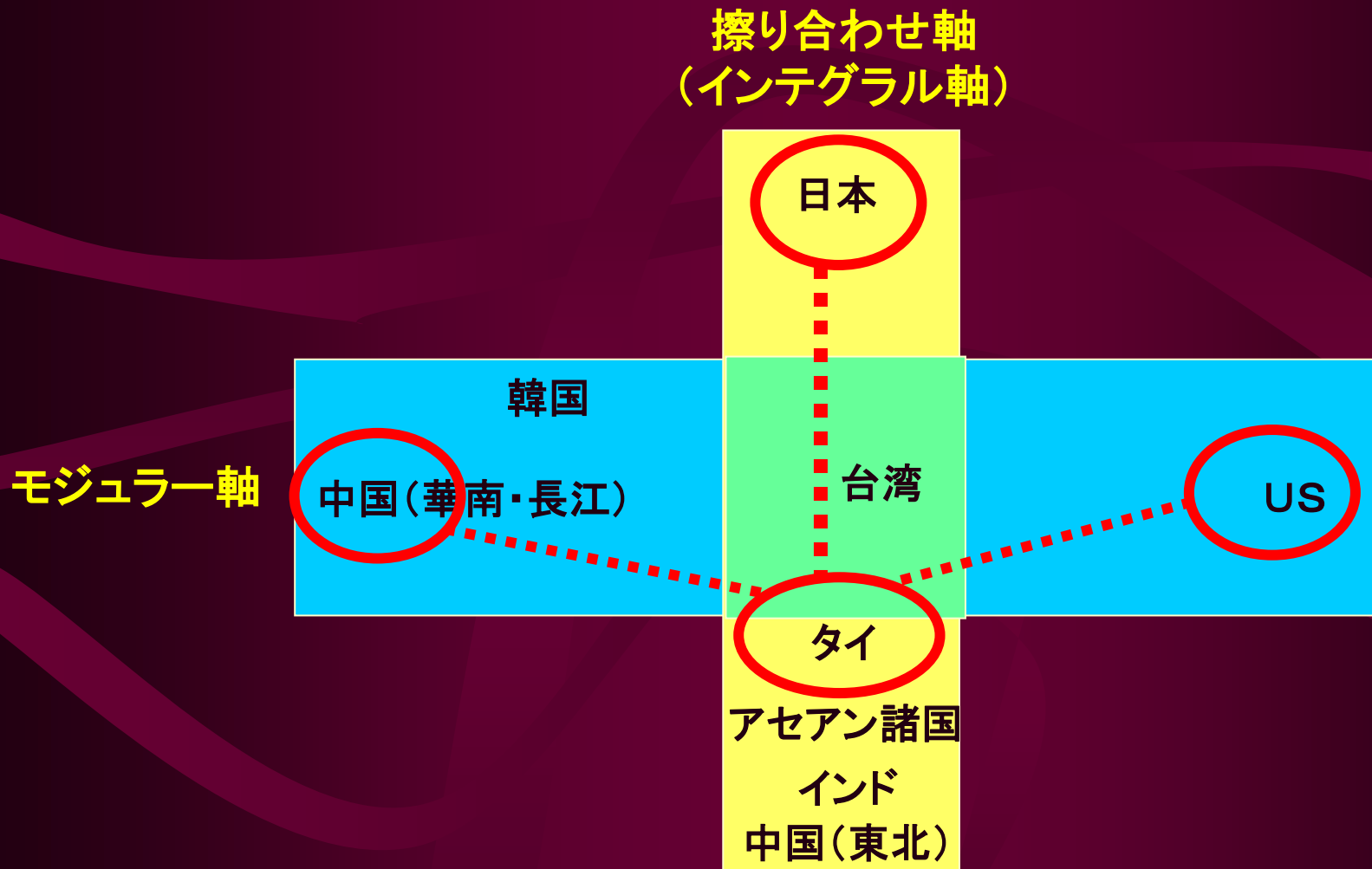


製品の機能

製品の構造

↑
設計調整の数

擦り合わせ軸とモジュラー軸（環太平洋地域） 現実には20年目の予想図に近付いてきている



基礎的モデル

産業競争力分析のCAPアプローチ

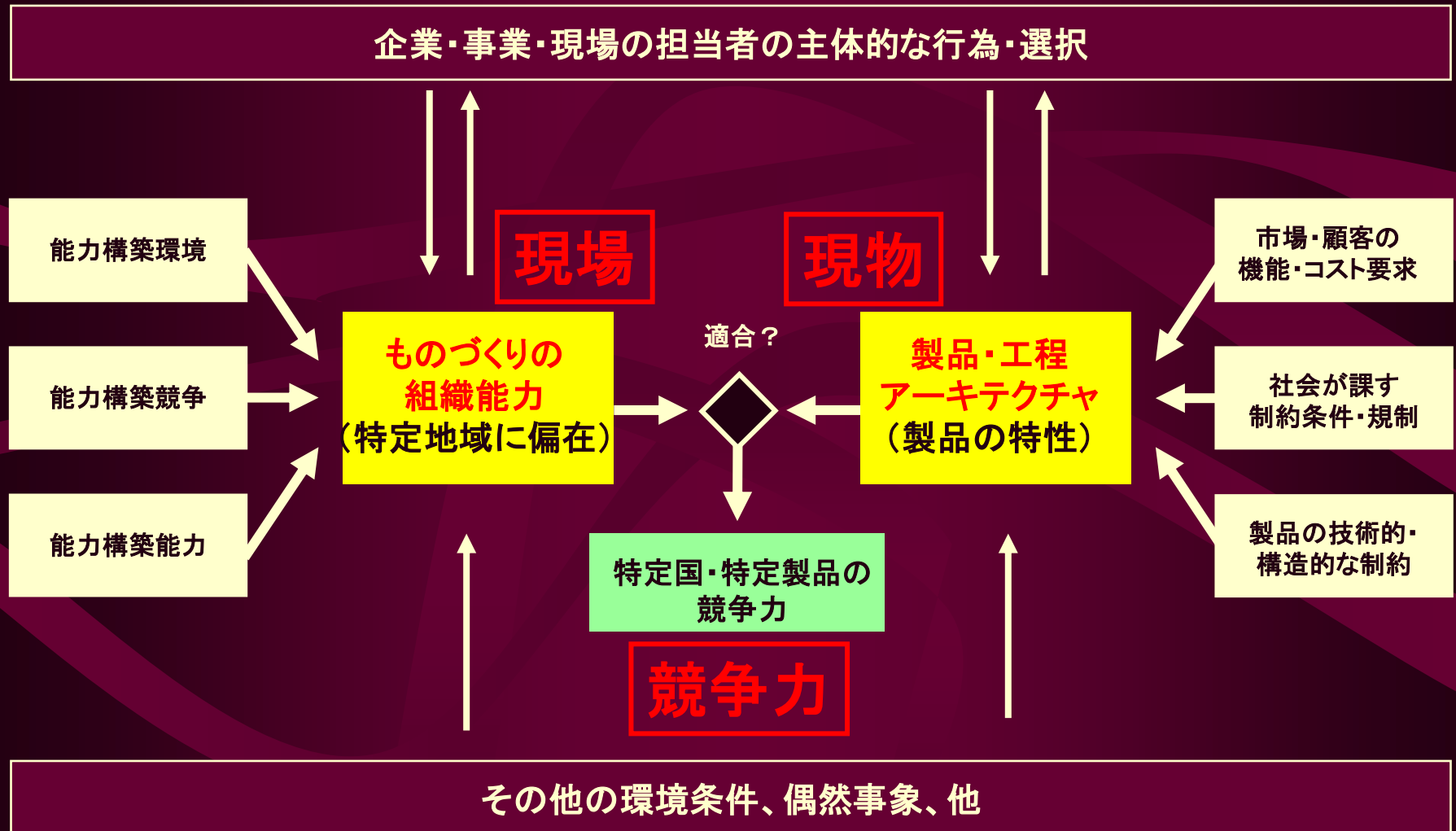
Capability (組織能力)

Architecture (設計思想)

Performance (競争優位)

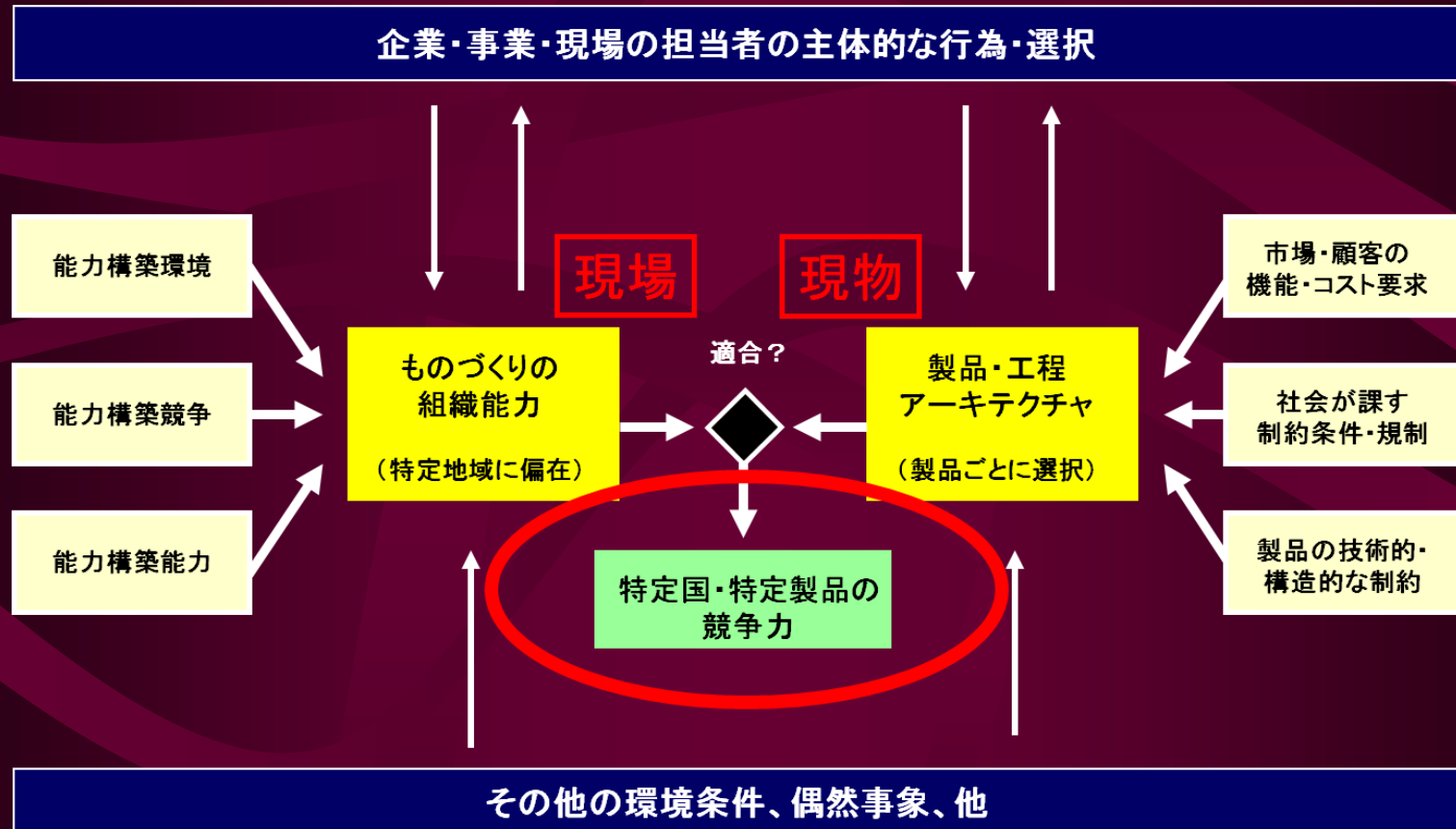
グローバル化時代の産業分析：CAPアプローチ

現場の組織能力(Capability)と 現物の設計思想(Architecture)
の動的な適合が、産業の競争力(Performance)を高める



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 —



競争力は多層的に把握せよ：「まず現場」か「まず利益」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

その他の環境要因

流れを作る仕組み

ものづくり
組織能力

流れの良さ

裏の競争力

売る力

表の競争力

稼ぐ力

収益力

他社が簡単に真似できない
現場にできることのレベル

整理整頓・清掃
問題解決、改善
ジャストインタイム
フレキシブル生産

お客から見えない
現場の実力を測る指標

生産性、コスト、
生産リードタイム、
開発リードタイム、
開発生産性

お客が評価する
製品の実力を測る指標

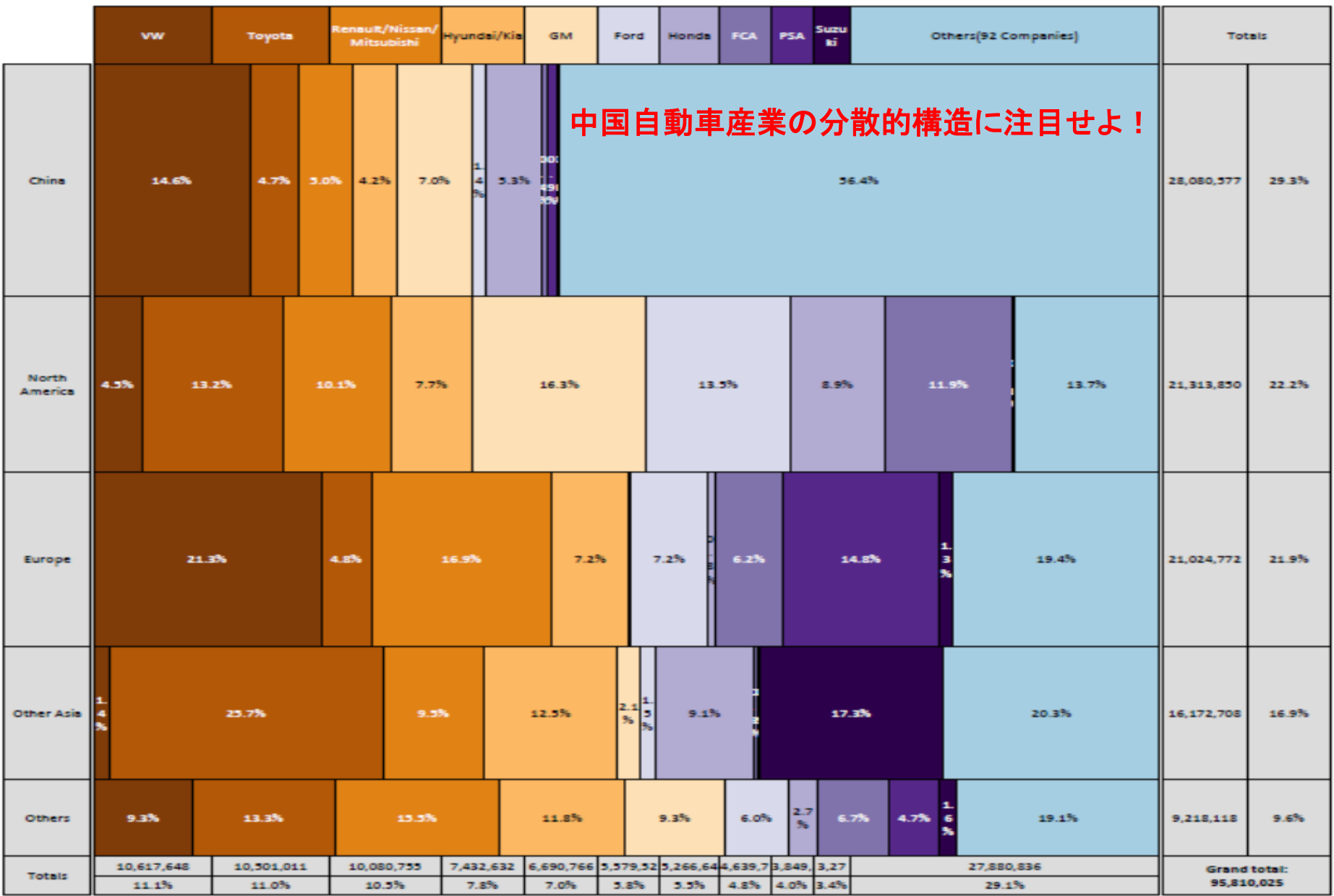
価格、性能、納期
ブランド、広告の効果
市場シェア、お客の満足度

会社のもうけ

株価

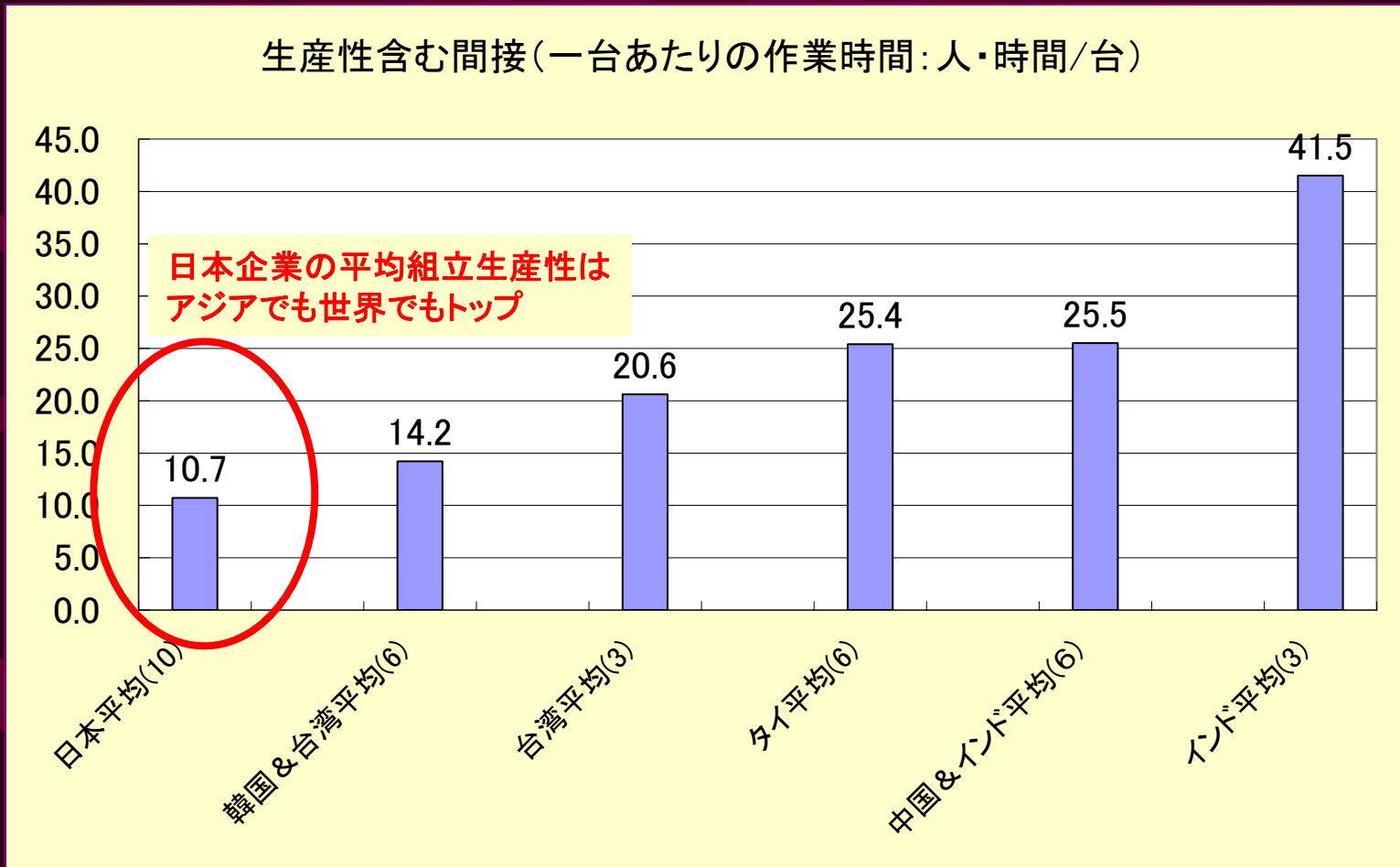
能力構築競争

表の競争力:世界の自動車販売シェアマトリックス (企業x地域;2018)

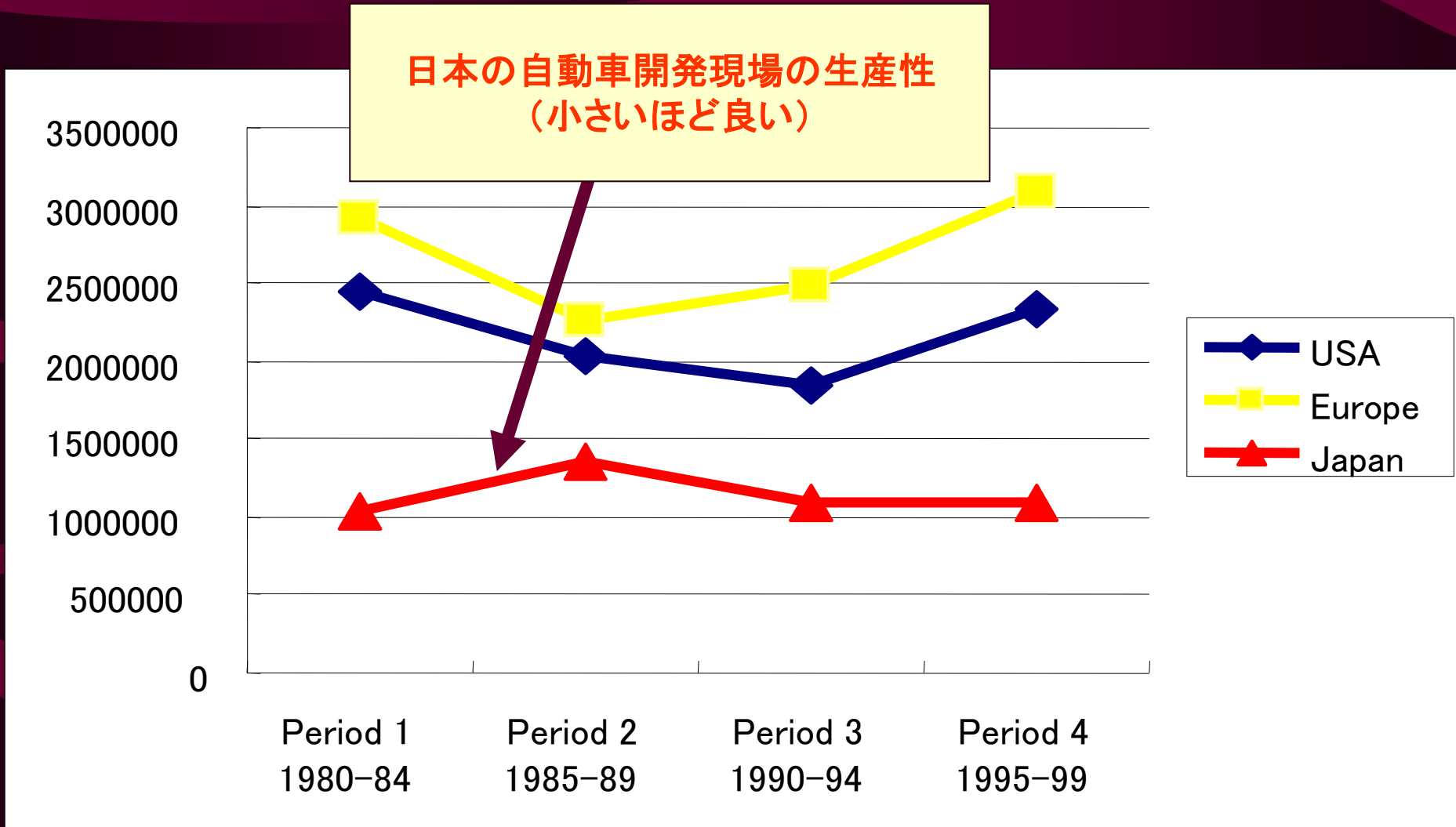


インテグラル型製品の「裏の競争力」は強い(トヨタ方式) アジア自動車工場の国別・地域別生産性比較

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



自動車の開発生産性：日本は欧米の2倍前後で推移



裏の競争力＝「良い流れ」度の基本公式・・・ 情報転写の速度・密度・精度

「コテコテのものづくり」で転写密度(付加価値作業時間比率)を高め、
生産性やリードタイムを大幅に高める余地はある
改善に、なお限りなし！

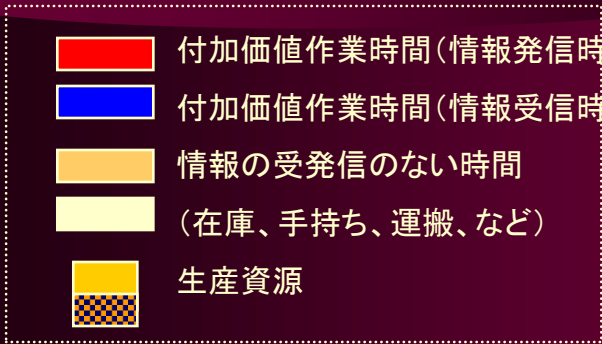
物的生産性 = 設計情報発信の **速度** × **密度1** 速度・・・生産技術、労働強化

(流体力学の公式との類似 ・ ・ 流れの自然科学と社会科学)

1 ÷ リードタイム = 設計情報受信の **速度** × **密度2**

総合品質 = 設計情報転写の **精度** = **設計品質** × **適合品質**
(二一ズ→設計) (設計→現物)

設計情報転写の「密度」と物的生産性・生産リードタイム

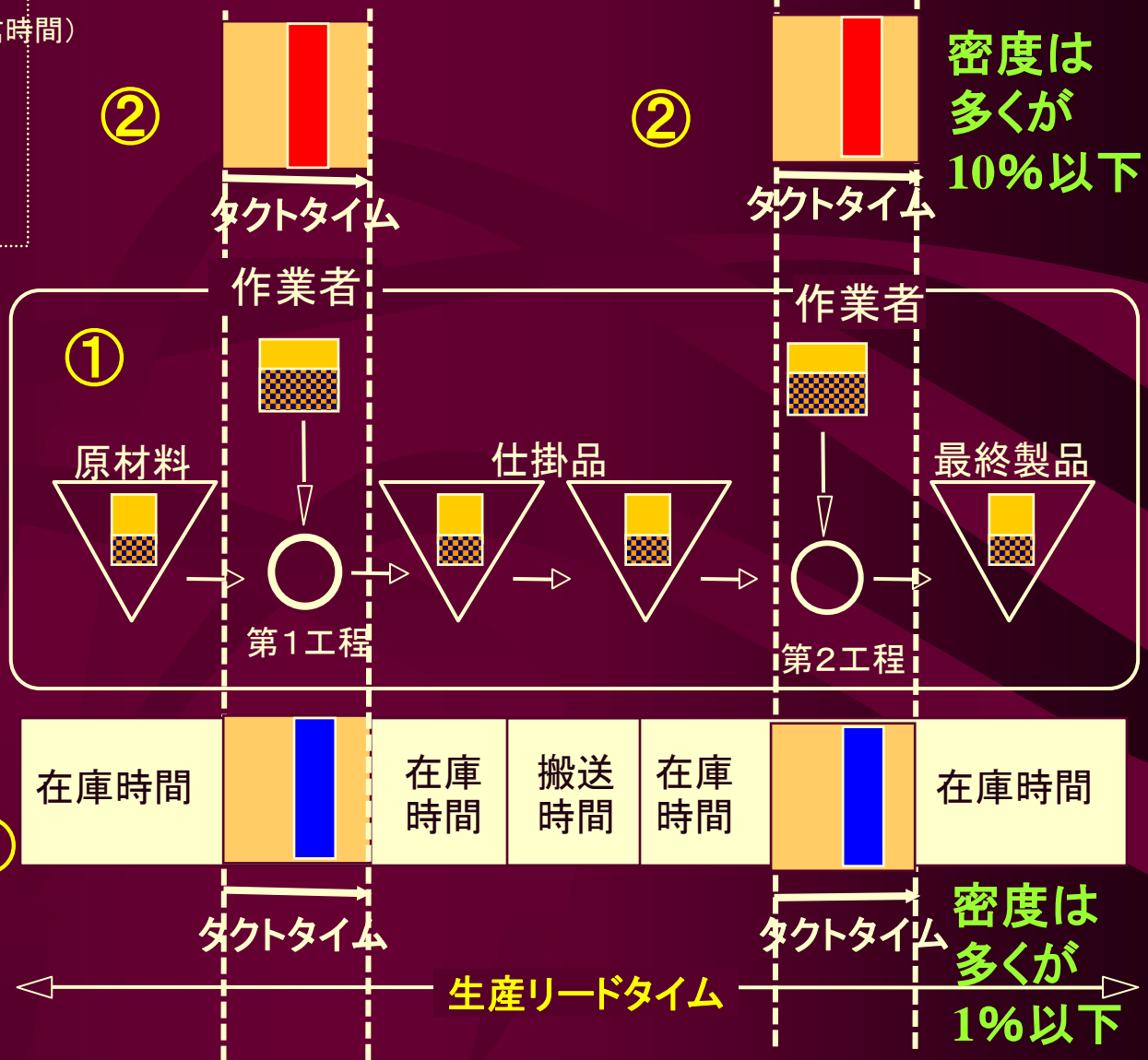


発信側(生産性)

受信側(リードタイム)

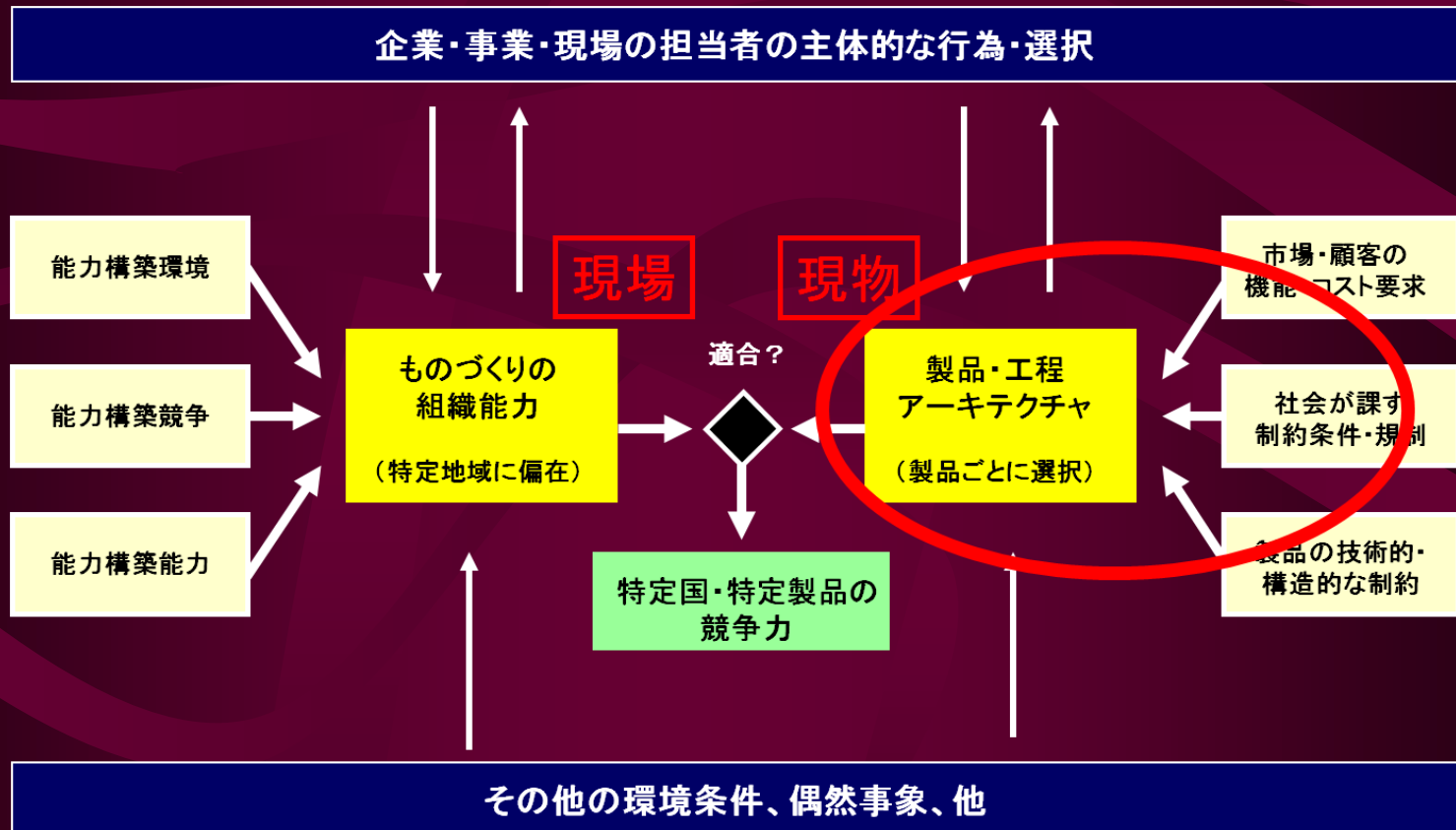
第1工程の生産性
(1個あたり工数)

第2工程の生産性
(1個あたり工数)



アーキテクチャによる製品の見極め

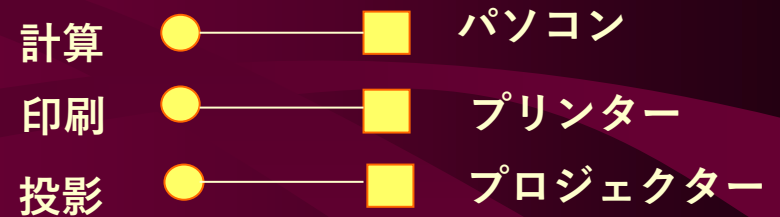
既成の産業分類という固定観念にとらわれずに、
現物の観察から日本の産業競争力を見極めること



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

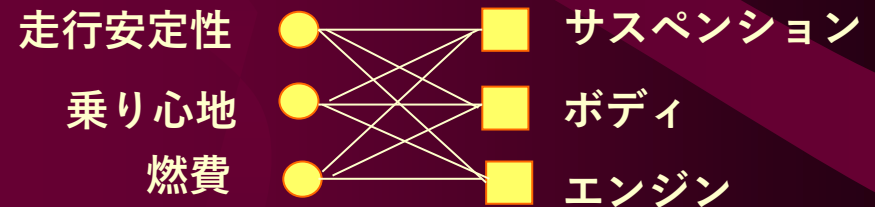


製品の機能

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

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



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 Toyota 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 GAFA パソコン、同ソフト、 インターネット、 新金融商品、自転車、

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」を組み合わせて
多くの種類の製品を作る



社内共通部品の
寄せ集め

	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 Toyota 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、 GAFA 新金融商品、自転車、

製品アーキテクチャの基本タイプ

汎用部品(異なる会社の製品で使える)は50%以上

	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 Toyota 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、 GAFA 新金融商品、自転車、



汎用部品の
寄せ集め



アーキテクチャの位置取り(ポジショニング)戦略

明確なアーキテクチャ戦略+コテコテものづくり能力+高シェア → 高収益

② 顧客の製品・工程は? .. 外アーキテクチャ

インテグラル(カスタム)

モジュラー(標準品)

価格設定
力を持つ

中インテグラル・
外インテグラル

日本の自動車・2輪部品
自動車用樹脂
システムLSI
コピー・プリンタ消耗品..

中インテグラル・
外モジュラー

インテル、シマノ(ギア)
信越化学(半導体シリコン)
村田製作所(コンデンサ)
超小型家電、プリンタ...

シェア1位
を取る

インテグラル

① 自社の
製品・工程は? ..
中アーキテクチャ

中モジュラー
外インテグラル

デル(カスタマイズPC)
デンソー(一部の部品)
キーエンス(ソリューション)
ダイキン(ソリューション)

中モジュラー・
外モジュラー

汎用樹脂、
汎用グレード鋼、
汎用液晶、DRAM...

モジュラー

ビジネス
モデル勝負

コスト勝負
日本苦手

I 電子のアーキテクチャ戦略

外インテグラル
カスタム化
ローカル情報依存
営業費率高

外モジュラー
標準化(ナンバーワン戦略)
グローバル情報の収集
営業比率低

新製品

特定顧客のためのフルカスタム品
承認図方式が多い

標準品

内部は最適設計化
自社仕様製品として市場で販売

中インテグラル

設計費高
R&D費高

カスタム品

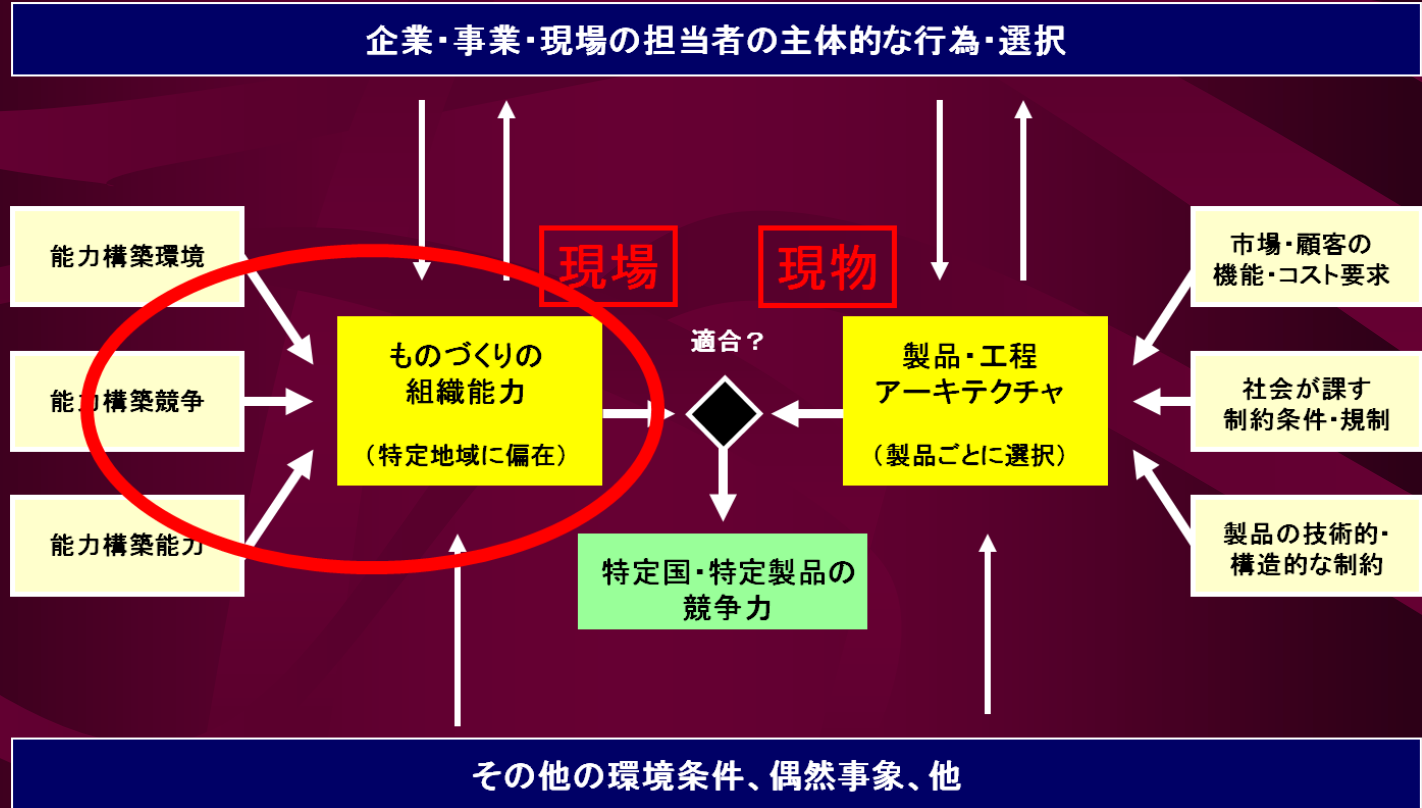
標準部品を活用したカスタマイズ品
承認図方式が多い

中モジュラー

設計費安
R&D費安

統合型ものづくりの組織能力

— 開発・生産・購買・販売を一気通貫でつなぐ —



「広義のものづくり」・・・付加価値は設計情報に宿る

製品とは設計情報が媒体＝素材に転写されたものである

プラトンとアリストテレス



アテナイの学堂・ラファエロ

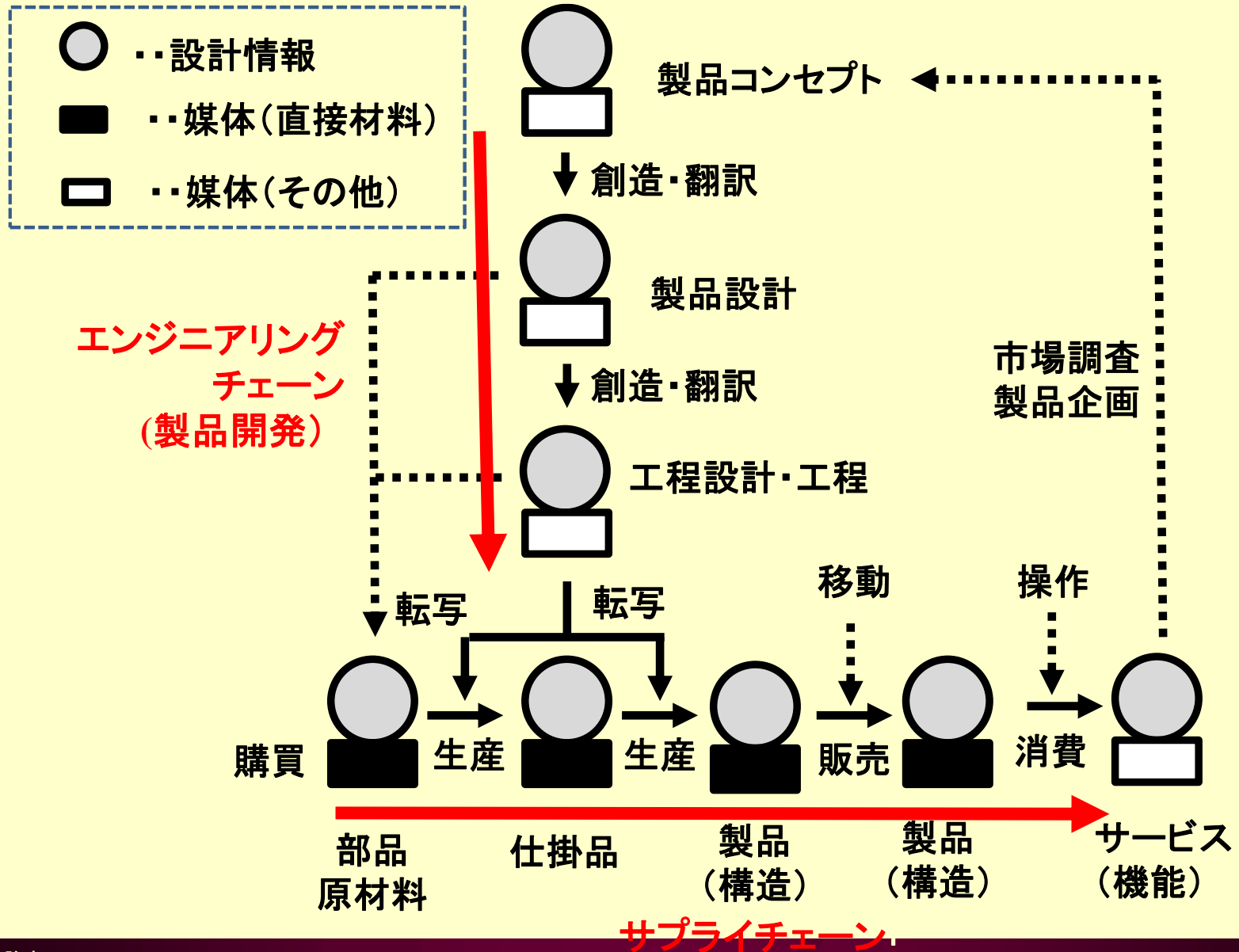
製品設計情報

媒体(メディア)＝素材

製品＝情報＋媒体

アリストテレス・・・個物(現物)＝形相(設計情報)＋質料(媒体)

設計情報のトータルな循環を良くすること・・・ものづくり



統合型ものづくりの能力構築

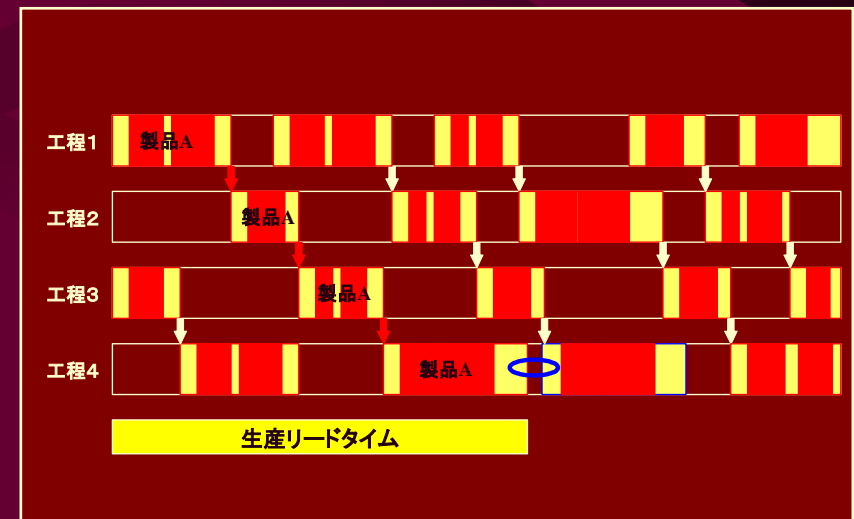
まず付加価値（設計情報）の流れを掴むこと

プロセス流れ図と時間流れ図をきっちり描く → 工夫してリードタイム短縮

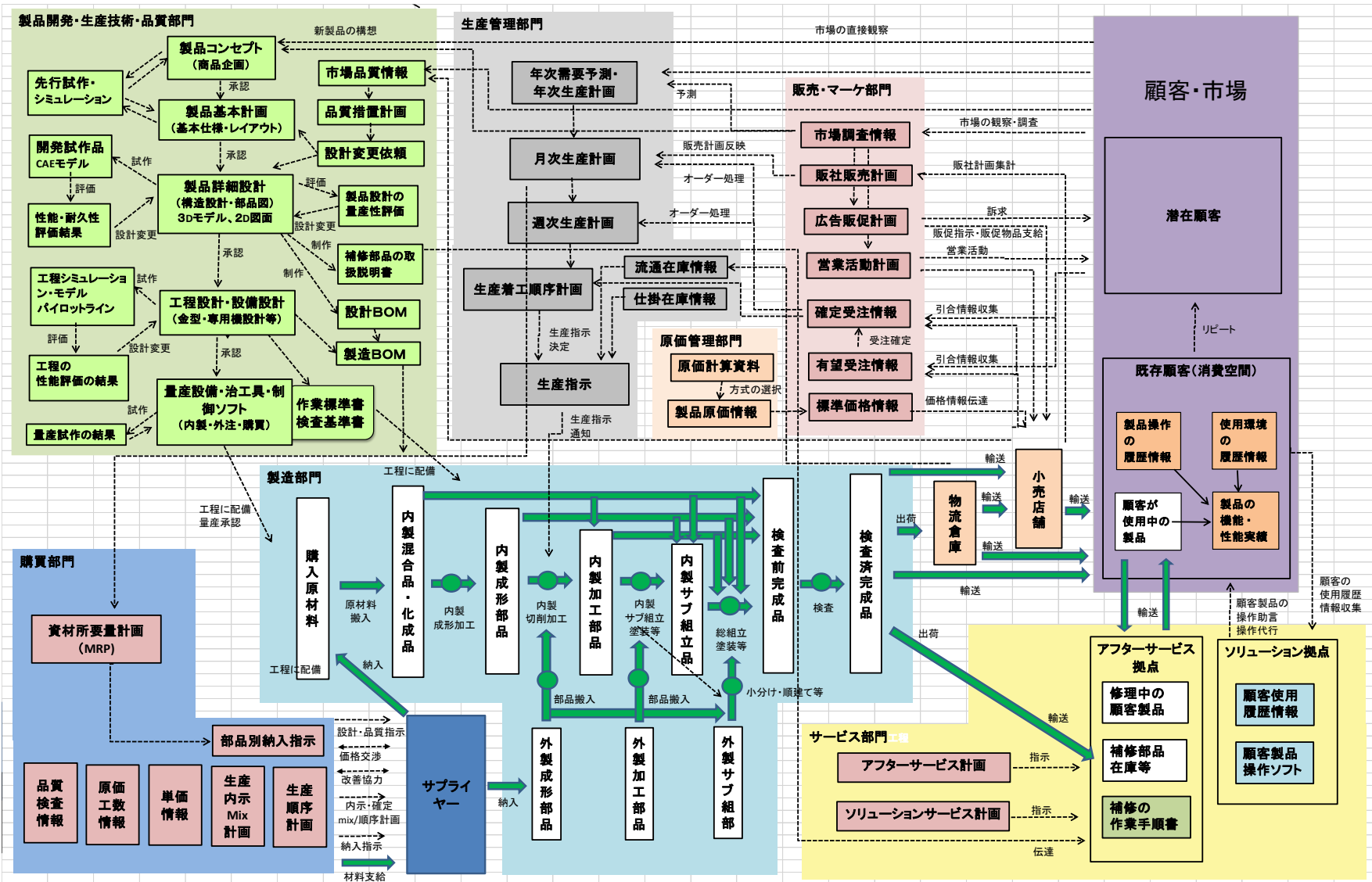
空間流れ図



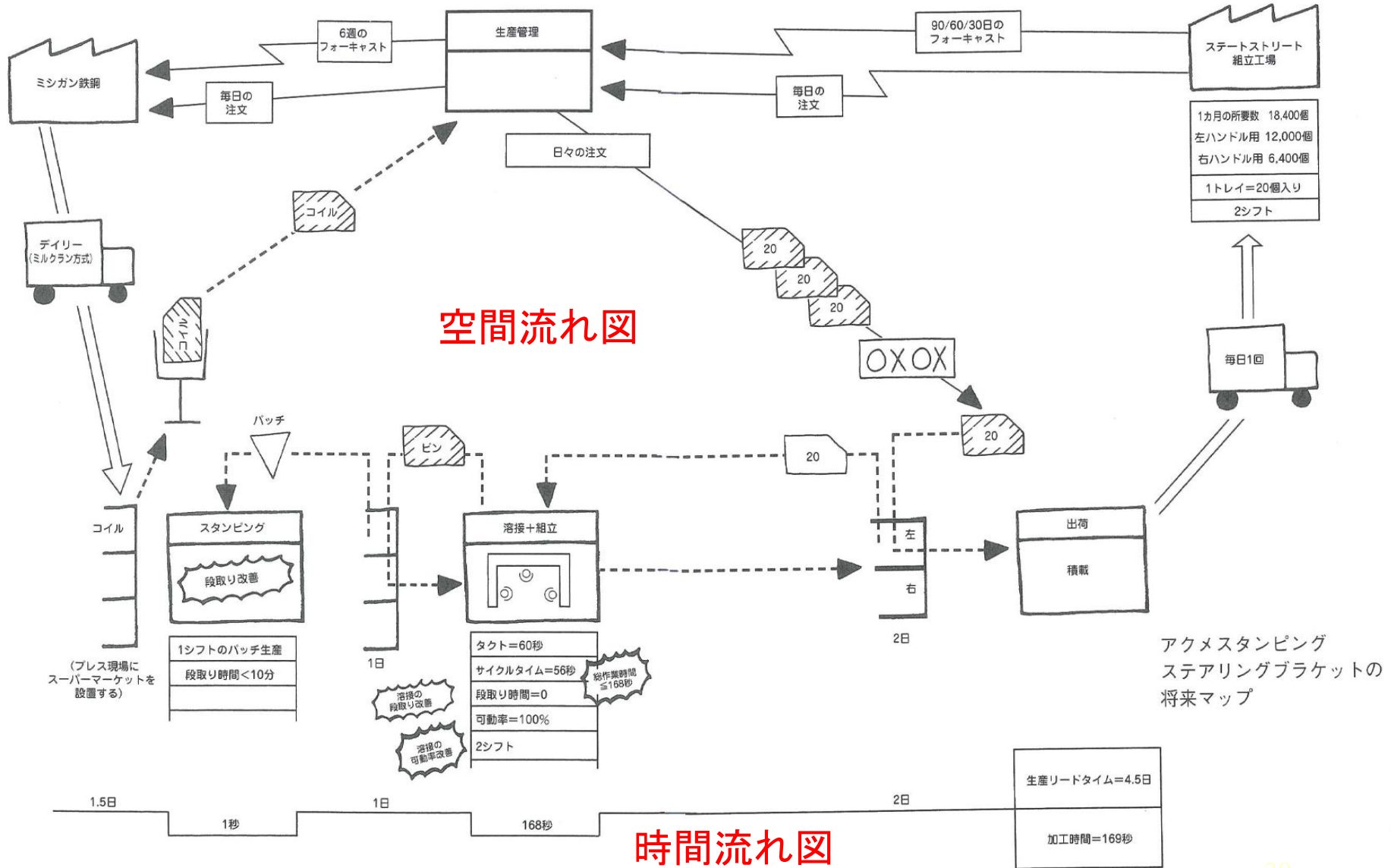
時間流れ図



全社流れ図 (高高度の空間流れ図)

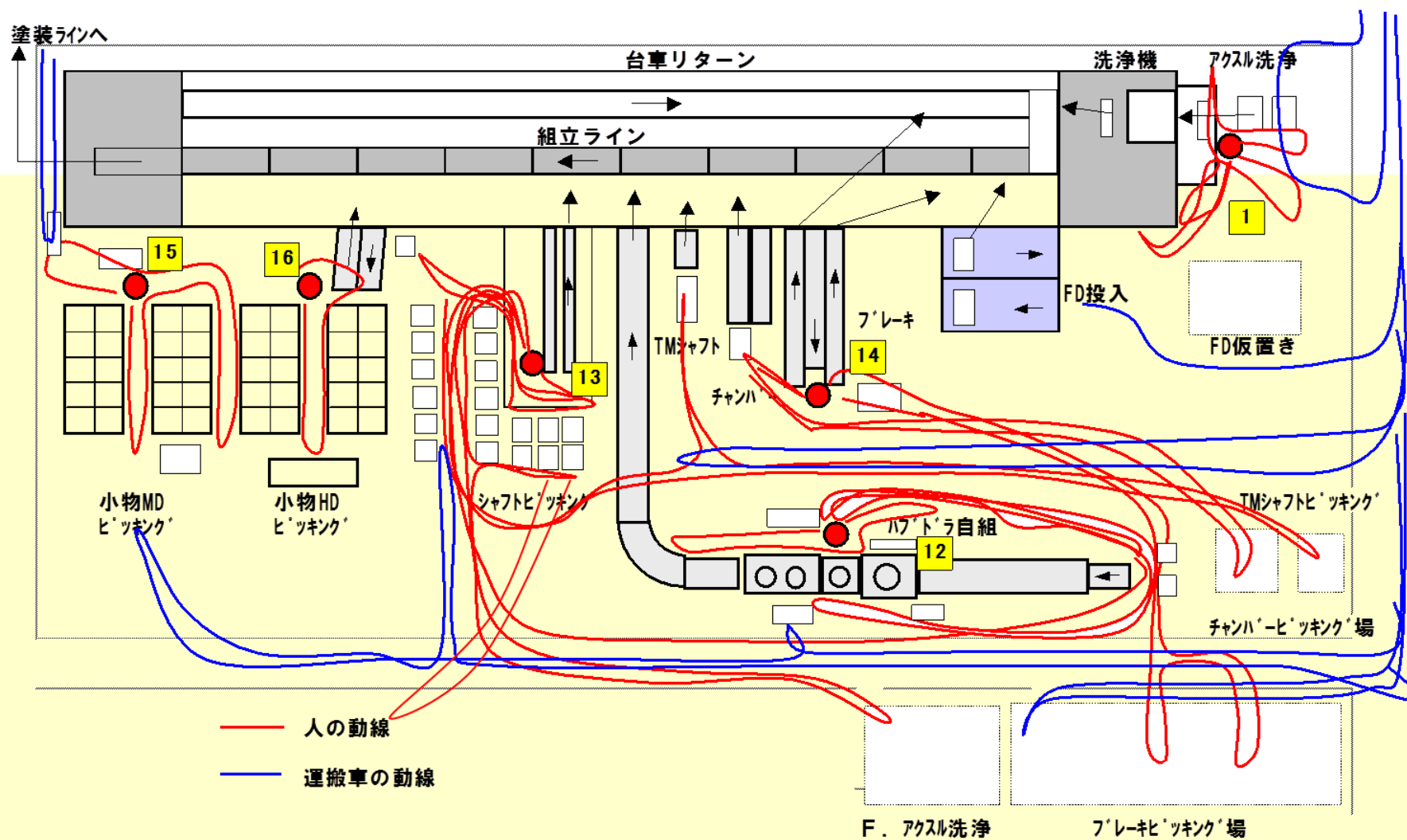


ものと情報の流れ図 (Value Stream Map): (中高度の空間流れ図)

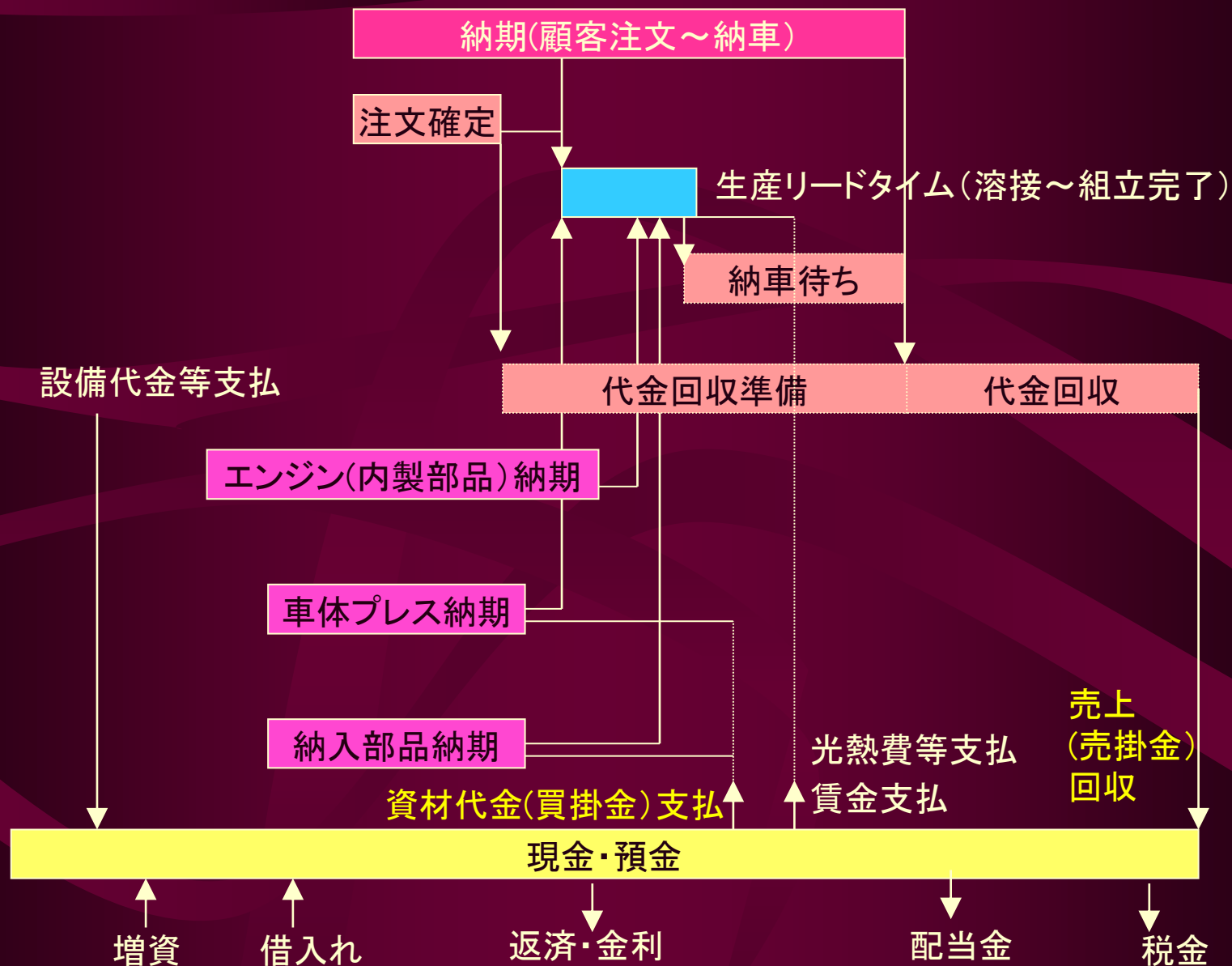


レイアウト上の流れ図(作業者の動線の例):

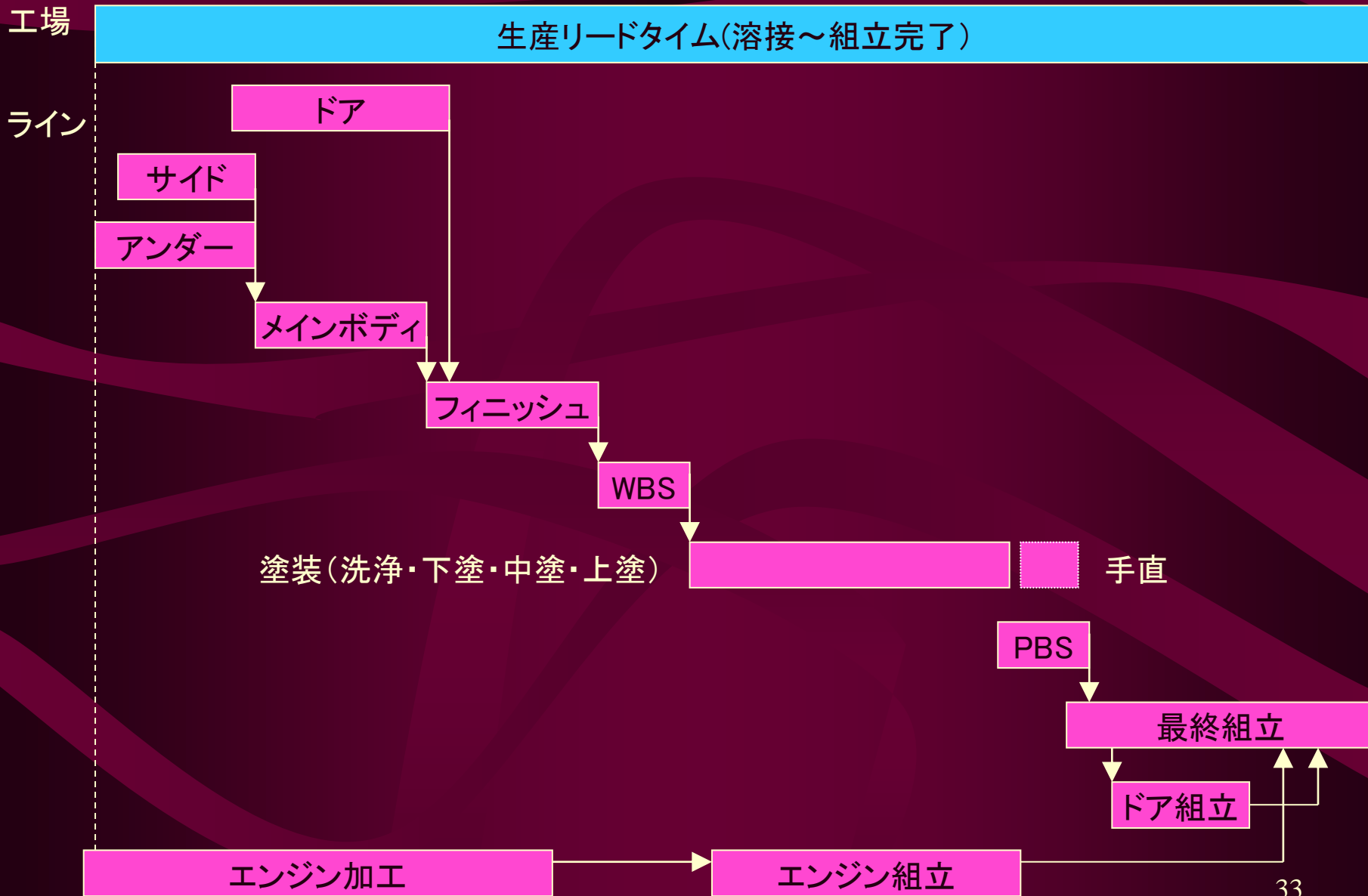
低高度の空間流れ図



資金循環・納期・生産リードタイム相関図: (高高度の時間流れ図1)

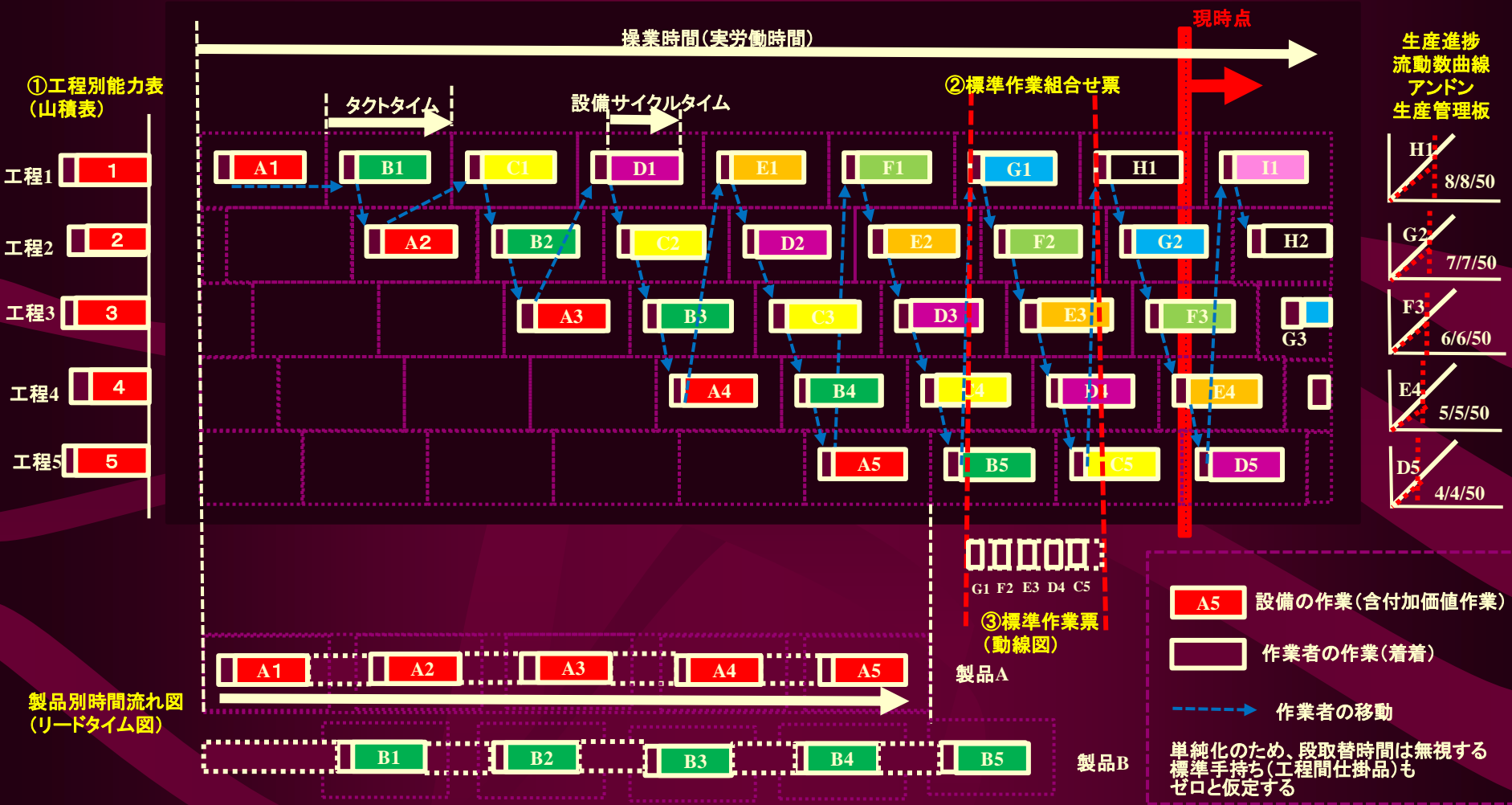


生産リードタイム全体図 (中高度の時間流れ図)



このような「流れ図」がアニメのようにリアルタイムタイムで動くのが 工場のサイバーフィジカルシステム

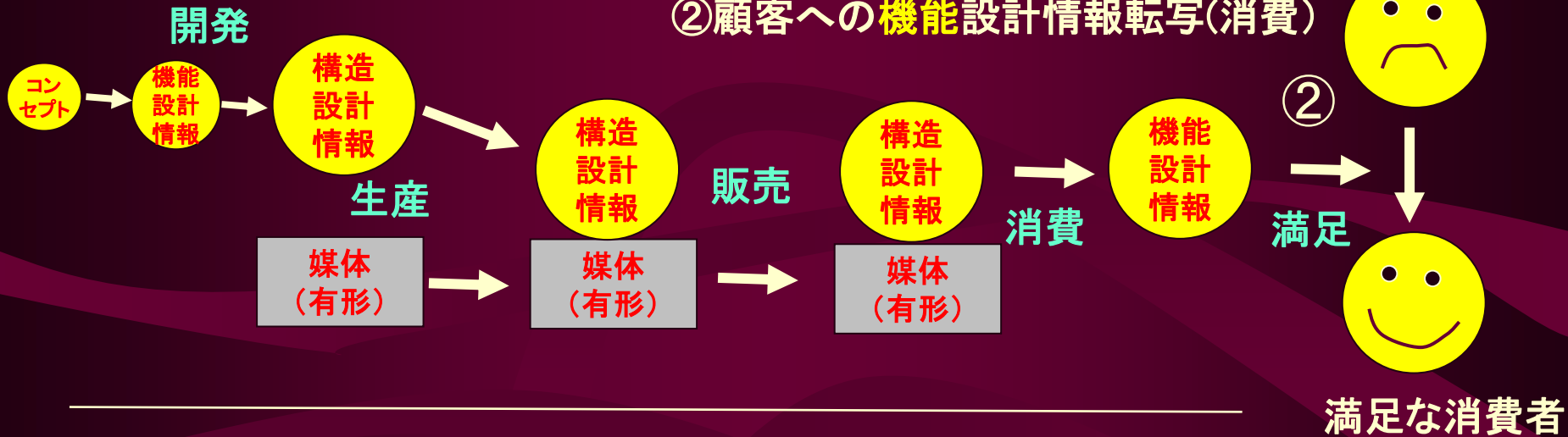
(生産管理における「列車ダイヤ図」と標準三票 自動送り機械作業の場合)



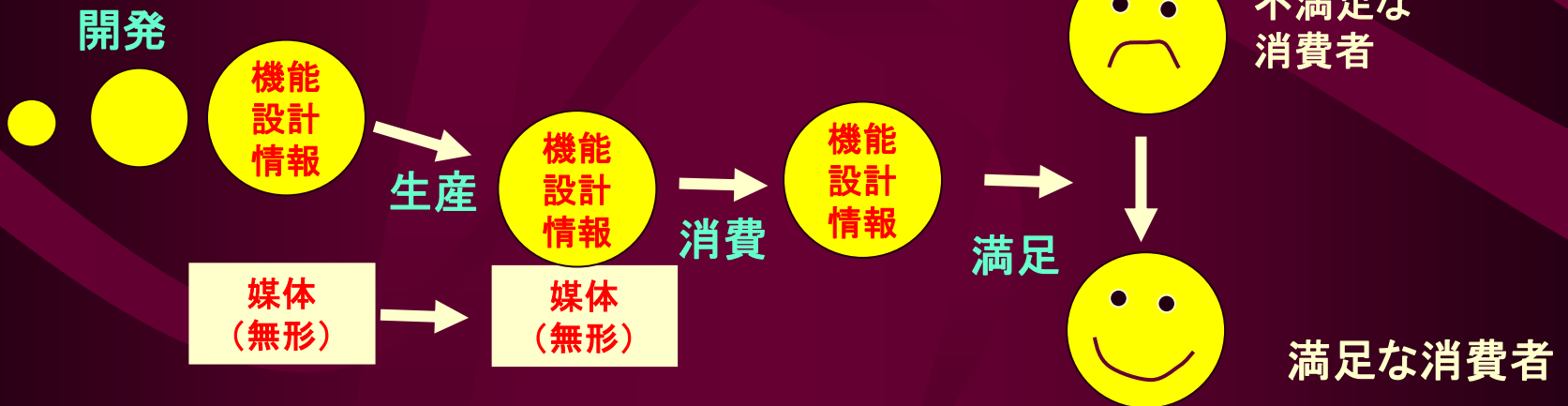
100インチモニターで、このCPSアニメーションが、1階(工場フロア)でも、2階(制御室)でも、3階(役員室)でも見えているイメージ

物財(有形媒体)とサービス(無形媒体)

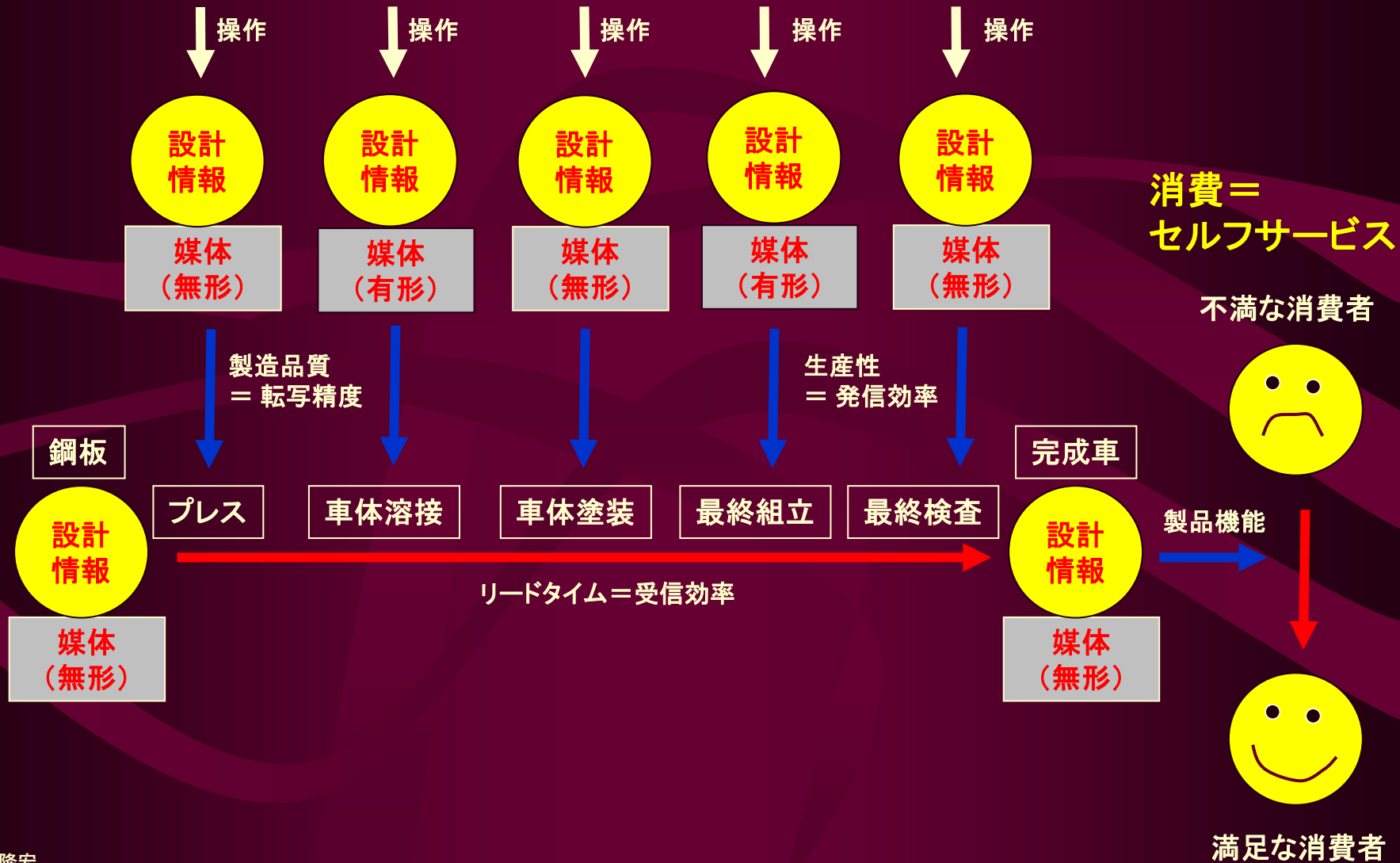
物財(有形媒体) ... 2段階転写: ①媒体への構造設計情報転写(生産)
②顧客への機能設計情報転写(消費)



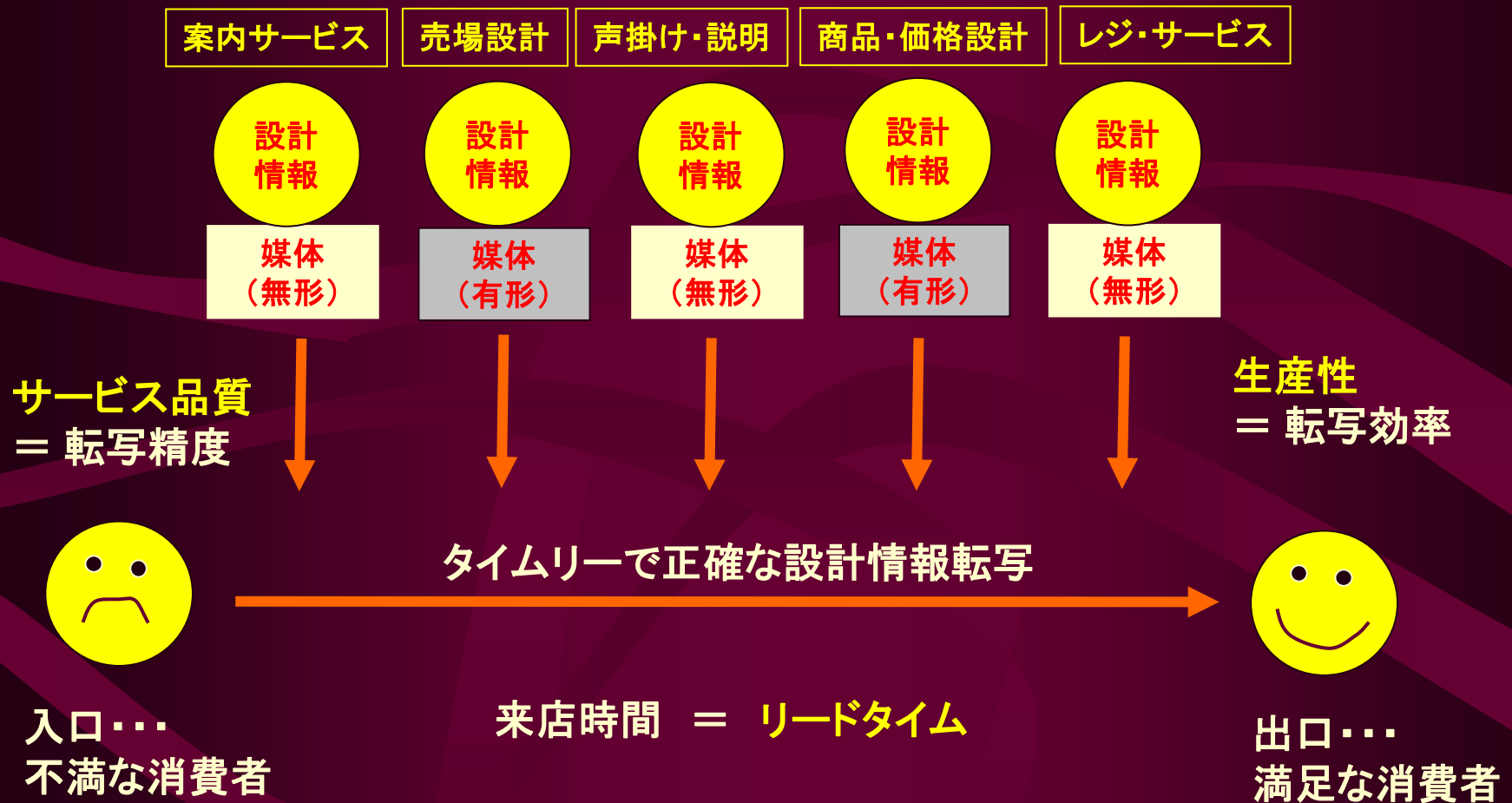
サービス(無形媒体) ... 顧客への直接転写



製造現場での「良い流れ」作り・・・自動車組立の例



サービス現場での「良い流れ」作り・・・スーパーの例



応用編 「大きなSDG」を同時に考える

Sustainable (サステナブル)

Digital (デジタル)

Global (グローバル)

良い設計の良い流れを作る「ものづくり」の原則は不変

サステナブル (SDGs)

国連の17目標、すべて重要。
特に今は地球温暖化と感染症克服
しかし羅列的。体系的ではない
受け身の「怒られないためのSDGs」
にならないように要注意
日本には「三方良し」がある。自信を

S

良い設計の良い流れ
「開かれたものづくり」の実現で
より良い人の人生、企業の商売を

D

デジタル (Digital)

2020年代も続く大変革期
ムーア法則は続く(2030年1.Xnm?)
2010年代: cyber-to-cyber/matching
→
2020年代: cyber-to-physical/control
Controlに強い日本企業もチャンス

グローバル (Global)

ヒト・モノ・情報・カネ・病原体が動く
自由貿易への傾向は結局は続く?
米中摩擦の経済インパクトは?
比較優位原則は依然重要
「設計の比較優位」の追求は続く
特徴を伸ばせ。流行のマネではダメ

G

大きなSDG(1) …… サステナブル(S)

サステナブル(SDGs)

国連の17目標、すべて重要。
特に今は地球温暖化と感染症克服
しかし羅列的。体系的ではない
受け身の「怒られないためのSDGs」
にならないように要注意
日本には「三方良し」がある。自信を

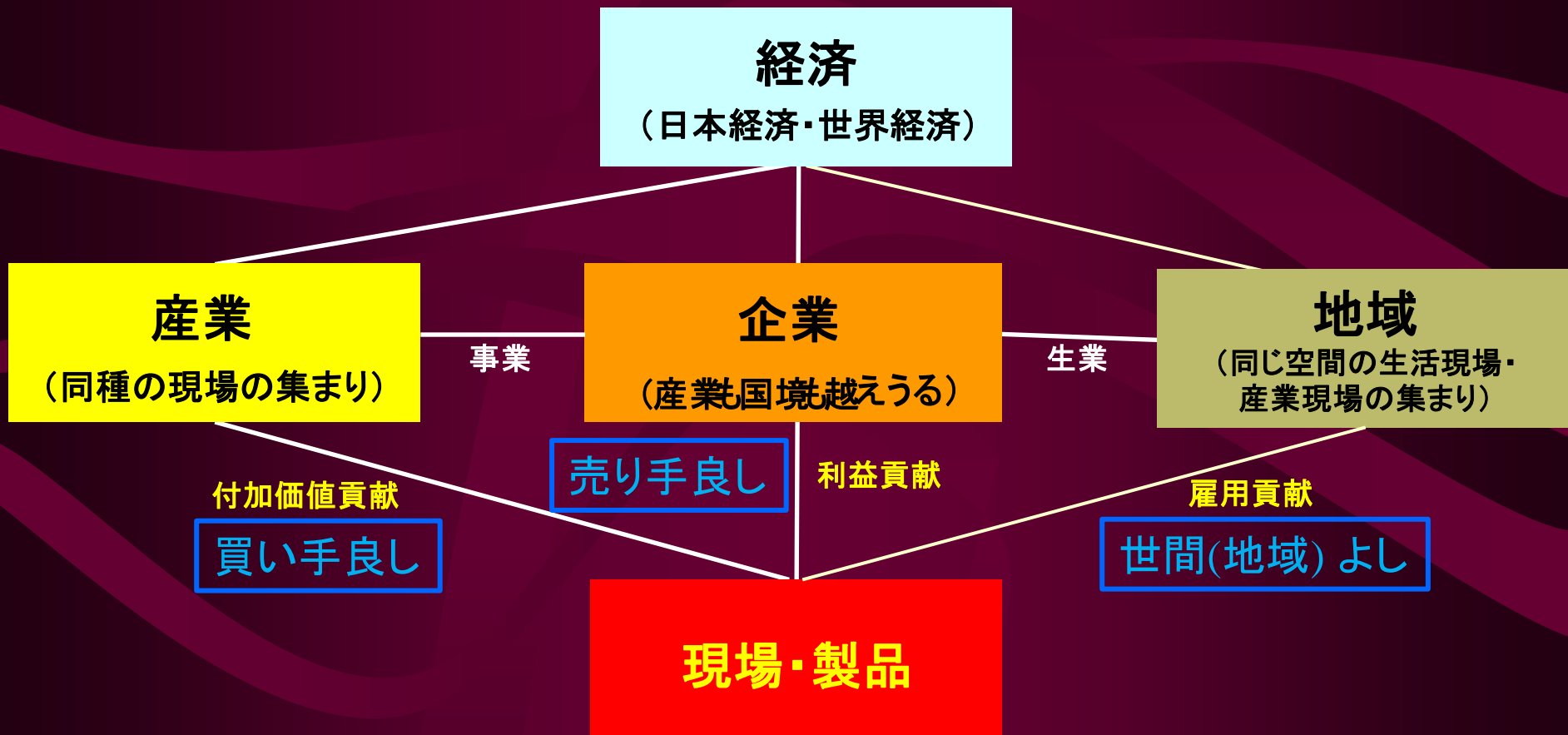
S

- ・原点としての「三方良し」…日本の隠れた強み
- ・災害にも競争にも強いサプライチェーン
- ・地球温暖化に対しては「総力戦」対応を

良い設計の良い流れ
「開かれたものづくり」の実現で
より良い人の人生、企業の商売
の流れ作りを

経済の土台は現場・現物である

— 「三方良し」は日本産業の隠れた競争力要因 —



目指すは「サステナブルなリーン生産方式」 (Sustainable Lean Production)

組織能力

ものづくり組織能力
(トヨタ方式・リーン方式)

収益力 (企業が選ばれる力)
表の競争力 (商品の力)
裏の競争力 (現場の力)

経営哲学

「三方よし」の経営思想

売り手よし (利益)
買い手よし (顧客満足)
世間よし (雇用安定で地域貢献)
(For the customer, for the
shareholder, for the community)

相互補完的

生産性向上
利益確保

社会貢献
地域雇用安定

顧客・利益・地域雇用を全て重視する
サステナブルなものづくり・トヨタ方式・リーン方式

感染症時代のサステナブルものづくり戦略

基本的な考え方：

- **災害は忘れる前にやってくる。**
見える災害(地震、水害、火災...)、見えない災害(感染症...)
- **しかし競争は毎日やってくる。**
競争力を維持しつつ、災害復旧力、代替生産力、感染防御力を強化
- 感染症対策により、リモート化、デジタル通信化が進展。「**仮想現場**」の登場
 - ① **勤務場所のリモート化** (例:テレワーク・在宅勤務) → 例:オンライン会議
 - ② **職場内のリモート化** (例:工場内での作業者間のリモート化) → 例:工程再編
 - ③ **制御のリモート化** (例:生産工程のリモートコントロール化) → むしろ現場能力構築？

「見えないグローバル災害」は未知の領域

「見える国内災害」(visible domestic disaster) : これまでは主にこれ

「見えないグローバル災害」(invisible global disaster) にも、
災害大国日本の産業に蓄積されたノウハウ・組織能力は応用できる

災害大国日本の中で蓄積してきた「見える国内災害」への対応能力を、
「見えないグローバル災害」への対応にも活用して、国際的にみても高い
サプライチェーンの継続性 (supply chain continuity) を発揮できるか

見える物理的災害

自社やサプライヤーの「工場の中」が被災する



対策

日頃の予防策と、被災時のサプライチェーン早期復旧能力
(capability of supply chain recovery)



- ① 被災現場の「その場の復旧能力」
(capability of on the spot recovery)
- ② 代替生産の能力
(capability of substitutive production)

「見える災害」の対応策

品目ごとに、期間需要量、在庫量、復旧期間、代替生産準備期間を緊急調査

「在庫量 ÷ 期間需要量 = 在庫期間」で
在庫期間を把握

災害自体で需要急増する製品（医療用品やマスク）
・・・需要急増で在庫期間急減..要注意

サプライチェーン頑健性のための3つの方策

全体として「**サプライチェーン復旧期間<在庫期間**」
(供給が止まらないこと)が目標

- ① 「被災現場復旧期間<代替生産準備期間」なら
「**その場復旧**」に全力投入(代替生産はバックアップ)
- ② 「在庫期間<被災現場復旧期間」かつ
「代替生産準備期間<被災現場復旧期間」なら、
被災現場復旧まで「**一時的な代替生産**」
- ③ 被災工場の復旧が長期的に困難なら「**恒久的な生産地切替**」
(同企業他拠点優先 → 他企業あるいは内製化の順で検討)

「見えない災害」への対処 — 外に対する防御

① 「見える災害」

被災するのは工場の中。対策は中の「復旧」(recovery)

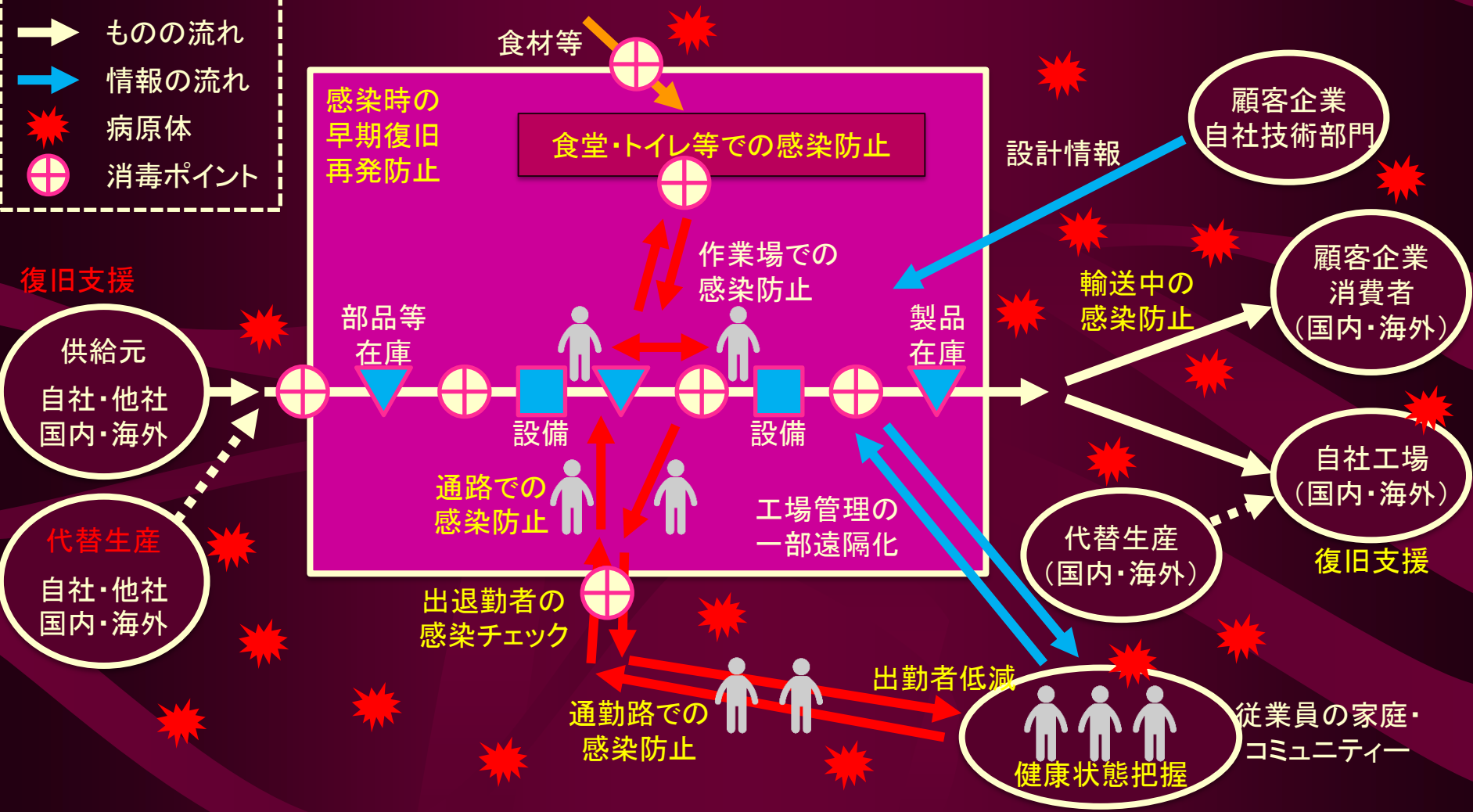
② ウイルスによる「見えない災害」

被災しているのは工場の外。対策は、外に対する「防御」(defense)

「水攻めにあった城の防衛」に近い
存続に必要な兵糧は搬入、外からの感染侵入を防ぎ、中での感染蔓延を防ぐ

感染拡大に対する生産拠点の「防御力」 — 人ともとの情報の流れ図

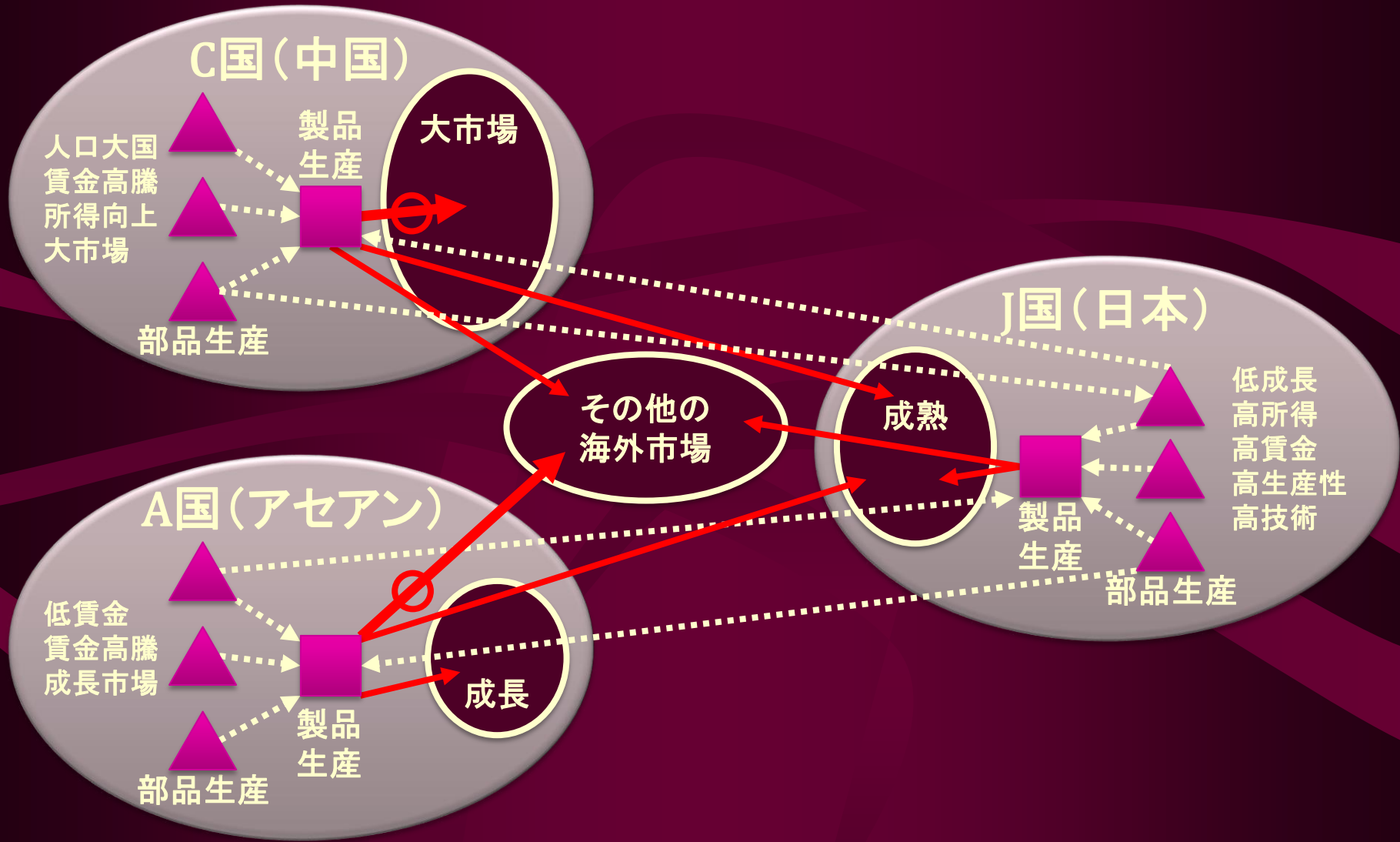
-  人の流れ
-  ものの流れ
-  情報の流れ
-  病原体
-  消毒ポイント



図から：新型コロナウイルス感染に対する工場の防御能力

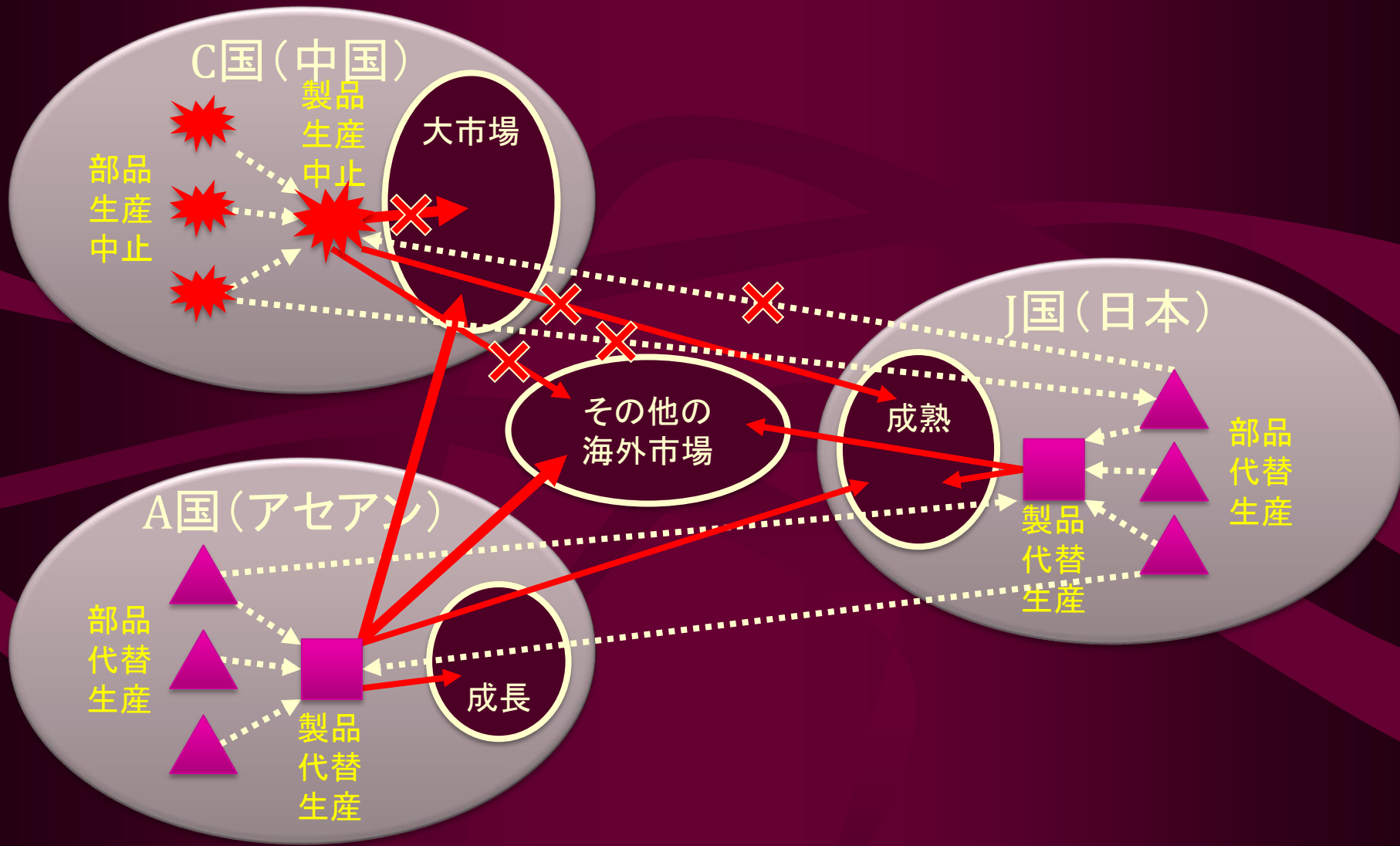
- ① 工場出入口での出退勤者・来訪者の**出入管理**(感染者の入出構防止)
- ② 工場内に搬入される**資材・食材等の衛生管理**
(汚染資材等からの接触感染の防止)
- ③ 工場内の**衛生管理**(手洗い、消毒、その他)
- ④ 工場内でのクラスター感染の防止のための**物理的距離**や**時差**の確保
(手渡しライン中止、コンベア復活、洗浄消毒工程挿入、ライン数増加、一人屋台方式、自動化・無人化、通路の一方通行化、集合朝礼の停止、コミュニケーションの遠隔化、交替制の時間差の拡大、時差入構による始業時の混雑防止、他)
- ⑤ **出勤者数の低減**(事務職・技術職等の在宅勤務、操業の計画休止・減産、他)
- ⑥ **通勤退勤時の感染防止**(公共交通機関の回避、通勤者ライドシェア等)
- ⑦ 従業員の**在宅時**の健康状態把握・健康管理支援
- ⑧ 工場から搬出される**製品等の衛生管理**(汚染製品の出荷防止)
- ⑨ 工場内で感染者が発生した場合の、迅速な洗浄消毒作業などによる**早期の工場復旧**
- ⑩ 被災した川上・川下の自社工場・サプライヤーの**復旧支援**

アフターコロナ時代のグローバルサプライチェーン(アジア) — 平時はあくまでも国際競争力を重視 —



アフターコロナ時代のグローバルサプライチェーン (C国非常時の場合)

— 被災時には、サプライチェーン頑健性モードにスイッチ —



平時は競争力(competitiveness)ファースト 緊急時は継続性(continuity)ファーストで

平時

業態や企業方針に応じて、① 国際競争力を無理なく維持できるグローバル・サプライチェーン、
② あるいはローカル完結サプライチェーンを維持。

緊急時

現地の復旧能力とともに、被災長期化の場合は、国内に設計情報を移転して、国内代替生産を迅速に開始できるような、代替生産能力、および国内部品等を活用する代替設計能力を、日頃から鍛えておく。
中心となる最もロバスタな中核拠点は、比較優位製品であれば日本であろう。

平時と緊急時でモードを迅速にスイッチできる サプライチェーン柔軟性を

- ① 平時がグローバルサプライチェーン優位と判断される場合、無理なローカル化ではなく、いざとなればローカル切替ができる「バーチャル・ローカル」なグローバル・サプライチェーンを構築する。常に国内外の復旧・代替能力を鍛えることが重要
- ② 平時がローカル完結サプライチェーン優位(地産地消)と判断される場合、ある地域が被災した場合は、他国で部品や完成品の代替生産切替ができる「バーチャル・グローバル」なサプライチェーンを構築する。常に国内外の復旧・代替能力を鍛えることが重要

大きなSDG(2) ... デジタル(D)

- ・デジタル化時代の「3層モデル」
- ・「ムーアの法則」(微細化)の再起動がカギ
- ・対上空戦略: 自社標準で売り切る
アーキテクチャ戦略
- ・対低空戦略: サイバーフィジカルシステムで
自社を、顧客を、勝たせる

デジタル (Digital)

2020年代も続く大変革期
ムーア法則は続く(2030年1.Xnm?)
2010年代: cyber-to-cyber/matching
→
2020年代: cyber-to-physical/control
Controlに強い日本企業もチャンス

D

良い設計の良い流れ
「開かれたものづくり」の実現で
より良い人の人生、企業の商売
の流れ作りを

デジタル化時代の現状認識： 重さのある世界とない世界の結合・・・ややこしい時代に

①重さのないデジタルな世界（情報・電子や論理法則が支配）

- ・・・ ネットワーク化、モジュール化、多様化が爆発的に進む
オープン・アーキテクチャになりやすい → メガプラットフォーム

②重さのあるフィジカルな世界（物理法則が支配）・・・サステナビリティが課題

- ・・・安全・エネルギー・環境の制約条件が厳しくなり、設計は複雑化
クローズド・インテグラル・アーキテクチャになりやすい

モノとコトは代替的ではなく補完的。「モノからコトへ」ではなく「モノからコトを」

デジタル化時代の日本のものづくり戦略 ...

①上空戦略・②低空戦略・③地上戦略

重さのない世界

①上空

①ICT層(サイバー)

インターネット、スマホ・システム、
ソーシャルネットワーク
セキュリティ、帯域保証など課題
オープン・アーキテクチャ、プラットフォーム
アップル、グーグル、アマゾン、フェイスブック

上空はcyber-to-cyber/マッチング
米国メガプラットフォーマーが制空権握る
彼らを相手に、有利な商売ができるか？

① 上空戦略

ものづくり組織能力で差別化
自社標準で、プラットフォーマーや
有力補完財企業に売り切る

②低空

③ サイバーフィジカル インターフェイス層

高度な情報解釈・翻訳・蓄積機能や
選択的透過機能を持つ工程別スパコン？
工場・工程の超インテリジェント化
インダストリー4.0の主戦場？
GE、IBM、シーメンスなど(日本は?)

② 低空戦略

売りっぱなしにせず
データ共有により
顧客プロセスを常時改善

③地上

② 現場・現物(フィジカル)FA

リアルタイム情報による「流れ」の最適化と改善
迅速なフィードバック、自動化、トヨタ式、TPM
現場の言葉で使いこなす「一回転寿司型IT」
クローズド・アーキテクチャ、製品勝負
トヨタ、VW、...通常の製造業

日本勢はコントロールの信頼性で
特定機器のアセットシェアは高い
アーキテクチャ戦略と
ソリューション・サービス化で
勝てる低空戦略を

重さのある世界

③ 地上戦略

得意なインテグラル製品の変種変量変流生産の能力を
協調型スマート工場のサイバーフィジカルシステムで強化

日本の統合型現場が得意な
擦り合わせ型製品の変種変量変流生産
を活かすのが、地上戦略の基本形！

上空と地上のアナロジー 1970s-80s (IBMとFAは別の世界)

上空

ICT システム

メインフレームの時代
IBM が支配
PC の勃興
インターネットはまだ

オープン・
モジュラー寄り

米国のプラットフォーム
盟主企業

第三次産業革命(電子が産業を動かす)は、
上空のICT と地上のFA / カーエレクトロニクス等が
別々に進化してきた

地上

質量のある物財産業・FA
(自動車、鉄、アナログ家電・・・)

ものづくり企業の活躍
顧客へ向かう「良い流れ」を作る
トヨタ方式、リーン方式、カイゼン

クローズド・
インテグラル寄り

日本のものづくり
優良企業

地上の競争:地道なプロダクト間競争

物理法則の働く世界。クローズド・アーキテクチャ、
製品間競争、現場間の能力構築競争、
比較的少数の寡占競争、revolutionというよりはevolution(進化)
人工物＝製品は複雑化(安全・燃費・環境・機能)

中クローズド・
アーキテクチャ



比較的ストレートな製品間のコスト・性能競争

High Sky
ICTSystem
Mainframe Computers
IBM
PC Emerging
Internet Not Yet

Ground
FA System (Process/Equipment in Genba)
Physical World: Cars, Steel, Analog TVs
Good Flow of Good Design Info. to Customers.
Genba, LT, Productivity, Quality
Lean/TPS/TQM Kaizen

上空(ICT)の大きな変化 (1990年代) プラットフォーム間競争の出現

上空

質量の無い ICTの世界

サイバー、デジタル
インターネット、クラウド。
AI、データセンター
しかしEverythingではない
セキュリティや帯域保証に問題

重さの無い世界、デジタル情報革命
オープンアーキテクチャ、業界標準、
破壊的イノベーション
米国プラットフォーム盟主企業
が席卷
プラットフォーム間競争

地上

質量のある物財の世界

フィジカル・インダストリー
(自動車、工場、エネルギー他)

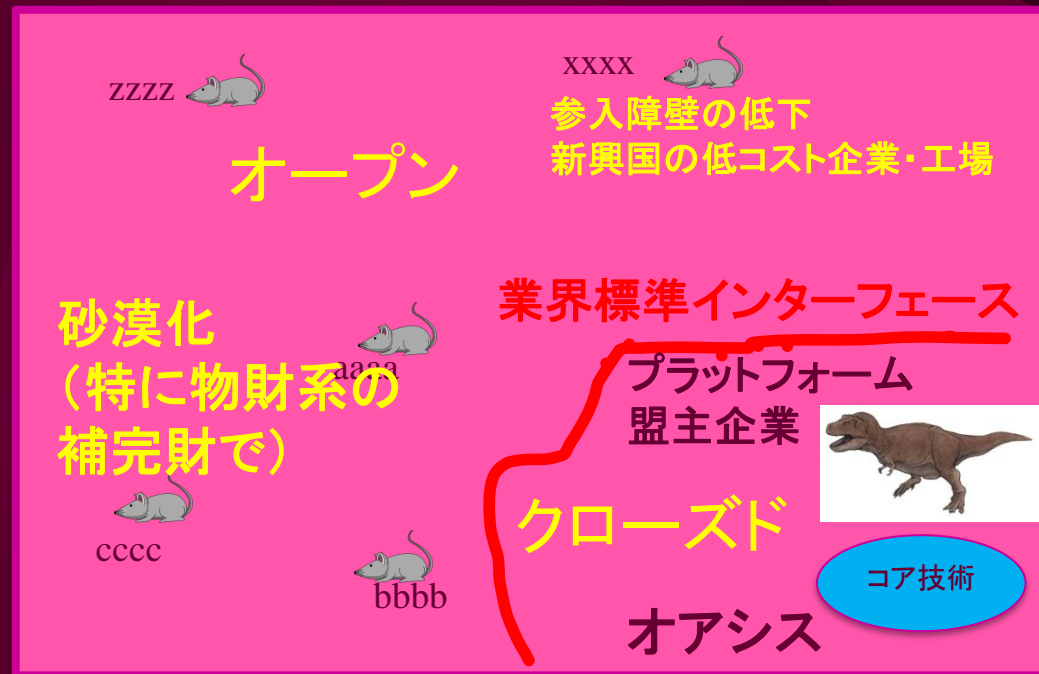
重さの有る世界、アナログ
クローズドアーキテクチャ
地道な進化と改善
寡占的な製品間競争
ものづくり、能力構築競争
トヨタ生産方式
リーン生産方式

「上空」の大変化と日本企業の苦戦

コア技術を持つ企業が、業界標準インターフェースの創造によりプラットフォーム盟主企業に化ける（補完財とのネットワーク効果）

「オアシス」の建設と、サバンナの「砂漠化」（特に物財系補完財で）
ポスト冷戦期の低賃金新興国対抗と重なった歴史的偶然
日本のエレクトロニクス系企業の大不振

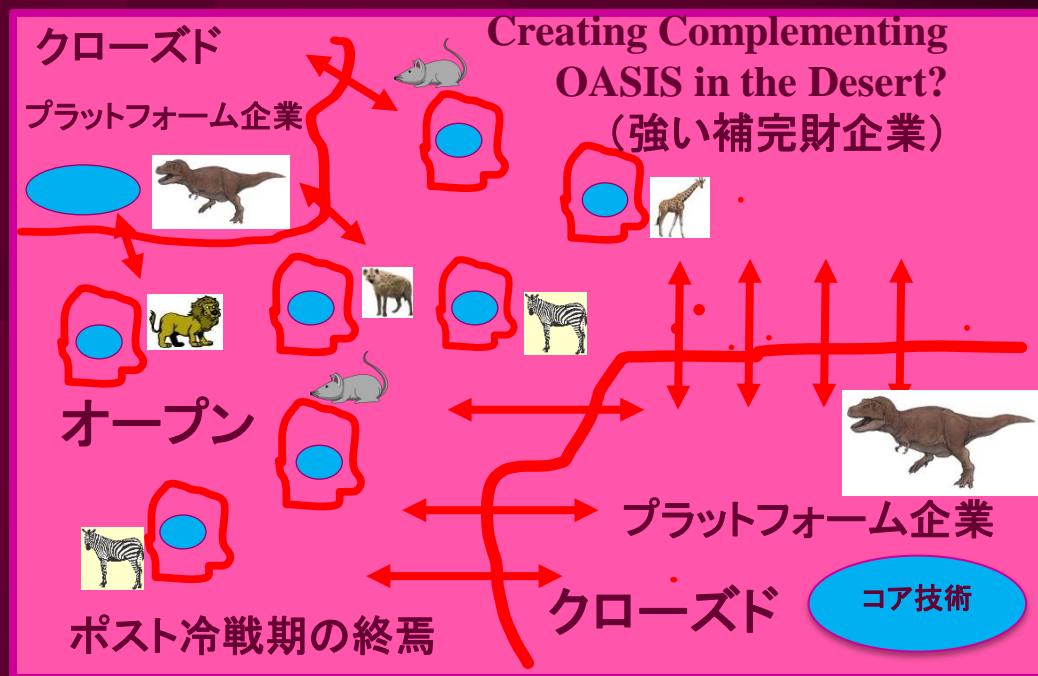
中クローズド
外オープン
アーキテクチャ
位置取り戦略



「上空戦」の基本：自社の標準で上空につなげる

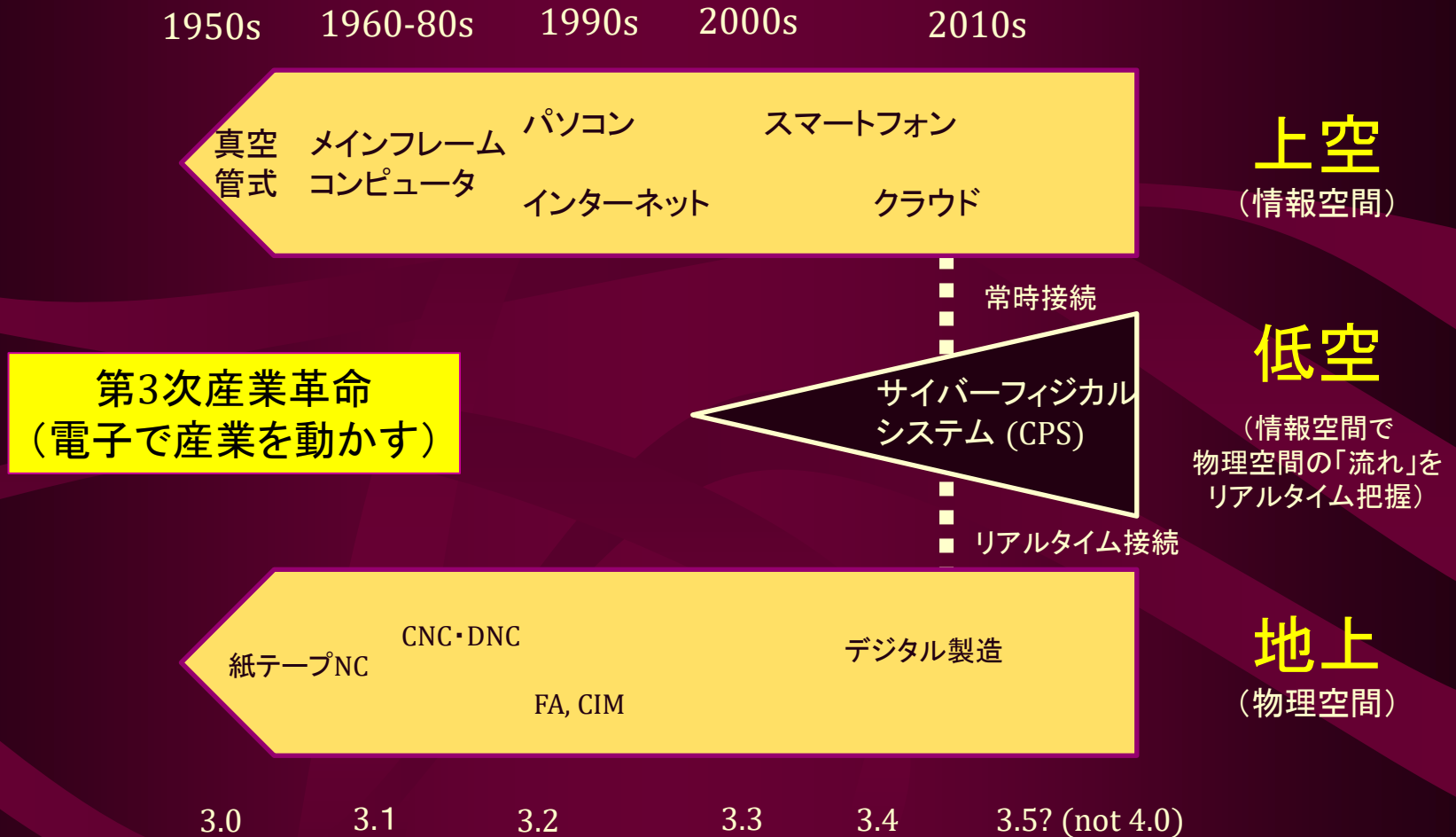
「強い補完財」戦法による砂漠の「再緑化」の可能性

中クローズド
外オープンの
アーキテクチャ
位置取り戦略



プラットフォーム盟主企業と「強い補完財企業」の共存
流れの良い強い現場と、業界標準を取れる強い本社の相互補完
『砂漠の再緑化』の可能性 ・ ・ 村田製作所、ソニーCMOSセンサ

2010年代には、サイバーフィジカルシステムと共に「低空」が発達した



2010年代・・・「低空」 = インターフェース層の出現 (工場自動化の例)

上空

ICTシステム

サイバー、デジタル、クラウド
IoT? IIoT?
インターネットは重要だが、
全てではない

上空は質量のない世界
オープン・モジュラー・アーキテクチャ中心
グローバル標準インターフェースがカギ
ネットワーク外部性、補完材
プラットフォームリーダーの爆発的成長
米国勢が制空権を握る)

Google, Amazon, Apple Facebook

低空

FA-ICT インターフェース

サイバーフィジカル、デジタル・インダストリアル
地上から湧き上がるビッグデータの
高速での処理、意味づけ、仕分け
安価にコネクタブルなインテリジェント工場機能

「上空」とは役者が異なる。
フィジカルの分かる企業がサイバーへ
台頭する Siemens, IBM, GE, --
IIoT, インダストリー4.0の主戦場
日本勢は? 日本とアジア?
「天下三分の計」にもっていけるか?

地上

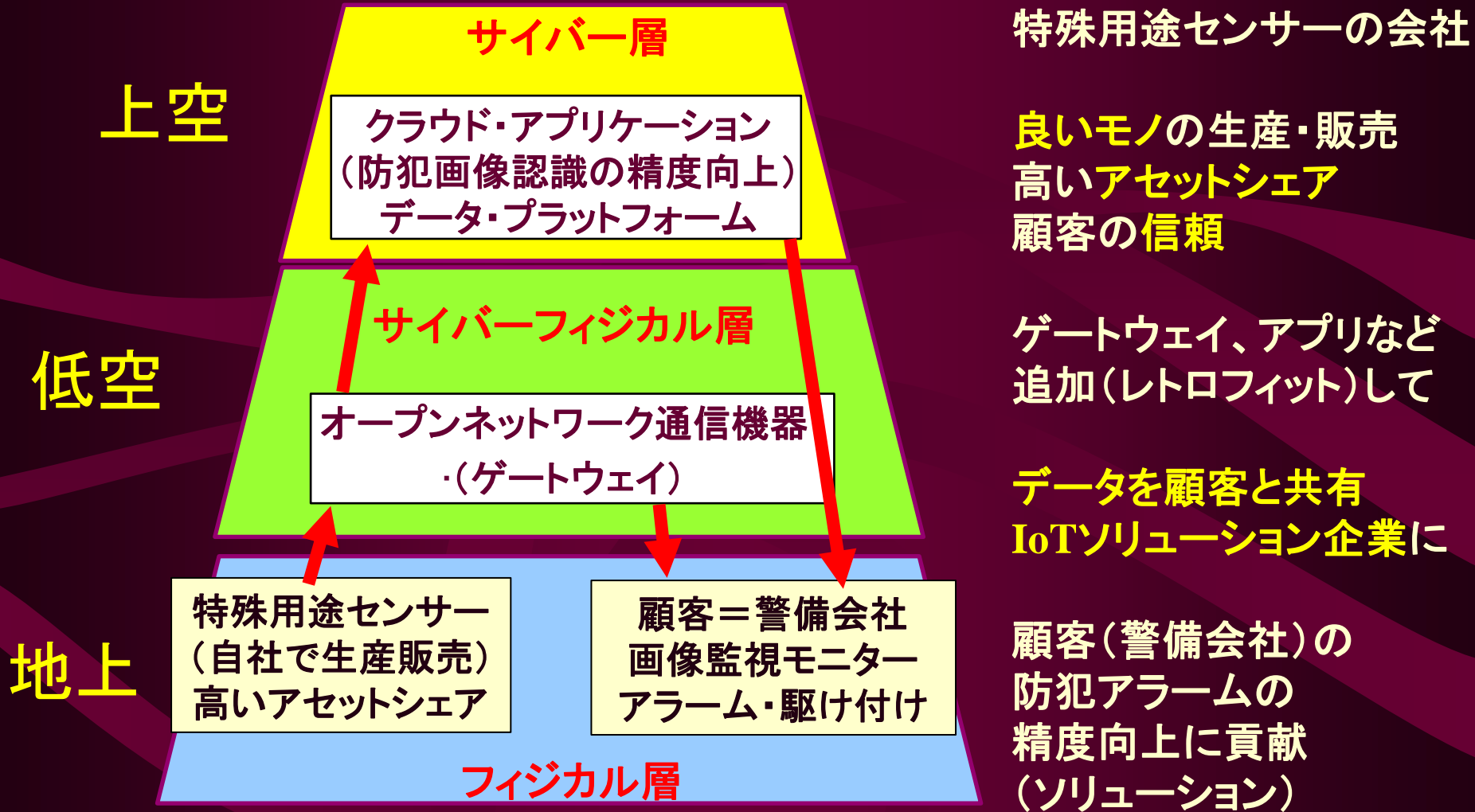
フィジカル(現場、工場)

良い設計の良い流れ(広義のモノづくり)を実現する
統合型ものづくりIT
軽くて誰でも使えるITツール(FoA, VXL, CAIなど)
どこにセンサーを付けどのデータをとるかのセンス

質量がある世界。物理法則の制約
安全・環境・資源・・・サステナブル
革命、破壊というよりは
進化、能力構築、積み重ね
ものづくり能力構築、トヨタ式

低空戦略の例:

〇社(日本)のIoTソリューション・ビジネスモデル



低空戦の本格化は2020年代か

- 低空層の中核システムは、地上とリアルタイム、上空とオールタイムでつながり、地上の動きを写し取る**デジタルツイン**、**サイバーフィジカルシステム(CPS)**
CPSには接続デバイスの**CPSモジュール**が要求され、そこにはCPU、GPU、メモリー、5Gチップ、AIチップ、アンテナなどが集結する必要がある(安井2020)。
- 特に5G・AIチップには最先端の半導体が必要。ムーアの法則の続行が必須。
しかし2010年代の大半、**ムーア法則は減速**。トランジスタ当たりコストは下がらず。
このため、CPSモジュールのコストも下がらず。CPS導入も進まない。
- しかし2018年ごろから、技術的隘路であった露光装置のEUVレーザー技術に革新
ムーア法則が復活、量子コンピュータ実用化も含め、CPSの供給側の隘路は緩和
- **需要側**でも、スマートフォンの次の大需要がなかなか見つからない。
2010年代には、スマートグリッド、3Dプリンター、インダストリー4.0、自動運転車が「次はこれだ」と喧伝され、**流行と幻滅のサイクル**を繰り返した。
- しかし、ムーア法則の再起動で、CPSモジュール価格が、数十万円→数万円→数千円と下れば、購買力に応じ、**デジタル製造→自動運転車→家庭向けスマートグリッド**といった順番で、寝ていた潜在需要が顕在化の可能性(安井2020)。
- 供給・需要の隘路が緩和、**低空層の競争本格化は2020年代か**(⇔2015年の4.0誤報)

大きなSDG(3) ... グローバル化(G)

・「設計の比較優位論」を常に意識すれば、大きくは間違えない！

・米中摩擦には、米中以外の国が複雑に絡む。
合従連衡戦略を組める「軍師」はいるか

・流行に振り回されず、グローバル競争で「勝てるデジタル化」「勝てるサステナブル対応」を！

良い設計の良い流れ
「開かれたものづくり」の実現で
より良い人の人生、企業の商売
の流れ作りを

グローバル(Global)

ヒト・モノ・情報・カネ・病原体が動く
自由貿易への傾向は結局は続く？
米中摩擦の経済インパクトは？
比較優位原則は依然重要
「設計の比較優位」の追求は続く
特徴を伸ばせ。流行のマネではダメ

G

設計の比較優位説 (Design-based Comparative Advantage)

国により組織能力の分布は異なるので、比較優位を持つ貿易財のアーキテクチャの傾向は、国によって異なる(例: 日本=インテグラル、米中=モジュラー)



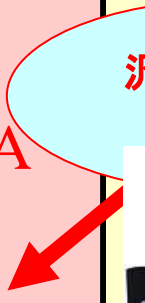
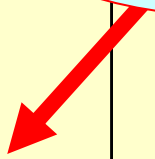
インテグラル
(擦り合わせ)

モジュラー
(組み合わせ)

最適設計された
専用部品

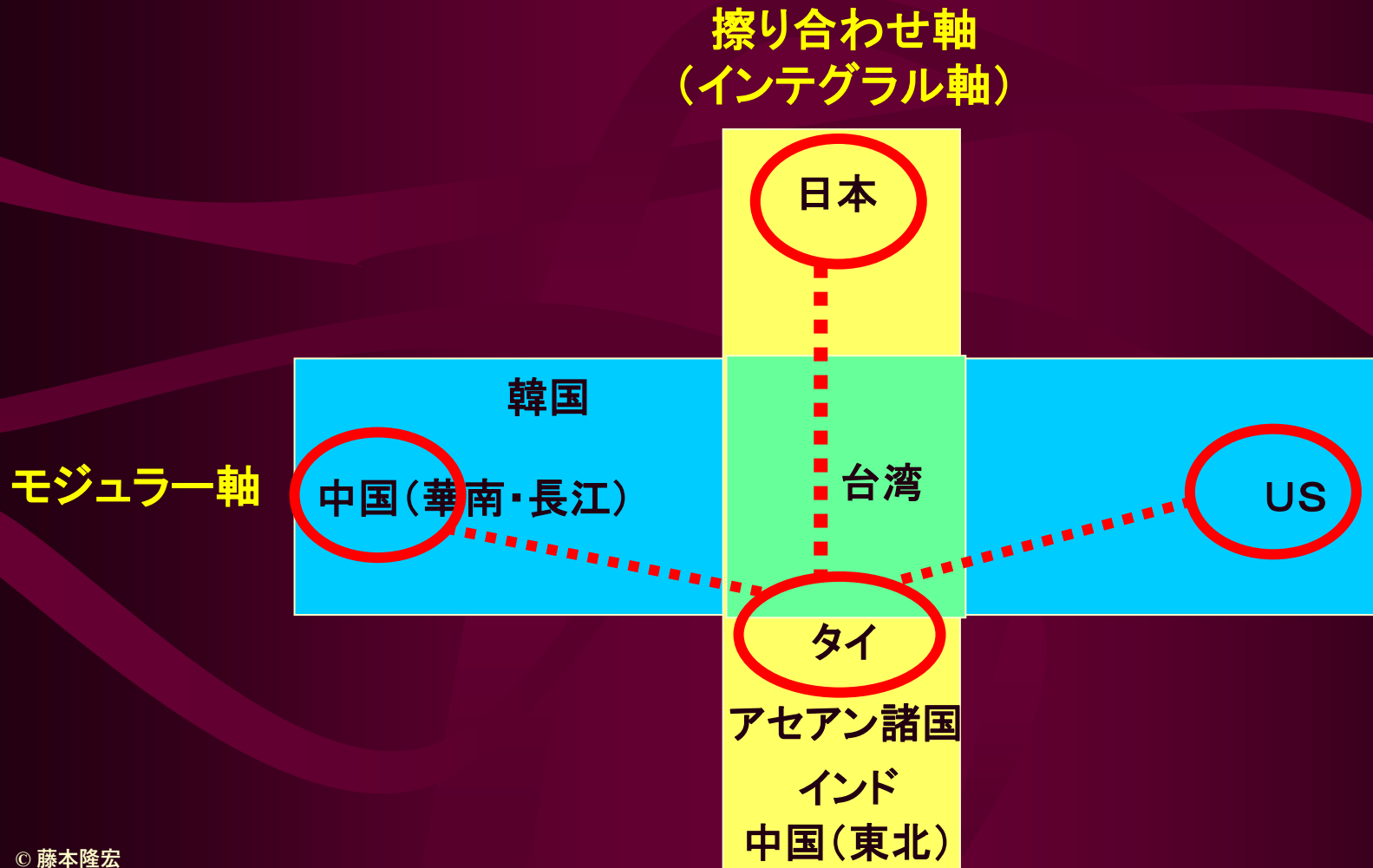
社内共通部品の
寄せ集め

クローズド (囲い込み)	クローズ・インテグラル Toyota 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・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、 GAF A 新金融商品、自転車



モニターは別売です。

設計の比較優位説の貫徹 擦り合わせ軸とモジュラー軸（環太平洋地域）の 現実は20年目の予想図に近付いてきている



新興国(例えば中国)では、感染症を契機に 工場のリモートコントロール化が進む可能性が大。

- パンデミック発生以前から、制御室からフロアを遠隔操作する志向は強かった。
- 感染症時代、この傾向が一気に強まる？ 2階の制御室からSCADAで遠隔操作
- モニターでサイバーフィジカルシステム(CPS)を見ているのは、2階の遠隔操作者のみ。
- 工場フロアには、異常に対して瞬時に自発的に動ける人間集団は想定されない
- モジュラー型製品のシンプルな流れの大量生産工場が指向される可能性が高い
- したがって、異常にも改善にも対応できる作業集団をフロアに置く、
日本に多い変種変量工場とは、工場のパターンの違いが大きくなる可能性もある。
- デジタル化でも日中の自動化工場は、同じものには収斂化しない可能性が大きい

日本の優良国内工場は、遠隔型スマート工場ではなく、 協調型スマート工場で「設計の比較優位」を得る

「設計の比較優位論」に基づくなら、現場の作業集団の統合型組織能力が強い日本の優良現場は、調整集約的な擦り合わせ型製品の変種変量生産では、グローバルな競争優位を維持する可能性がある …… 中国流の遠隔型スマート工場はなく、協調型スマート工場へ

大競争に加えて、大災害に対する経験値も相対的に高い日本企業の国内中核工場は、蓄積された。このことが海外顧客に認められ、大きな仕事が続いているケースも。

現場の国際競争力、災害復旧能力、代替生産能力、感染防御能力により、グローバルサプライチェーンにおいて、日本国内工場が能力移転の中核拠点となりやすい。

他方、デジタル製造においては、半導体の集積度上昇(ムーアの法則)により、新しいICT技術がより安価に提供されるようになる。サイバーフィジカルシステム(CFS)、IoT(IfT)、ローカル5G通信技術、AI(人工知能)、量子コンピュータ、各種センサー …

しかしこれらのICT技術は、あくまでも、「良い設計のよい流れ」を作るための手段である。

これらのICT技術は、現場の作業集団の代替ではなく、その組織能力の増強に使われる。

IoTの本質はIfT (Information from Things : ものから情報を)

発信機付きセンサー・ビデオカメラ等を「流れ」の要所の機器類に取付ける →

ものの「流れ」からCPSユニットでリアルタイムデータを取る(サイバーフィジカル・モデル) →

すぐに意味づけ(タグ付け)し、エッジで「情報化」する(情報化できる良いデータを取る)
廉価版(パトライトに安い光センサ)から高度版(CPU/GPU/AI/5G/メモリチップ搭載)まで →

「見える化」して皆で情報共有する (空間流れ図、時間流れ図、集計グラフ...) →

「高質データ」はプライベートクラウドのアプリで分析(付加価値時間、稼働率、LT) →

あるいは、「とりあえずのビッグデータ」をパブリッククラウドのAIに食わせてみる →

問題をより早く予知する(仕掛品の渋滞予知、不良発生予知、設備故障予知) →

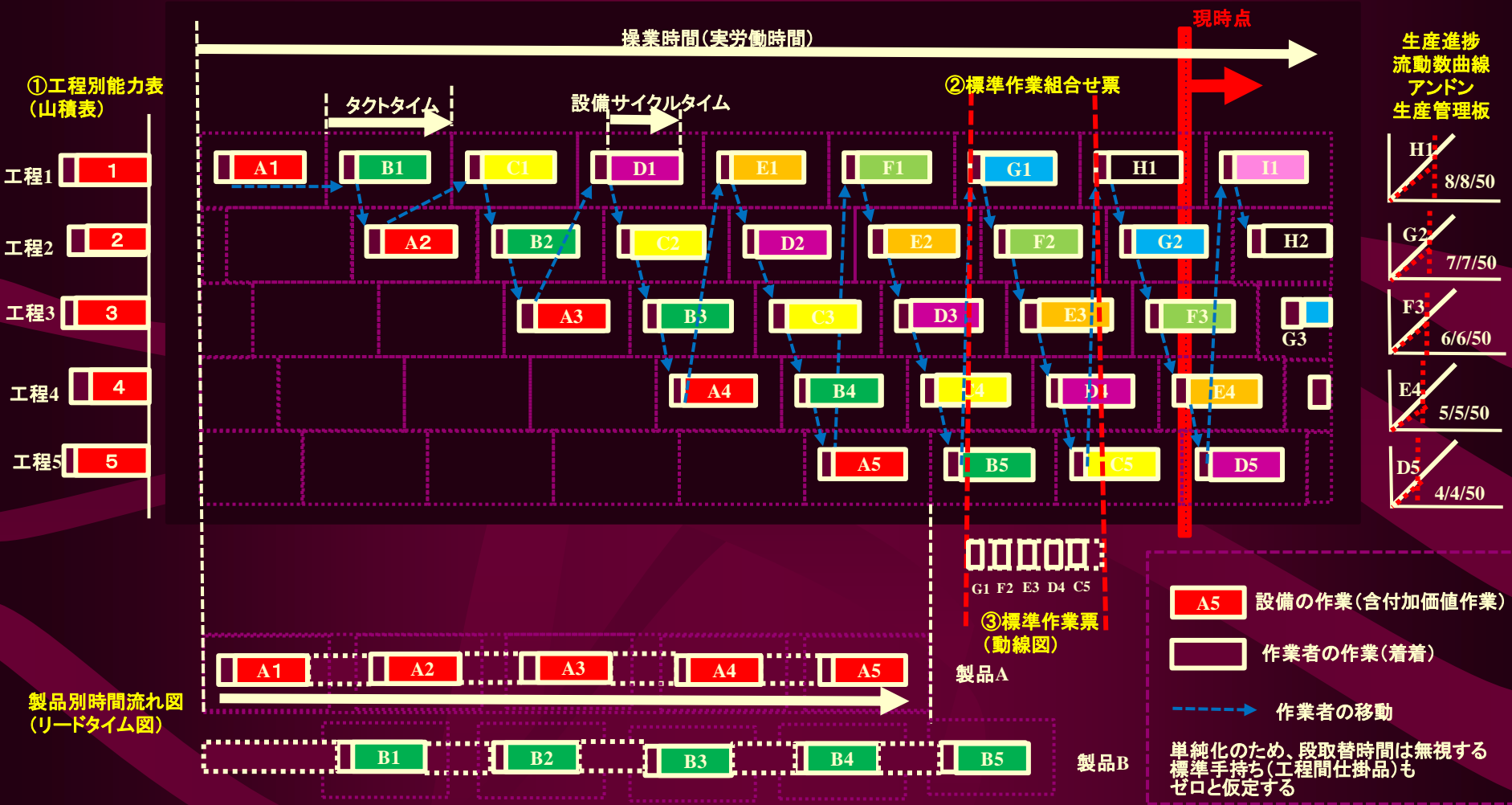
早めに手を打つ(高稼働率での仕掛品渋滞防止、予知品質管理、予知保全) →

予兆の背後にある因果関係を掴む → 腑に落ちる(帰納法から演繹法へ) →

より根本の原因を見つける(なぜなぜ5回) → 根本原因に遡って解決 → 標準化・共有化

このような「流れ図」がアニメのようにリアルタイムタイムで動くのが 工場のサイバーフィジカルシステム

(生産管理における「列車ダイヤ図」と標準三票 自動送り機械作業の場合)



100インチモニターで、このCPSアニメーションが、1階(工場フロア)でも、2階(制御室)でも、3階(役員室)でも見えているイメージ

リードタイム・稼働率のトレードオフ(工場物理学)の緩和へ

リードタイム

(始発から終点までの所要時間)

稼働率70%で渋滞する工場を
稼働率80%でも渋滞しない工場へ

IFT/IoT導入前

IFT・IoT導入後

稼働率

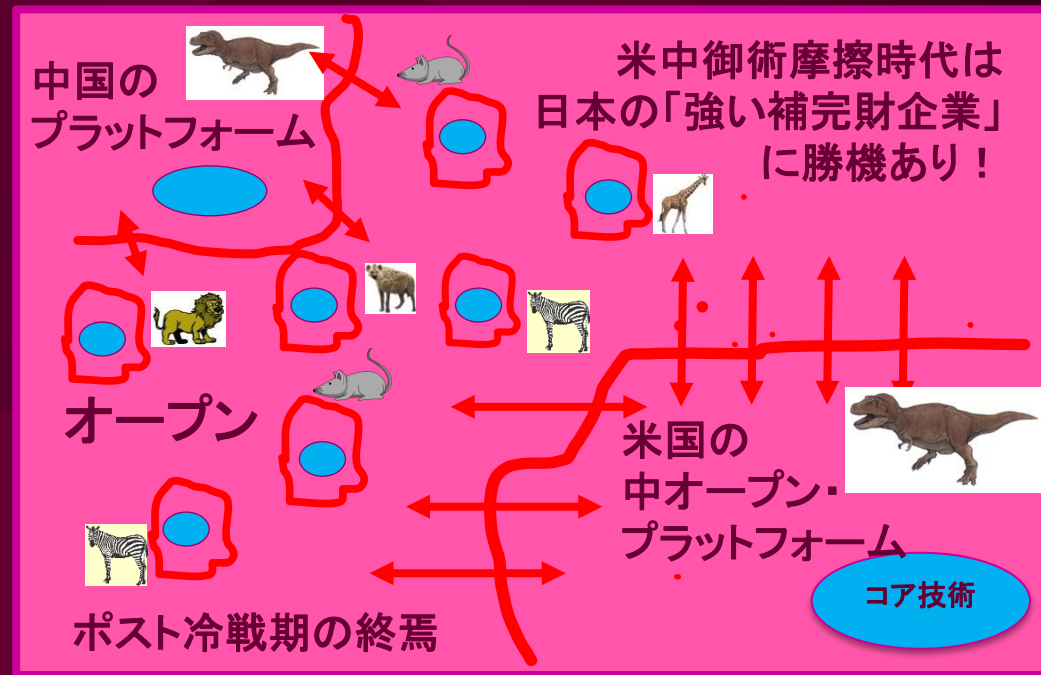
(作業時間、付加価値時間の時間密度)

これが出来れば、多品種変量の面倒な仕事は日本企業に来る。
どうせやるなら、「怒られないIoT」ではなく「**勝てるIFT・デジタル化**」を

米中技術摩擦時代のアーキテクチャ戦略

米国・中国が補完関係から競争関係(ハイテク・モジュラー同士)に変われば、双方が苦手とするインテグラル型アーキテクチャの部品・補完財・設備の発注は、米中双方から日本に来る。「売り手市場」のチャンスも。(本社の正念場)

中クローズド
外オープン
の
アーキテクチャ
位置取り戦略



主なプレイヤー：米・中・日・独。中国企業が「手っ取り早い自動化」を目指し、ドイツ企業がこれを支援すれば、モジュラー型が得意なレゴ式工場が林立。その上で米中技術摩擦が長期化すれば、現場力とアーキテクチャ戦略を持つ日本企業の「しぶとい哺乳類」戦略が効いてくる可能性は大きい。

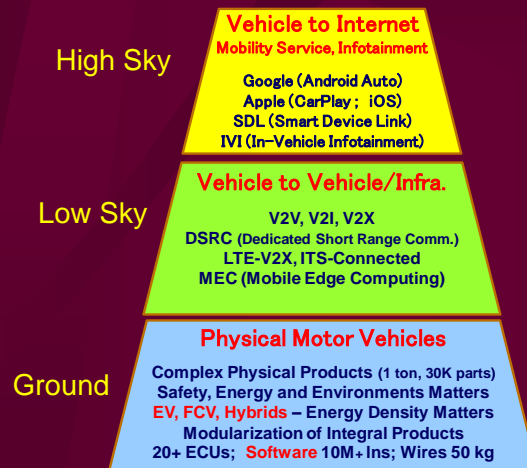
結論：地上で戦う日本のものづくり企業の基本戦略(例)

© 藤本隆宏

- 上空の「制空権」は米国メガプラットフォーマー等に握られている。ではどう戦う？ GAF A等は参考にするが模倣対象ではない。人口動員力が不足の日本には不向き。
- 「GAF Aがそうならうちはこちらする」を考えるのが古今の戦略。基本は上空戦と低空戦。
- デジタル(DX)はあくまでも手段。「良い設計の良い流れ」を作ることが本質的な目的。
- 人とICT連携で、複雑(擦り合わせ)製品の**変種変量変流生産**など得意領域を伸ばす。
- 現場の流れをリアルタイム可視化した**サイバーフィジカルシステム(CPS)**を、工場の1階、2階、3階(社長室)のモニターで同時に見るイメージ。C国遠隔操作工場と異なる
- デジタル化の時代こそ、「**コテコテのものづくり**」が戦略的に生かせる。あとは**戦略次第**。
- **上空戦**の一例。自社独自技術と「コテコテものづくり」で、真似されない製品・工程を常に進化させ、それをベースに強気の「**中インテグラル・外モジュラー**」アーキテクチャ戦略。GAF Aやその有力補完財企業・取引企業に、**自社標準で売り切る**。トップなら高利益。
- **低空戦**の一例。「モノからコトへ」ではなく、「**良いモノで良いコトを**」。売りっぱなしにせず、自社製品が顧客のアセットのなった後も、**アセットからデータを取り**、自社の**アセット知識**を生かし顧客のアセット操作(セルフサービス)を支援、**良いコントロール**で**良いコト(機能)**を引き出し顧客に還元。顧客を喜ばせ、顧客を勝たせ、そこから報酬を得る。
- **上空的オープンネットワーク**の活用も低空戦の要。**アセット・データは独占せず** (⇔上空のGAF A)、**CPSプラットフォーム**で競合企業・異業種が**低空でつながる**ことで、顧客の人生や商売の「流れ」に**集団で面の貢献**。売りでの商売敵も、**アセット化したら皆仲間!**

3 応用編：自動車産業の地上・低空・上空分析

- 1 次世代パワートレイン(EV, FCV, Hybrids --) -- 地上
- 2 ECU と組み込みソフト(for Engine, etc.) -- 地上に近い
- 3 自動運転 (部分的／完全自動、限定付／無限定) -- 地上・低空・上空
- 4 インフォテインメント(インターネットとの連結) -- 上空に近い
- 5 モビリティサービス(Trip Shared/Not; Vehicle Owned/Not) -- 上空



自動車の場合(いわゆるCASE): 3層ロジックはデジタル製造と類似している

High Sky

Infotainment

Google (Android Auto)
Apple (CarPlay ; iOS)
SDL (Smart Device Link)
IVI (In-Vehicle Infotainment)

Smart Phone Platform Leaders (Google, Apple)

vs

Coalition of Auto/Electronics Makers (SDL)

Platform Competition -- Vertically Connected

But No De-facto Standard yet

Cloud Computing by Digital/Physical Firms

.....

Intelligent Transportation System

Dynamic 3D Digital Map as CPS

Non-Internet V2V, V2I, V2X

Horizontally Connected

Edge/Fog Computing

between Cars and Infrastructures

.....

Still Closed-Integral and Complex!

Some Closed Modularization (VW)

But NOT Open Physically

Evolution, Relatively Non-Disruptive

Product still Matters, but

Platforms Emerge?

Low Sky

ITS, 3D-Dynamic Map

V2V, V2I, V2X, CFS (3D-D Map)
(Vehicle to Vehicle, Vehicle to Infrastructure)

DSRC (Dedicated Short Range Comm.)

LTE-V2X, ITS-Connected

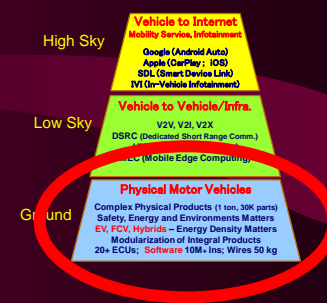
MEC (Mobile Edge Computing)

Ground

Cars, Trucks

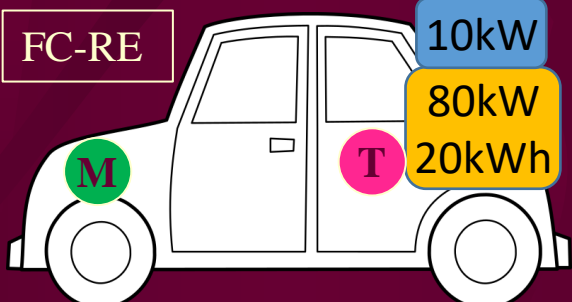
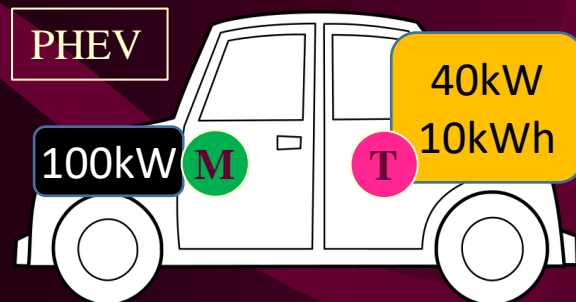
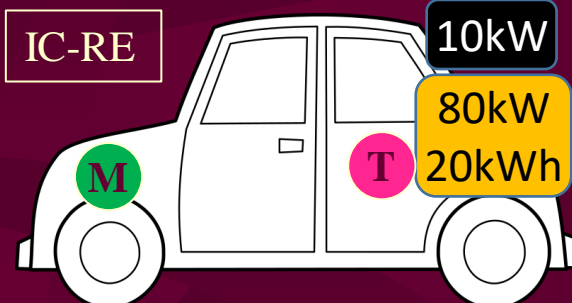
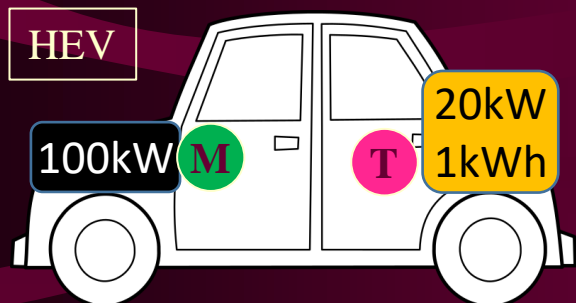
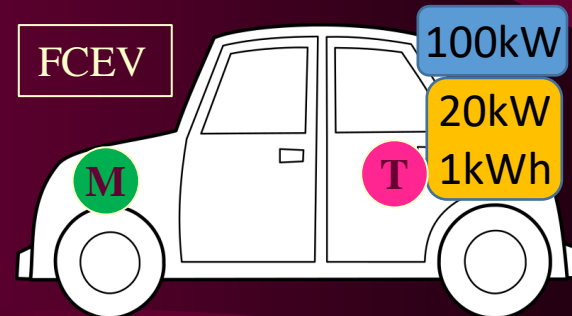
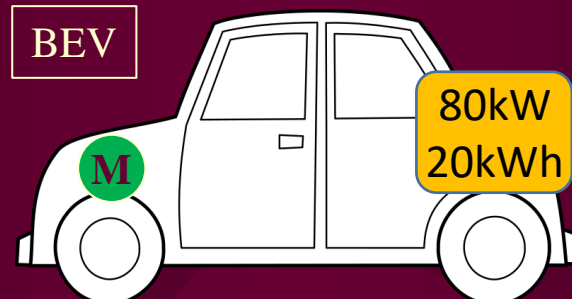
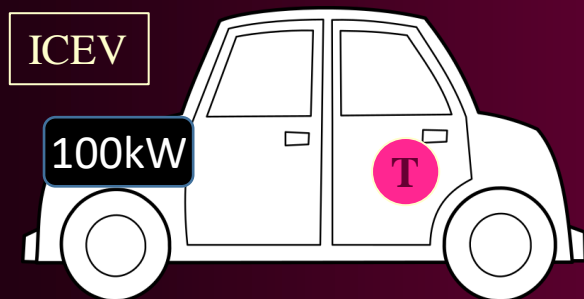
Complex Physical Products (still 30K parts)
Modularization of Integral Products
On Average Heavier; Wire Harness 50 → 100 lb,
Many ECUs; Software 10M+ lines

1. 電気自動車と将来のパワートレイン



- **電気自動車 (BEV) : 内燃機関なし。バッテリーとモーターのみ**
- **電動車 (電動車両) : モーターあり。ハイブリッド車、燃料電池車、レンジエクステンダー、プラグインプラグインハイブリッド等含む。**
- BEVは長所も多いが解決すべき課題も多い。長期戦になる。
 - **航続距離が短い**(バッテリーのエネルギー密度が低い) 次世代の画期的電池待ち
 - **充電時間が長い**(普通充電数時間～急速充電で20～30分以上)
 - **電池の劣化**(充電回数が増えると性能低下。メーカーは保証・無償交換も) →中古価格
 - **安全性の確保** (エネルギー密度の高い電極は爆発の危険)、他
- リチウムイオン電池の**エネルギー密度**は十分に高くない。
今後の向上余地も限られる? (1.3倍まで?) 次世代バッテリーでの勝負(2030年～)
- **電池の価格低下**は簡単ではない。変動費が大。(kWhあたり1万円はいつ?)
- 安全でエネルギー密度の高い**次世代バッテリー** ...全固体電池か?
しかし安全とのトレードオフ厳しい。慎重な開発が必要。10年以上の長期戦?
エネルギー密度3倍の安全な次世代バッテリーの出現は2030年ごろ?
EVのバッテリーが不確定では**2030年需要予測**も不確定。10%? 30%? **外圧の影響大。**
- 地球温暖化国際合意の**産業政策的側面** ... その**策略性**に注意せよ!
ディーゼル失敗から失地回復(欧州)、BEVなら追いつける(中国)、BEV+デジタル(米国)

次世代低燃費車にはEV, 電動車(含HEV)などいろいろある



ICE

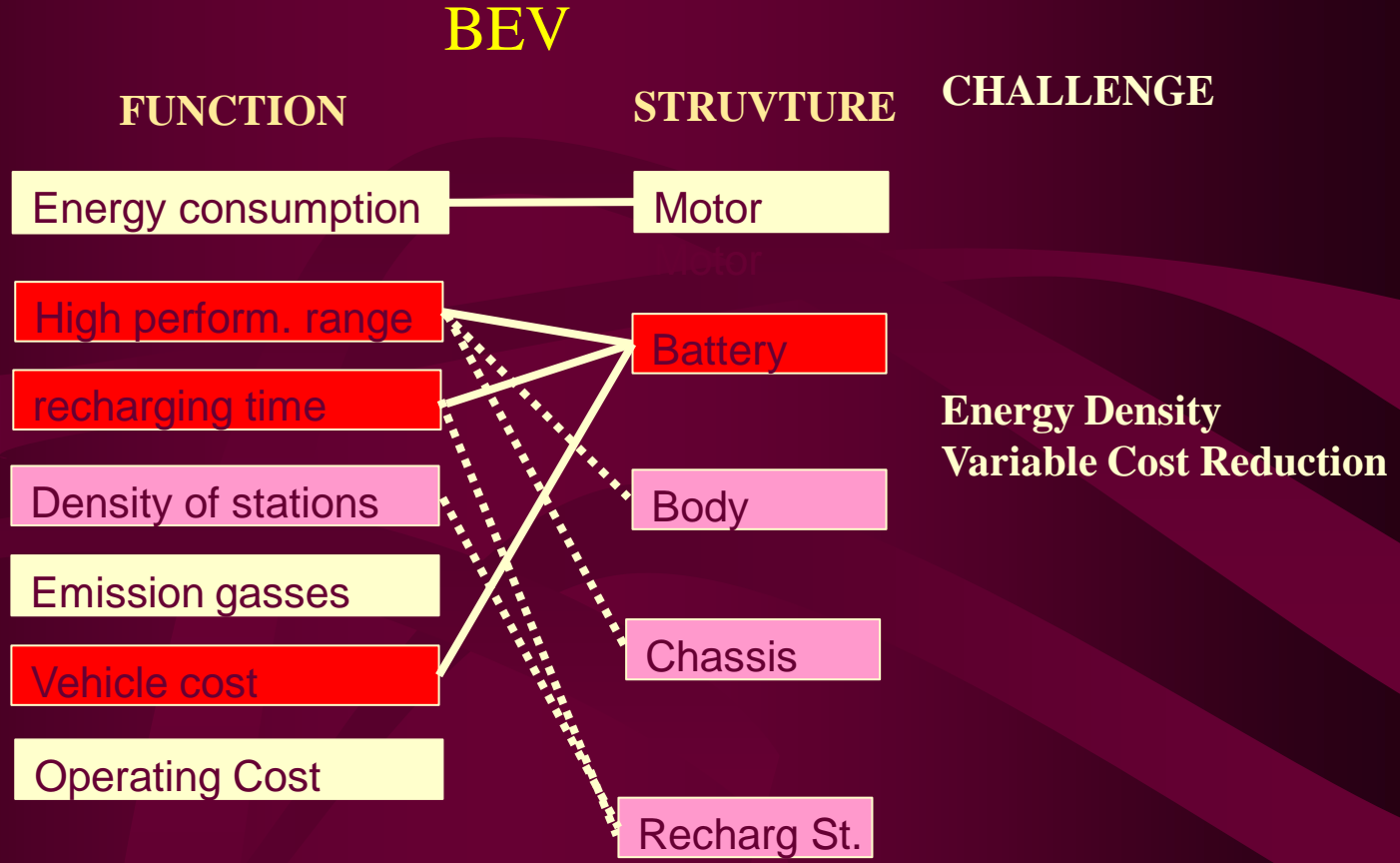
BAT

FC

Motor

Tank

アーキテクチャ分析の例：二次電池EV = BEV

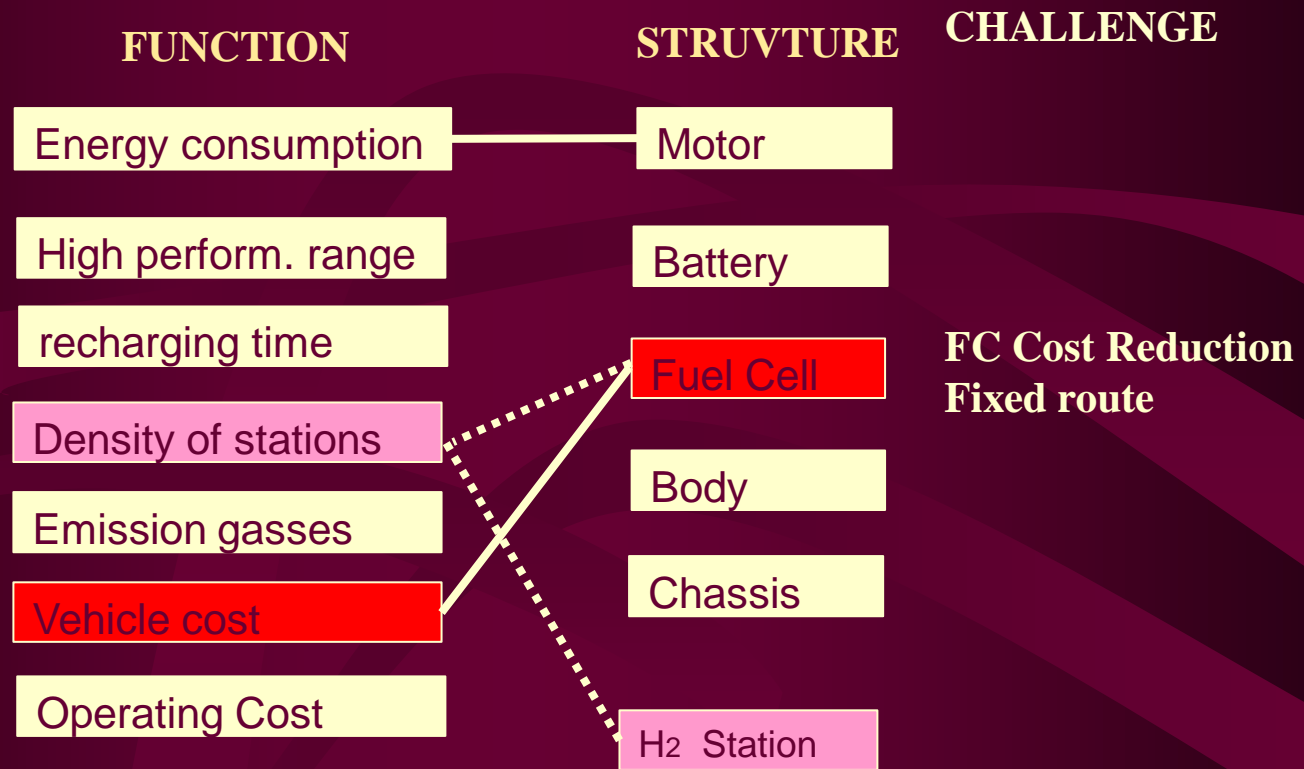


Assumption for Comparison:

High-performance Type (e.g., 100km/h cruising)

Volume Assumption = 200K units per year

アーキテクチャ分析の例： 燃料電池レンジエクステンダー FC REV (Range Extender)

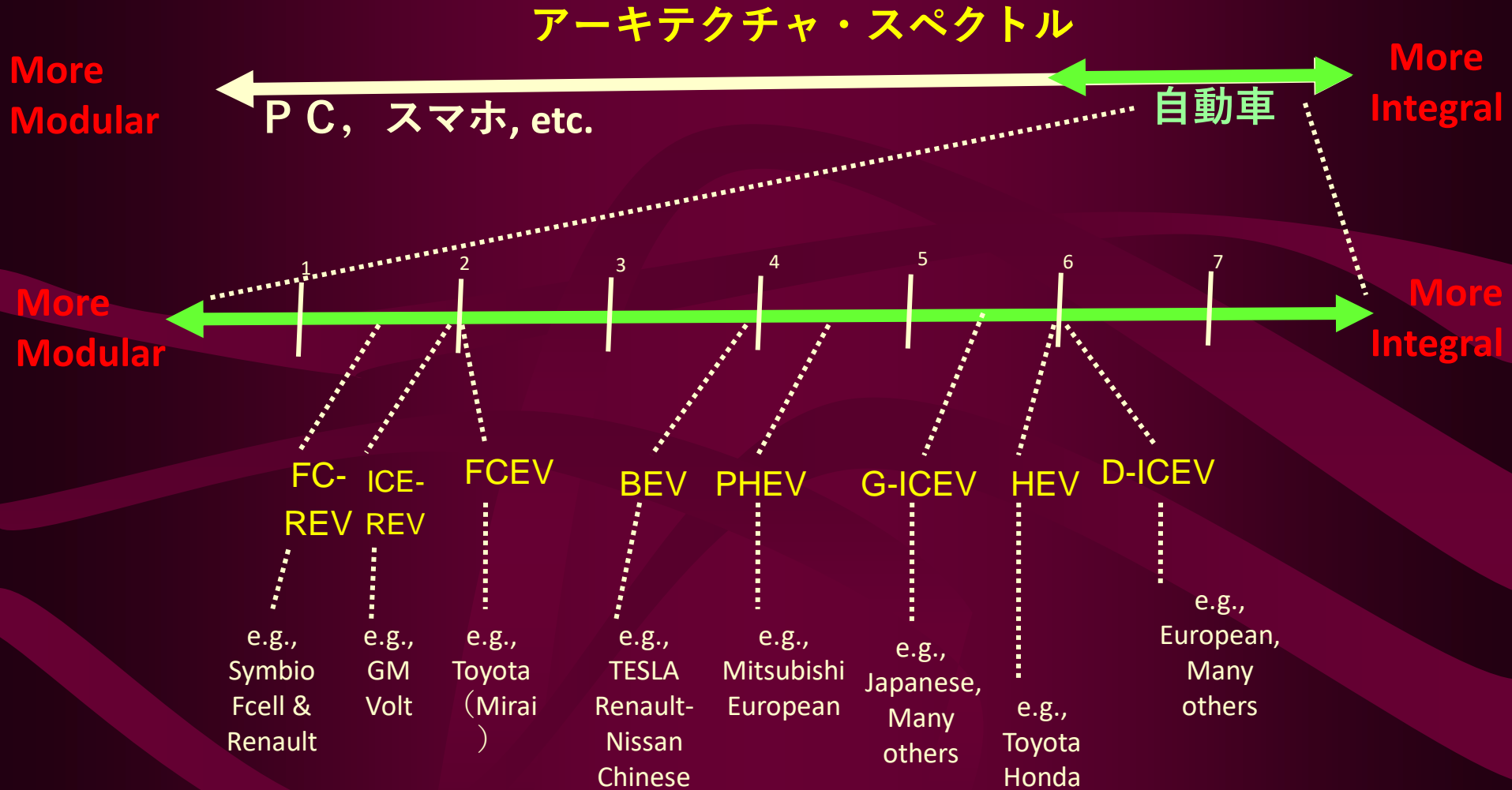


Assumption for Comparison:

High-performance Type (e.g., 100km/h cruising)

Volume Assumption = 200K units per year

次世代車の技術多様性→アーキテクチャ多様性→企業多様性



See Figures 7 where — Point 1.0 Point 0.5

PHEV(プラグインハイブリッド)は意外にロングリリーフ?

- ・状況によっては、特にライフサイクル評価(LCA)で見た場合や、発電の脱火力化が進んでいない国や地域では、PHEVのCO2発生量は、BEVを下回ることもある。
- ・日本の典型的な大都市ドライバーのように、通常は市街地の短距離走行で、そこは電池のみで走れるが、たまに(しかも他の多くの人と同じタイミングで)レジャーや帰省で長距離走行するドライバーが多い場合、よほどの行動変容の無い限り、特定パーキングエリアへの電池切れBEVの殺到、長大な充電待ちの発生など、ホラーストーリーの頻発もあり得る。
- ・欧州では、「PHEVのドライバーは充電する代わりにガソリンを入れて走り続けてしまうので、PHEVはだめだ」という議論も一部ある。しかしこれは、「BEVは不便だ」とユーザーが言っているに等しい。車両のシステム改変や行動変容を促すことが本筋であり、PHEV否定は本末転倒である。
- ・災害大国日本では、寒冷地(例えば北海道)で、仮に大災害が発生し広域停電になった時、暖房切れによる低体温症などの人的被害を最小限に抑えることもSDGsの一つだ。災害対策においては、エネルギーシステムを複数持つのは基本的な考え方

走行距離や年数が大きくないLCA評価では、PHEVは健闘 (三菱自動車・白河暁氏資料 2022年3月・モビリティサミット)

CO2規制強化：LCAによる電動車の評価@2030

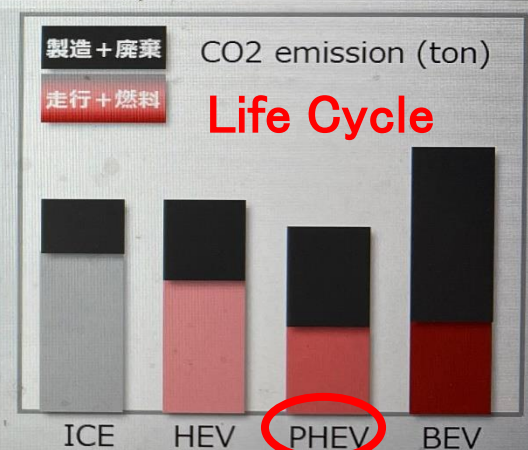
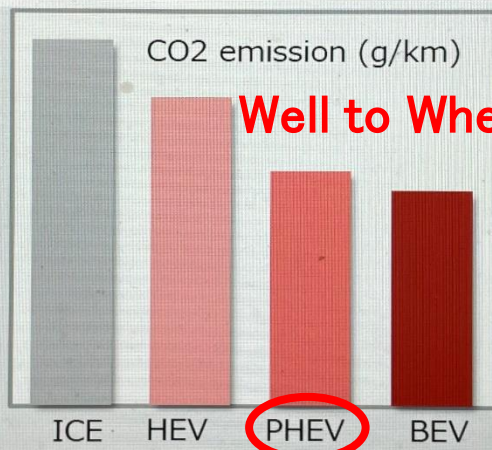
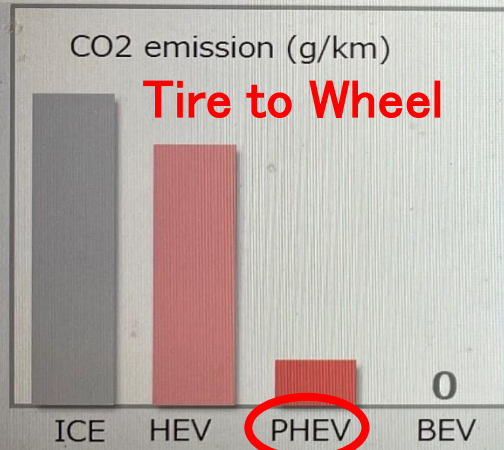


BEVは電池製造時のCO2が多いためLCAではCO2が最も大きく、PHEVが最良となる

走行時CO2のみ(TtW)

走行時+燃料生成のCO2(WtW)

製造から廃車までの全CO2(LCA)

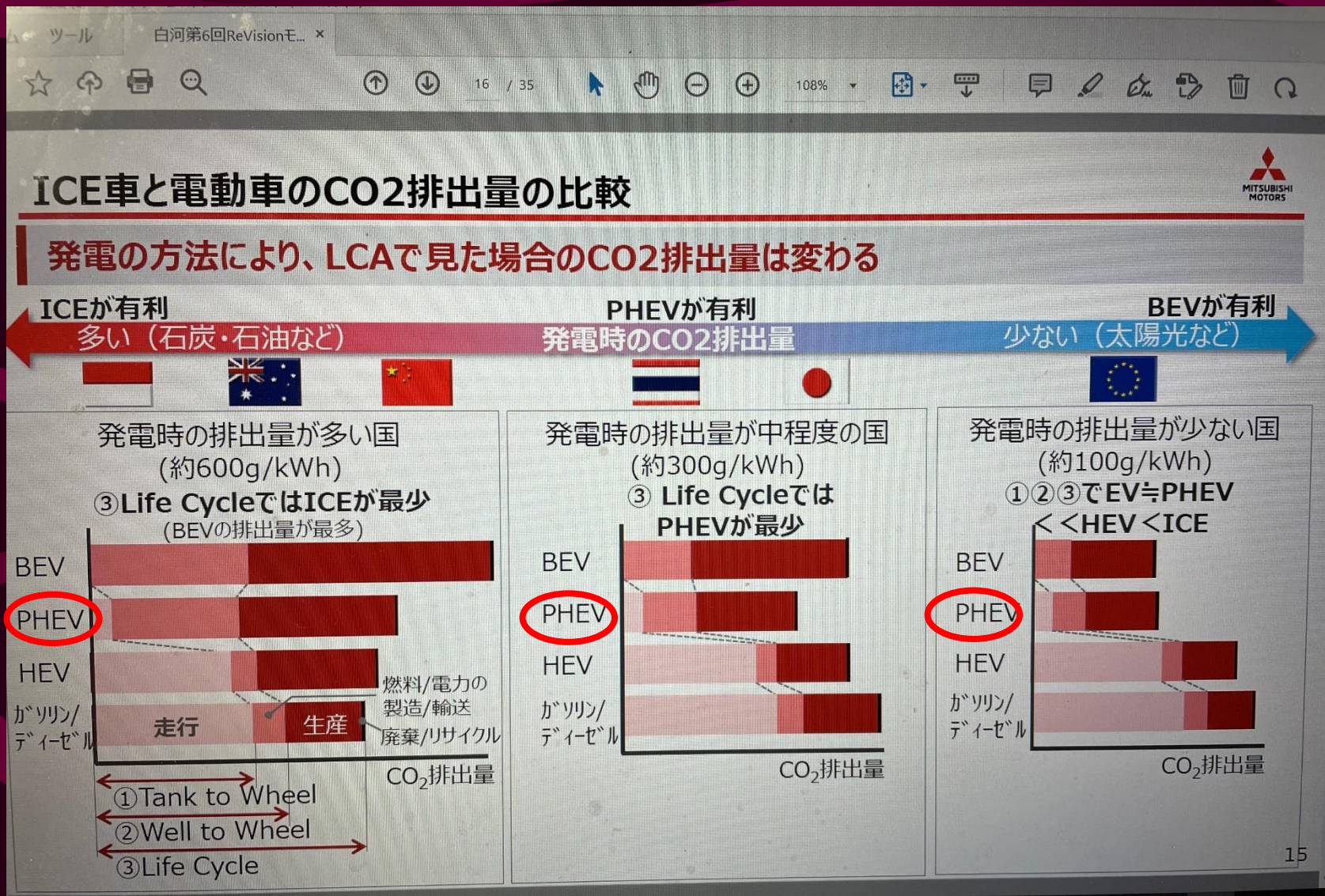


<前提条件>

- 車両 : CセグメントSUV(アウトランダー)、PHEVバッテリー 20kWh、BEVバッテリー 90kWh
- 走行距離 : 年間16,000km、8年間所有
- 発電時CO2 : 370g-CO2/kWh [電力事業者連合自主目標]

発電のエネルギー構成によってBEV/PHEVの評価は異なる

(三菱自動車・白河暁氏資料 2022年3月・モビリティサミット)



特にSUVなど大型/非街乗り車ではPHEVは健闘 (三菱自動車・白河暁氏資料 2022年3月・モビリティサミット)

セグメントによるLCA評価の差

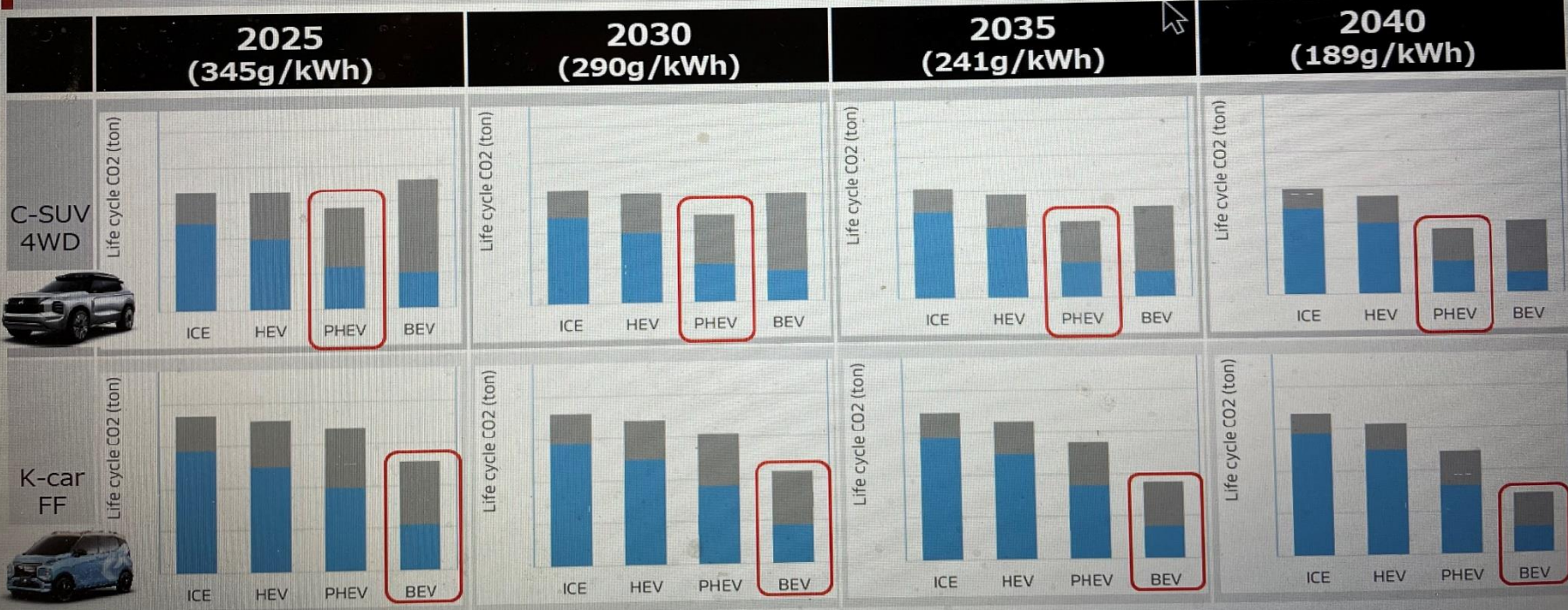


Mileage : 110,000km

Production & Recycle CO2
Running CO2



バッテリー容量が必要なSUV → 製造時のCO2排出量大 → バッテリー小のPHEV有利
バッテリー容量が少なくて済む軽自動車 → BEVが有利



藤本隆宏 早稲田大教授・東京大名誉教授 の分析例

“地球温暖化問題に対する自動車産業の「総力戦」について —「電気自動車オンリー論」の誤謬— 2022年2月※

※ 赤門マネジメントレビュー https://www.jstage.jst.go.jp/article/amr/21/1/21_0220202a/_article/-char/ja

BEVオンリー論の課題	解 説	備 考
目的と手段の混同	目的:GHGの早期削減 に対し、特定技術手段(BEV)のみを正当化。不確実性のある問題解決ロジックとして目的合理性欠如(BEVは備考の3要件を満たしていない)	i)BEVが唯一の最善手段と確定しているか ii)大量生産・販売の障害がないか iii)価格・性能・商品性の面で有効需要が十分か？
生産増と保有増に関する時間的錯覚	生産シェアと保有シェア拡大に大きなタイムラグ 少なくとも2030年代までは、BEV以外の手段による補完必要	次頁参照。2030年に世界のBEV販売シェアが3割まで上昇しても、保有シェアは1割程度
生産増と販売増に関する因果的錯覚	生産増≠販売増。稼働車両台数(ユーザー意思を反映する販売台数)がCO2排出と相関	生産台数の象徴性・政治性・速報性により、注目を浴びやすい
「自動車＝乗用車」という製品軸の錯覚	自動車排出の約4割はトラック等商用車だが、BEVオンリー論は、商用車BEV化への建設的議論が不足	商用車は、1トリップ当たりの走行距離が非常に長いなど、BEV化が簡単でない理由もあり
「BEVオンリー論否定」と「BEV否定」の混同	「BEVは否定しないが、BEVオンリー論は否定」という、実証と論理と数理に基づく主張が、「BEV否定論」と誤解され、非難されることがある	BEVを信じるか信じないか、どちらかと言うと宗教的議論になりがち
各国の策略	欧州:ディーゼル車重視政策頓挫からの巻き返し 米国:モジュラー型製品による自動車産業の復興 中国:キャッチアップしやすいBEVへのゲームチェンジ	産業政策としてのBEV振興 一国の付加価値増進のための国際競争戦略

30年目標のCO2減は、BEVなしでは出来ないが、BEVだけでも出来ない

地球温暖化対策は総力戦：EVオンリー政策の誤謬

- ・地球温暖化問題が深刻であるとの認識はいまや国際的なコンセンサスである。
- ・まず「地球温暖化抑止という目的を国際社会と共有する」と宣言することが必須。
その上で「この目的に対する手段は国や地域により異なり得る」と主張するのは正論。
この「手段のダイバーシティ」論は、国際的に受け入れられるだろう。例えばブラジル。
- ・よって「EVのみが正義である」といった主張は、地球温暖化問題が今後30年は続き、
その間に科学も技術も予想を超えて発展し得る、という常識論を前提にするなら、
手段と目的の混同で、正論をもって論駁できる。
「我々は目的は共有するが、手段には多様性を認めよ」と、反論すべきである。
- ・EVオンリーの主張には各国の利己的な思惑も絡む。欧州、中国、米国、各々の計略あり。
盲目的に追従してはいけない。しかしローカルな利己主義では議論で対抗できない。
- ・適宜、科学的・論理的な根拠のある正論で堂々と反論すべきである。
そのためには、明確なコンセプトと英語のボキャブラリーが必須である。

自動車走行と地球温暖化対策 —基本式—

- CO₂発生量の基本式を考えずに、言葉だけで自動車と地球温暖化の問題を語るのは、科学的でなく、不適切。
- 産業からの地球温暖化ガスは、走行以外（製造や原料生産）やCO₂以外もあるが、仮に、走行時のCO₂発生量に絞るなら、
- **その地域からの自動車走行からのCO₂総発生量 =**
自動車保有台数 ×
1台当たり平均走行距離 ×
1キロ当たりCO₂発生量
.. **これを早く減らす！**

日本の試算： 8000万台 × 2万キロ/台 × 125グラム/キロ ≒ 2億トン

「お風呂」のアナロジー (2030年予想)

「蛇口」...

年平均1億台の生産
(15年間の予想平均値)

世界の自動車の平均寿命は15年と仮定

(単純化のため、15年後に全数廃車と仮定)

2030年製	2029年製	2028年製	2027年製	2026年製	2025年製	2024年製	2023年製	2022年製	2021年製	2020年製	2019年製	2018年製	2017年製	2016年製
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

2030年BEV生産シェア30%を仮定
それでも保有シェアは10%強

非EV(ガソリン車・ディーゼル車・ハイブリッド車)
の合計世界保有台数 .. 全保有車両の90%弱

「保有台数を減らせ」「走行キロを減らせ」
という議論は、なぜか盛んでない .. ??

・「2030年にBEV生産30%」は、
かなり挑戦的な目標
(年300万台弱のEV能力増強)

・今のBEVは、発電によるCO2
発生を含めれば、「冷水」
ではなく「ぬるま湯」程度

・今の内燃機関は、50年前に
比べれば、大幅にキロ当たり
CO2発生量低減。日本の貢献大
平均すれば熱湯ではない

・しかしなお「水温」は高く、
技術的にはなお低減の余地あり

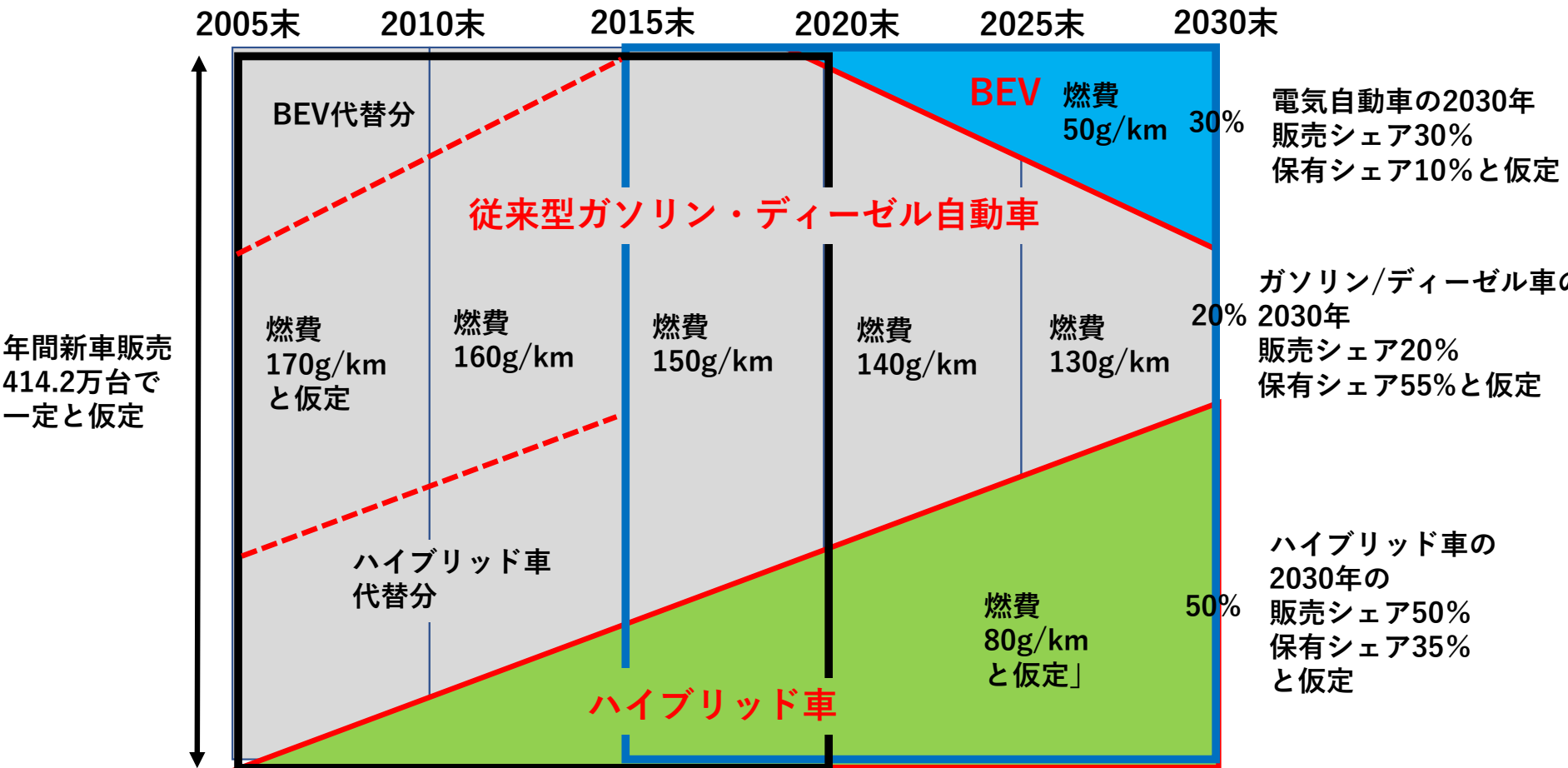
・廃車(年間最大1億台)の大半は
「内燃機関→内燃機関」の代替

・今後10~20年、保有台数全体の
1km当たりCO2発生量を
最大限減らすには、90%を占める
電動車・内燃機関のさらなる改良
を含む「総力戦」しかありえない!

目標は「お風呂」全体(保有台数)の
「お湯の温度」をできるだけ速く限に下げること!

「排水口」...
年平均1億台の
廃車台数

2030年自動車保有台数シェアの概算モデル(急進シナリオ)



仮定：日本の保有6213万台 車体寿命15年
 電気自動車(BEV)、ハイブリッド車の新車シェアは直線的に上昇すると仮定

対2020年比での2030年の 乗用車走行CO2発生量削減シナリオ(急進ケース)

推定削減量：▲2400万トン (▲25%)

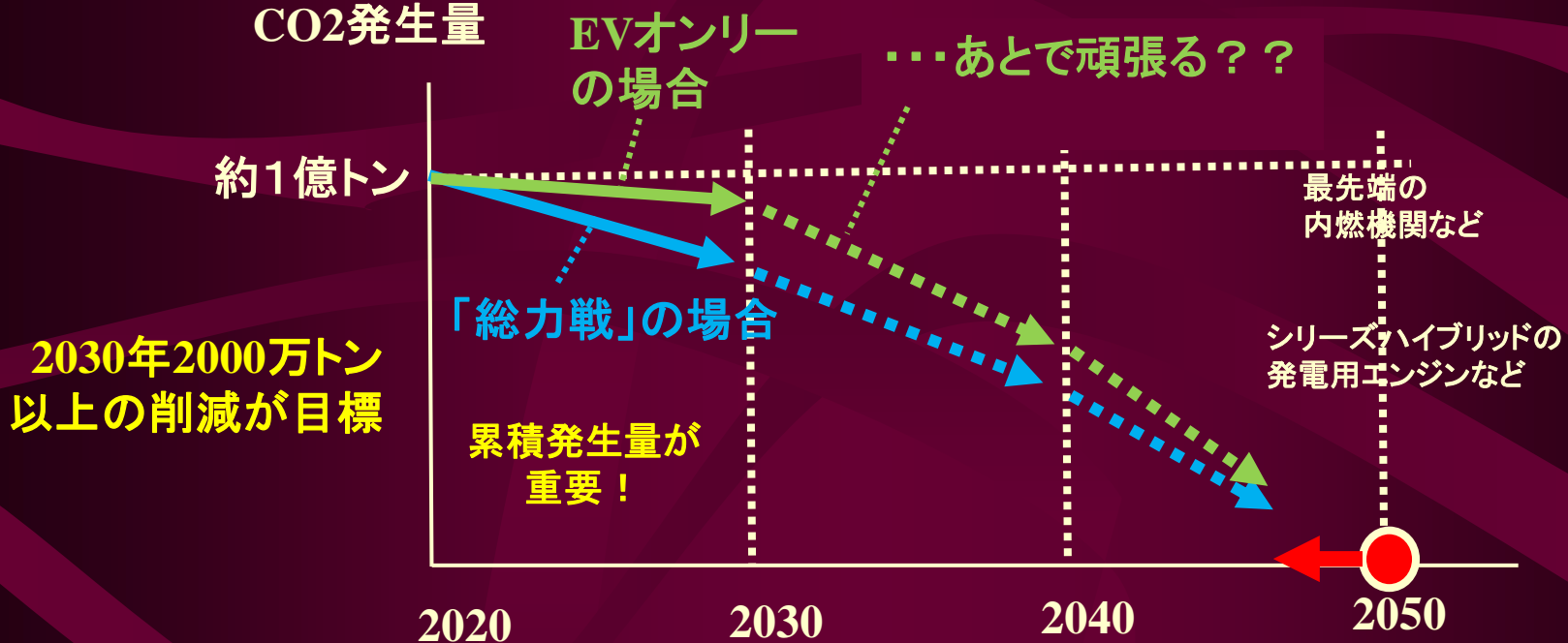
総走行距離 = 保有台数 x 平均走行距離 6500億キロ (6200万台, 1.05万km/年) と仮定



2020年 = 約9750万トン → 2030年 = 約7300万トン

カーボン・ニュートラル(CN)宣言は重要だが・・・ 実効的プラン無き「言った者勝ち競争」のCN宣言と、 視覚化しやすい手段先行の対策(たとえばBEVオンリー論)は かえって地球温暖化対策に負の影響を与える恐れがある

日本の乗用車走行からの
CO2発生量



2030年2000万トン
以上の削減が目標

言った人間が
責任を取れる
(かもしれない)
タイムゾーン

CN宣言:
言った人間が責任を取れない
(取れない)タイムゾーン

各国「軍師」の策略—きれいごとではない

- ・地球温暖化問題が深刻であるとの認識は全世界で共有すべきだが ..
具体的な方策に関しては、各地域・国により、政治的・産業政策的な思惑が入り、それぞれ、自国に有利に持っていこうとする策略を練ってくるのは、今の時代に当然のこと。
自分が各国の「軍師」ならどう考えるか、想像してみる必要がある。
- ・**欧州**：「EVオンリー政策」の主な主張者。少し前まで推進していた「ディーゼルエンジン+ダウンサイズ+42Vマイルドハイブリッド」戦略の失敗を取り返すために、やや強引に、自地域の特性(電力の脱炭素化で先行)を活かした産業政策の一環として「EVオンリー政策」を世界に向けて強力に発信する。産業政策的な策略としては合理的。
- ・**米国**：シリコンバレーや金融界(ESG投資など)を梃に自動車産業の復権を目指す。自国が得意なモジュラー型に近いEVを中心に考え、自国が苦手なインテグラル製品であるトヨタ型のハイブリッド車は否定するのは当然。米の南北分断も背景にある
- ・**中国**：「低燃費内燃機関では先進国に容易に追いつけないがEVなら追いつける」と考える。だからEV重視は自国に有利。しかしEVで先行し、その限界も先に知ったので、ハイブリッドにも理解を示すように。「総力戦」に近い分、むしろ欧米政府より目的合理的？
2020年後半から、安価なBEVも含め台数を急拡大。2020年100万台→2021年350万台

地球温暖化対策もEV重視も賛成！

しかし、日本は日本の事情に合った進めかたがある

- ・ 原発事故の教訓、前述の内燃機関改良継続(総力戦)の必要性、災害大国としてのエネルギー多様性維持の必要性など、置かれた状況の異なる日本が、欧米中等とは少し異なるアプローチで、「地球温暖化問題解決という世界共通の大目的に対して全力で貢献する」というのは、世界に対して堂々と主張できる「正論」。

- ・ 逆に、複雑な政治的背景がある可能性の高い海外発の議論に、日本の政府や言論界が単純に追随するというのは、この問題の背後に常に存在する産業政策的な「策略性」を考えるなら、非常に危うく、一国の産業構造の将来に大きな負の効果を与えかねない、ある意味で危険な潮流である。

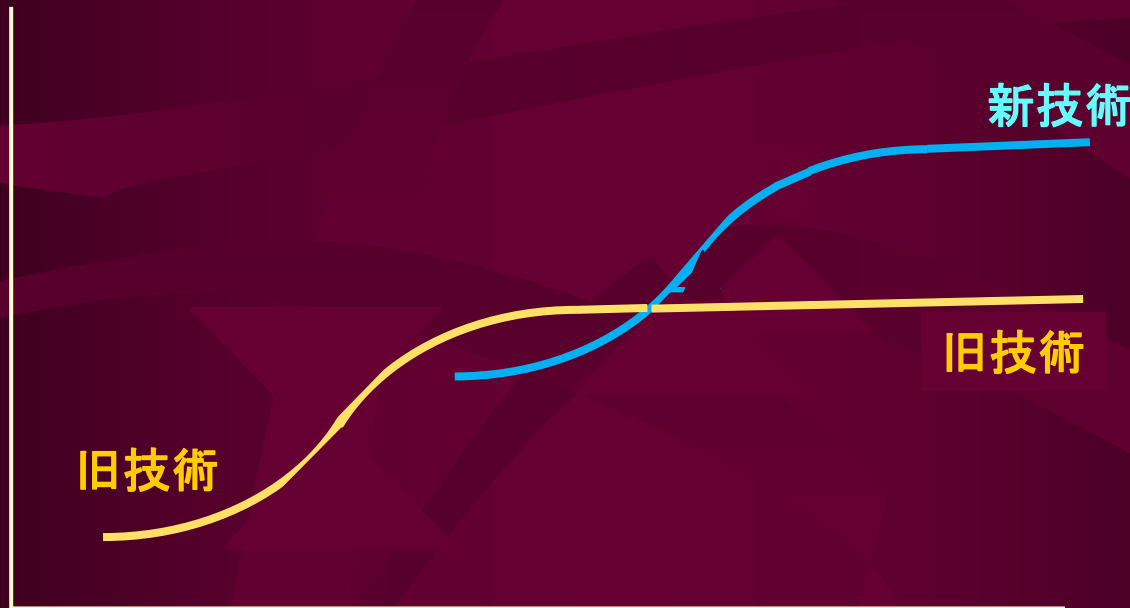
- ・ グローバル化の時代、関係各国にはいわば「軍師」のような人たちがいて、「地球温暖化問題と解決」という、誰も否定できないような大目的を叫びつつも、実は自国の都合の良い産業政策外に押し付けると言う策略に出てくることは、容易に予想される。

それを鵜呑みにして、「海外に怒られるから日本も従おう」と追随するだけでは、まさに海外から見れば「術中にはまる」ようなもの。

日本がこのような策略に乗って自国の産業政策を受動的に決めていれば、国の産業構造の将来に悪影響を与える結果になりかねない。

新旧部品技術を両方残す可能性

技術的成果
(製品の機能・性能)



新技術

最先端の
内燃機関など

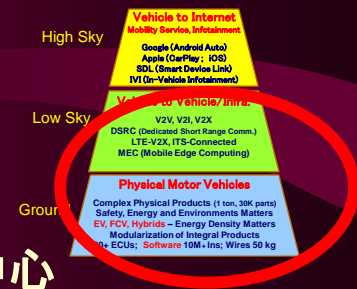
旧技術

シリーズハイブリッドの
発電用エンジンなど

旧技術

研究開発の累積努力量
(経過時間で近似)

2. ECU・車載半導体と組込ソフト



自動車内・自動車間の階層的なネットワークで統合的に制御

ECU, Vehicle Computer, Server, Cloud (Internet)

- ミリ秒単位の制御は、車載の電子制御ユニット(ECU)が中心
しかし、テスラの統合ECU登場で、アーキテクチャ革新か(16nm→?)
- 交通情報などはインターネット、クラウド(上空)
- ITS やダイナミック3Dマップ - サイバーフィジカル層(低空)

車載のECUは1台に20以上。各々500以上のソフトウェアモジュールからなる先進的なマイコンと巨大な組込みソフト(1億行以上に。飛行機よりずっと複雑)

ソフト行数: 内燃機関= 1; HEV 1.5; EV 0.5, エンジン制御の割合が大きい

ドイツ勢(BOSCH)は2000年以降、ハードもソフトもプラットフォーム戦略へハード/ソフトのグローバルプラットフォーム(標準ハード・ソフト部品)標準モジュールのレゴ的組み合わせでローカル向けのカスタム設計に対応ハードはより標準化を進め、ソフトはより小さな粒度でマスカスタム化?しかし、自動車は複雑。デジタル界のように1社独り勝ちにはなりにくい。

複数社主導のコンソーシアム型標準(AUTOSAR)・・・ドイツ勢の強さ(競馬モデル)そこにテスラが電気自動車の車両OSで参入: オープン化なら中国勢は採用? 要注意

低空層のITS (V2X): 単一グローバル標準への収斂は難しい。複数標準の併存かサイバーフィジカルシステム(CPS)構築、スマートシティ連携などが課題

先端的な車載半導体を入れていくか？

・・・ECU系のアーキテクチャ選択(①②③)による

車載ECUとビークルコンピュータの現在と未来

①従来型の分散型ECU
(日本メーカー)

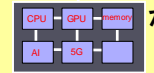
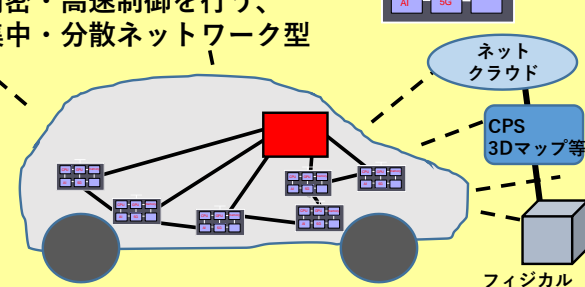
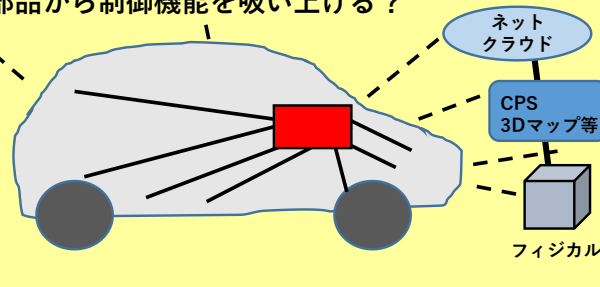
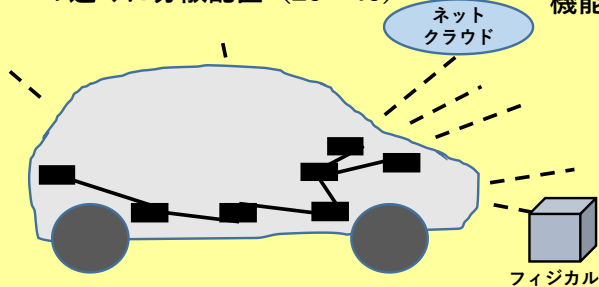
②テスラの提案する統合ECU
(米・中・独企業は追随?)

③将来の可能性 (日本メーカーも?)
日本のサプライヤーシステムと両立可

ECU ■ は被制御(機能)エリアの近くに分散配置 (20~40)

中央制御のビークルコンピュータ(統合ECU)による機能モジュール群の集中・協調制御。機能部品から制御機能を吸い上げる?

中枢神経系の統合ECU ■ が全体・協調制御、末梢神経系のCPSモジュール群が精密・高速制御を行う、集中・分散ネットワーク型



ECUは弁当箱状のボックス。1台あたり平均20個(2015年) ~40個(2025年予想)プリント基板にMCU (マイコン) 3個程度とASIC等を実装半導体は線幅40nmぐらいまでの非先端半導体将来的にも16nmぐらいまでか(非先端?)とはいえアナログ・パワー半導体も重要接続はCAN, LIN などの伝統的なLAN (将来は車載イーサネット?、5G?)機能部品/モジュールに近い場所に分散配置Physical, Cyber空間と接続

統合ECU = 中央制御のビークルコンピュータ。ECUの数はむしろ減少マイコンよりは先端のロジック半導体を活用線幅7nm, 5nm 3nm ... の先端半導体の集中活用で大幅なECUコスト低減の可能性あり。16nm残留だと米欧中に対しコスト・リスクありとはいえアナログ・パワー半導体も重要接続は車載イーサネット、5Gなどが中心?機能部品・モジュールからやや遠い位置に統合ECUを集中配置し、ネットワークでつなぐPhysical, Cyberphysical, Cyber空間と接続

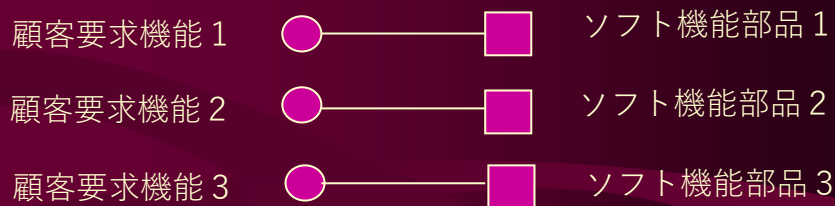
車両の全体制御・協調制御などのための統合ECUを中枢神経系に採用(テスラ方式)先端半導体で集中制御。デジタル競争力維持一方、末梢神経系では、先端半導体の微細化を活用した先端的CPSユニット群(CPU, GPU, AI, 5G, Memoryなどのパッケージ)をエッジ(機能部品の近傍)付近で分散制御。この集中・分散ネットワークには先端半導体(線幅7, 5, 3, 1 nm)が必須。接続は車載イーサネット、5Gなどが中心Physical, Cyberphysical, Cyber空間と接続

③でいくなら・・・TSMC九州工場から「オールジャパン」で先端半導体を大量に安く買い、有力部品メーカーに供給して、末梢神経系(エッジ)のスマート化に活用せよ・・・

ソフトウェアのアーキテクチャ

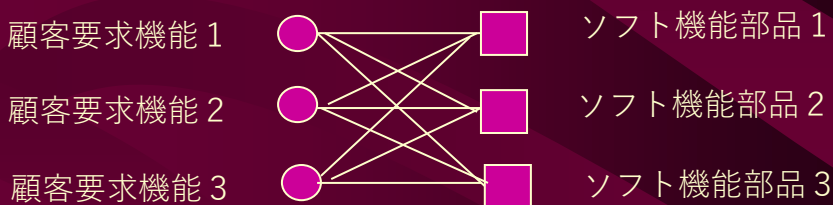
Modular Architecture モジュラー（組み合わせ）型

パソコン/スマホ・アプリ? AI系?



Integral Architecture インテグラル（擦り合わせ）型

組み込みソフト? 高性能ゲームソフト?



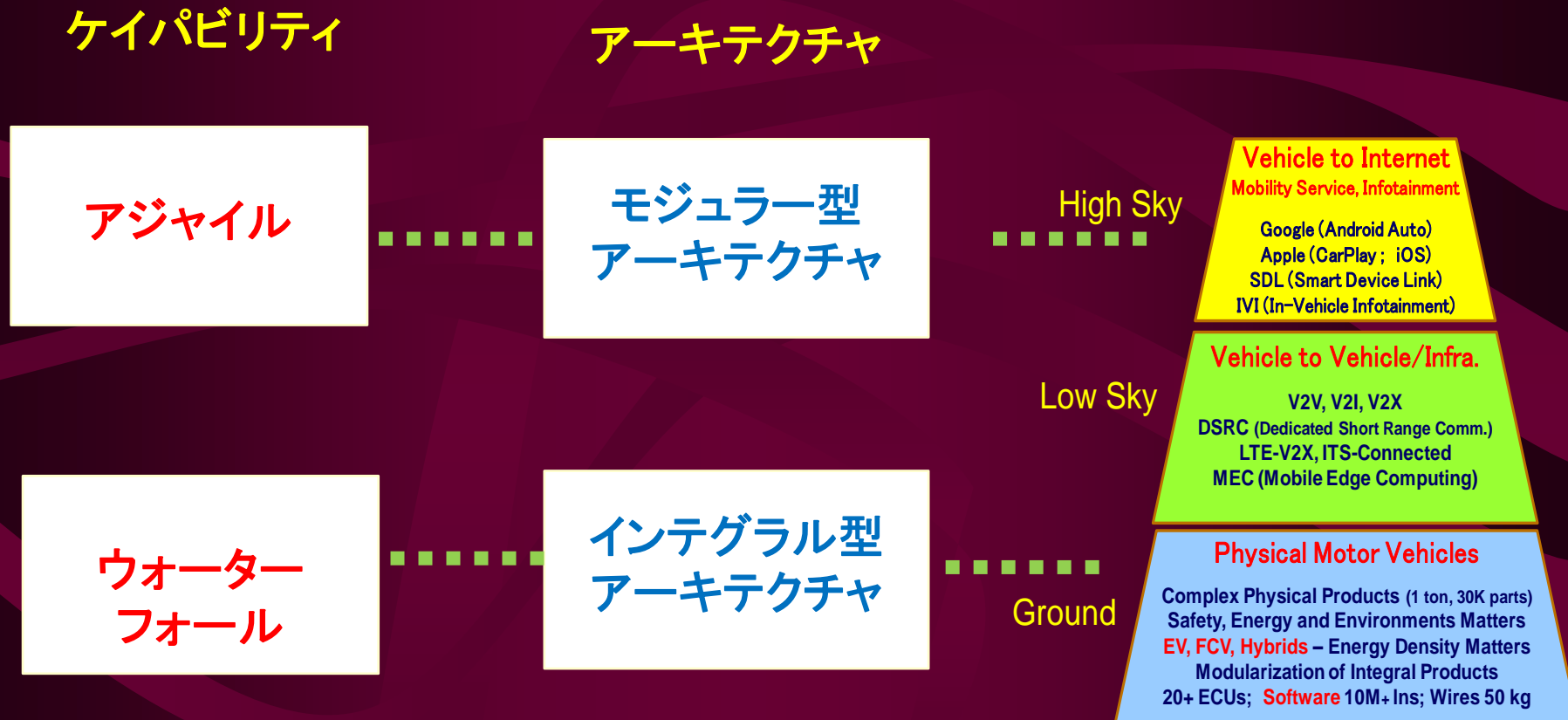
機能と構造を結ぶもの...

ハードウェアでは因果関係(原因→結果)

ソフトウェアでは記号関係(記号→意味)

...設計の不確実性が大きい

ソフトウェアのアーキテクチャ(インテグラル/モジュラー)と 開発組織能力(ウォーターフォール/アジャイル) のバランスが重要



次世代自動車の場合

レイヤー

アウト・カー

アプリ・コンテンツ

通信ネットワーク

車載情報端末

車載コンピュータ
車両制御OS

ECU

車両制御ソフト

車両・ハードウェア

道路・インフラ

イン・カー

ソフトウェア

モジュラー
アジャイル

テスラ

インテグラル
ウォーターフォール

High Sky

Vehicle to Internet
Mobility Service, Infotainment

Google (Android Auto)
Apple (CarPlay; iOS)
SDL (Smart Device Link)
IVI (In-Vehicle Infotainment)

Low Sky

Vehicle to Vehicle/Infra.

V2V, V2I, V2X
DSRC (Dedicated Short Range Comm.)
LTE-V2X, ITS-Connected
MEC (Mobile Edge Computing)

Ground

Physical Motor Vehicles

Complex Physical Products (1 ton, 30K parts)
Safety, Energy and Environments Matters
EV, FCV, Hybrids – Energy Density Matters
Modularization of Integral Products
20+ ECUs; **Software** 10M+ lns; Wires 50 kg

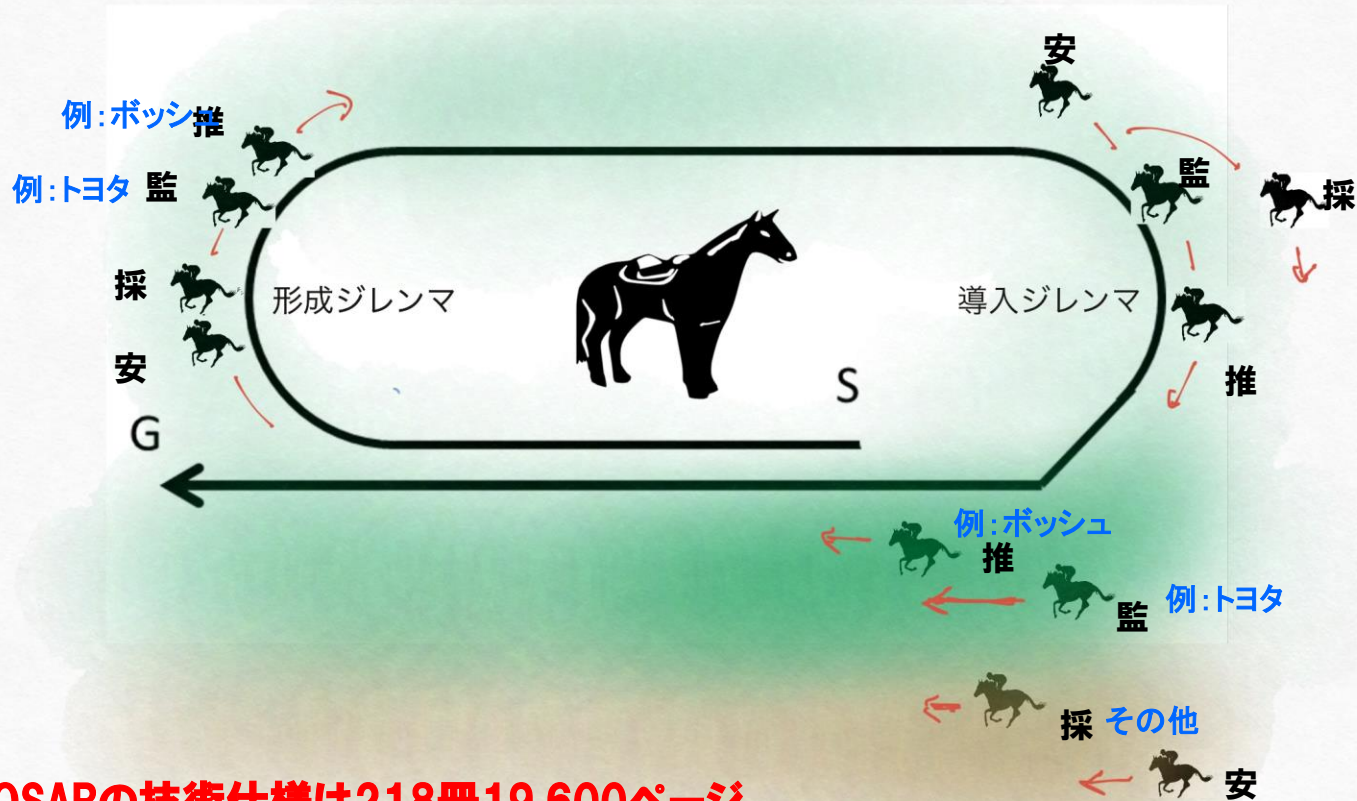
ソフトウェア標準形成・導入における競馬モデル(糸久・藤本)

推進者(先行逃げ切り; Boschなど):

監視者(末脚があり追走; Toyotaなど)

採用者(非競争領域で Free Rider ねらい; 多数)

安住者(参加せず; 超高級車など)



AUTOSARの技術仕様は218冊19,600ページ

次世代自動車のレイヤー構造とソフト開発

レイヤー

ソフトウェア開発

産業構造

アウト・カー

アプリ・コンテンツ

通信ネットワーク

車載情報端末

車載コンピュータ
車両制御OS

テスラ・
AUTOSAR?

ECU

車両制御ソフト

日本勢

車両・ハードウェア

道路・インフラ

イン・カー

モジュラー
アジャイル

ハイブリッド方式
日本で構築?

インテグラル
ウォーターフォール

High Sky

Low Sky

Ground

Vehicle to Internet
Mobility Service, Infotainment

Google (Android Auto)
Apple (CarPlay; iOS)
SDL (Smart Device Link)
IVI (In-Vehicle Infotainment)

Vehicle to Vehicle/Infra.

V2V, V2I, V2X
DSRC (Dedicated Short Range Comm.)
LTE-V2X, ITS-Connected
MEC (Mobile Edge Computing)

Physical Motor Vehicles

Complex Physical Products (1 ton, 30K parts)
Safety, Energy and Environments Matters
EV, FCV, Hybrids - Energy Density Matters
Modularization of Integral Products
20+ ECUs; Software 10M+ Ins; Wires 50 kg

車両制御OSと車載情報端末のアーキテクチャ戦略



車両
制御
OS

車載情報端末OS

クローズド

オープン

クローズド
オープン

トヨタ? (AGL)	ホンダ? (e.g., iOS)
	テスラ? (AGL)

3 自動運転の3層ロジック

…全ての層が関わる



上空

Cyber

クラウド
最適ルート計算
最適マッチング (Uber)

低空

Cyber-Physical

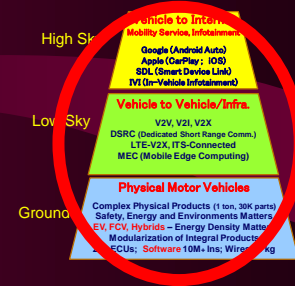
ITS, 3Dダイナミックマップ
静止障害物の高精度位置情報
他車両、人、自転車など動くものの
リアルタイム把握(能動・受動)

地上

Physical

運転者による目視(レベル3まで)
カメラ・レーダー・LIDAR等による
車両周辺の360度の自動画像認識
高速・高精度の車両自動制御

自動運転- まず切実な社会ニーズから



レベル 1、レベル 2: 部分的な自動運転化。既に普及段階へ。進化は続く。

レベル 3: 完全自動運転だが、緊急時の人の介入を要する
- しかし、社会的にあまり有用ではない。ここは飛ばす？

レベル 4: 完全自動運転、ただし**時間限定**(例: 緊急時のみ)
あるいは**空間限定**(たとえば高速道路のみ、専用レーンのみ、スマートシティ内)

2020年代の企業自動車企業・デジタル企業のターゲットはここ？
インフラとの連携が鍵。

レベル 5: 時間・空間無限定の完全自動運転
-- これはハードルが高い。高コストになる可能性。
しかしUBERなど新モビリティ業者(MAAS)にとっては回収可能な額か？

社会ニーズの解決が重要。技術のための技術では支持されない。日本なら、高齢ドライバー社会の到来。ドライバー緊急時に発動するレベル4、過疎地と病院をつなぐ専用レーン限定レベル4車など、**切実な社会ニーズを解決するソリューションとしての自動運転が重要**

専門家の予測: 2030年に、自動運転は全レベル= 80%？ レベル4以上は10%ぐらいか？

自動運転に関する考え：社会ニーズからの発想を

例_1: 高齢化先進国日本、高齢者ドライバーのニーズ

日本の交通事故死亡者数 ≒ 4000 (米国4万) 半分以上は高齢者

① **逆レベル3** (緊急時限定のレベル4) .. 運転者の緊急時に自動運転が介入
緊急時に運転者が介入する従来の「レベル3」はあまり意味がない？

② **区間限定のレベル4** .. まずは地域の専用道路、高速道路等で
Door to Door のレベル5の前に、社会ニーズ対応レベル4
過疎地の運転免許返上高齢者 ..
村に1本は専用道、絶対優先レーンを .. 町の病院往復

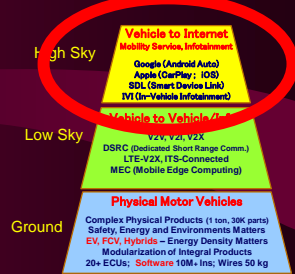
トヨタの米国での実験も上記の2つに近い？ “Highway/Urban Team Mate”

例_2: **アメリカのソーシャルメディア依存者増加のための緊急時自動運転**

寝ている時と教会以外はスマホ漬け？ 事故防止のための自動運転導入
交通事故死者数が4万人に逆戻り .. 原因は？

技術のための技術ではなく、社会や消費者のための技術を！

4 インフォテインメントとコネクテッドカー



クルマはインターネットを通じて世界とつながる

2030年には70%のクルマがインターネットとつながるとの予想も

特にアメリカ等の若年層は、寝ている時以外はソーシャルメディア(フェイスブックなど)とつながってほしい。

つまり、運転席に乗り込んできたときの運転者は、片手に動作中のスマートフォンを持っている確率が高い。ソーシャルメディアの継続利用は必須。これを前提に、インフォテインメント系、たとえば**車載モニター画面を設計する必要がある**。

(1) スマートフォン画面から車載モニター画面への **ストレスの無いスムーズな移行**

(2) しかし高速時には**絶対に安全なコミュニケーションの確保**

こうしたインフォテインメント系の設計問題は「上空」に近い所で起こる。

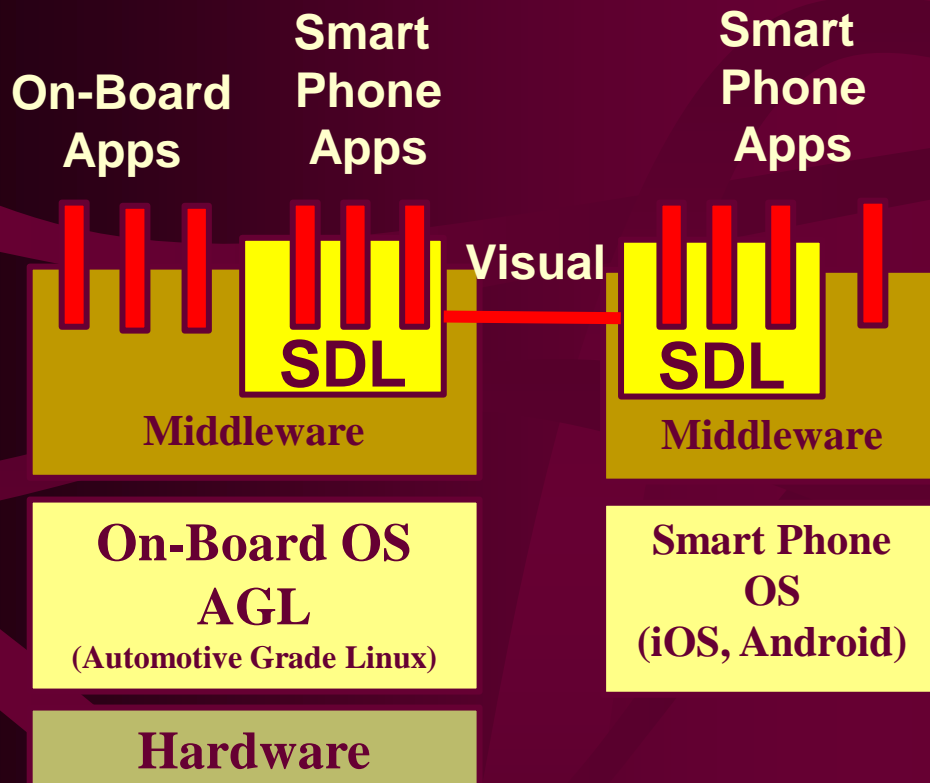
→ 「上空」の**デジタル・プラットフォームリーダー企業**

(アップル、グーグル、フェイスブックなど)との連携は必須。

しかしこれは、自動車企業がデジタル・プラットフォームリーダーの下請けになるという意味ではない。自動車という高速移動する物体内でのヒューマンインターフェースは、重さの無い「上空」とは異なる自動車的なソリューションを要求する

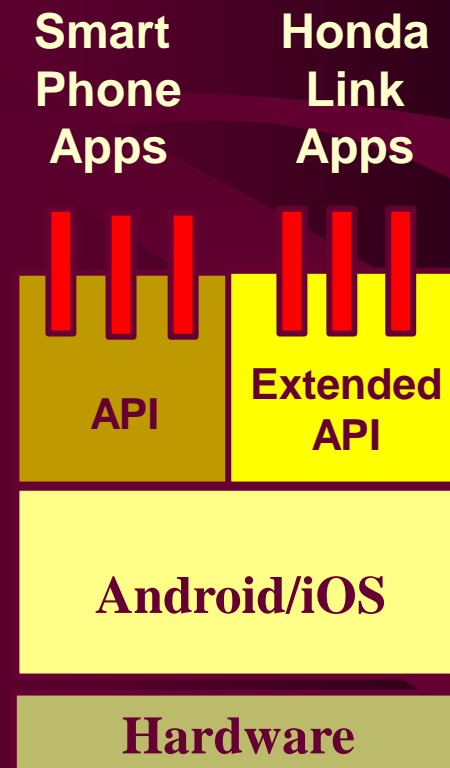
インフォテインメントにおけるソフトのアーキテクチャ スマートフォン勢との競争あるいは補完

トヨタ: AGL-SDL Architecture



Toyota, Ford, Mazda, Subaru, Suzuki

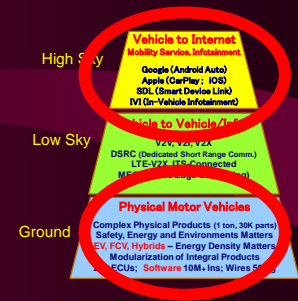
ホンダ: Android/iOS



Honda, Hyundai, VW, Ford --

ところが米国市場でトヨタもホンダも苦戦(2020)・・・コックピット・HMIのProduct Integrity不足？

5 新モビリティ・サービス (MaaS)



従来の自家用車のオーナードライバーによる運転は、
いわばの「セルフサービス」・経済学的には「消費」

これを出発点に、trip/vehicle sharer, operator, vehicle ownerの組み合わせで
シェアリングを含む多様なモビリティ・サービスが発生しうる。

- (1) X地点からY地点へのトリップからの便益を享受する乗客Aを前提にした場合：
- (2) このトリップを共有するtrip sharerは誰か？
無し； 家族； お抱え運転手； 企業ドライバー； 友人； 特定他者； 不特定他者
- (3) このトリップは共有しないが他の機会に車を共有するvehicle sharerは誰か：
無し； 家族； 友人； 特定他者； 不特定他者
- (4) このトリップの運転者operatorは誰か
乗客； 家族； お抱え運転手； 企業ドライバー； 友人； 特定他者； 自動運転
- (5) この車両の所有者(vehicle owner)は誰か

以上の組み合わせによって、多様なモビリティ・サービスの形態が考えられる。
その多くは、ICT・インターネットを活用した新モビリティ・サービスであろうが、そこにはローカルな特殊性も作用する。ローカル企業が勝つことも。グローバルに長期的な「独り勝ち」企業(たとえばUBERや LYFT)が出現するかどうかは、まだ明確には判断できない。

モビリティ・サービスの多様性

(家族・友人は単純化のため無視)

乗客 A が、地点 X と地点 Y の間のトリップで便益を得ていることを前提にすると・・・

Type of Mobility	Trip Sharer	Vehicle Sharer	Operator	Vehicle Owner
Owner's Car Driving	None	None	Passenger A	Passenger A
Car Leasing	None	None	Passenger A	Firm F
Car Rental	None	Unlimited Others	Passenger A	Firm F
Hiring Chauffeur	Chauffeur C	None	Chauffeur C	Passenger A
Hirer	Pro. Driver D	Limited others	Pro. Driver D	Firm F
Taxi (Firm)	Pro. Driver D	Unlimited Others	Pro. Driver D	Firm F
Taxi (Individual)	Pro. Driver D	Unlimited Others	Pro. Driver D	Pro. Driver D
Uber, Lyft, etc.	Registered. Driver D'	Registered Others	Registered. Driver D'	Registered. Driver D'
Commercial Car Sharing	None	Registered Others	Passenger A	Firm F
Employee Car Sharing	None	Other Employees	Passenger A	Employer Firm E
Individual Car Sharing	None	Individual B, etc.	Passenger A	Individual B
Ride Sharing	Individuals Bi	Individuals Bi	Passenger A	Passenger A
BlaBlaCar, etc.	Individuals Bi	Individuals Bi	Individual B	Individual B
Ride Share Taxi	Limited Others	Unlimited Others	Pro. Driver D	Firm F
Hitchhiking	Friendly Others	Others ?	Friendly Others	Friendly Others
Public Transportation	Unlimited Others	Unlimited Others	Pro. Driver D	Firm F

多様なモビリティ・サービスが、この組み合わせによって出現する

誰が主役となるか？

- 多様性か、一極への集中か？
- 既存企業か新規参入企業か？
- 製品企業か、プラットフォーム企業か、コアのサプライヤーか？

	Old	Old and New	New
Few	Only a Few Giants Survive ? (Boring vs Air Bus)	Final Match by Old vs New Giant Survivors?	A Few New Ones Dominate ? (e.g., Google, Apple)
Some	Only 10 Makers Survive ? (Old View by Media)	Oligopoly by Mixture of Old and New?	Some New Ones Survive?
Many	Many Existing Ones Survive ? (US in 1900, China in 2000)	Mixture of Many Old & New Ones Survive?	Only New Ones, But Many of Them Survive?

-- どの層に関わるかによる - 上空か、低空か、地上か

- ・上空ではグローバル・プラットフォーム・リーダーの影響が強い
- ・しかし地上では多様性が残り、既存企業も存在感を保つ

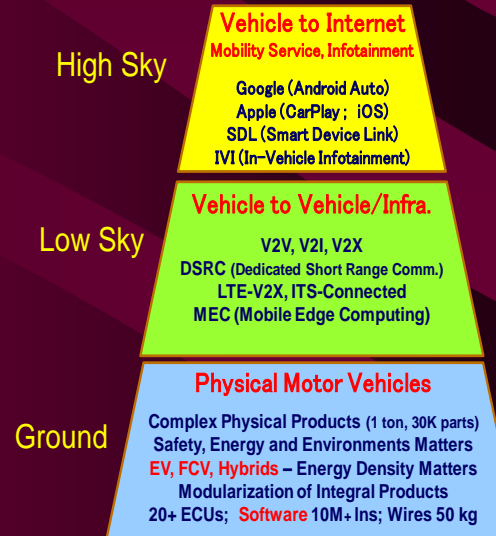
パワートレイン: 多様化の時代。既存企業も新勢力も

組込みソフト: コア・コンポーネント企業の存在感アップ

自動運転: 多層的で複雑な動きが続こう

インフォテイメント: プラットフォーマーとの連携必須

モビリティサービス: 組み合わせにより多様な提案が続く？



「地上」と「上空」のダイナミックで複雑な相互作用は今後も続こう。

どちらかの一方的な議論は間違えやすい。

強い現場(コテコテのものづくり能力構築)と 強い本社(しぶといアーキテクチャ戦略)で 感染症・デジタル化・米中摩擦時代を乗り切ろう 必要とされる人材は、戦略にも現場にも強い「産業の軍師」

(1) 強い現場 .. 地道なものづくり能力構築は続くこれは変わらない!

「グローバル能力構築競争の時代へ.. 新興国賃金高騰
ハンドの緩和で、現場は、着実にものづくり能力構築を続ければ
生き残れる見通しが立ってきた .. 地域に根差す明るい現場
草の根イノベーション .. 生産性向上と需要創出の同時追求
顧客満足、利益確保、雇用確保の「三方よし」

(2) 強い本社 .. 本社がイノベーションを仕掛ける時代に

アーキテクチャの位置取り戦略、オープン標準獲得、ブランド戦略
強い現場を使い切る。現場と本社の相互信頼
潮目を読み切る的確な製品戦略を。固定観念にとらわれるな
「戦うマザー工場」を中心とした「二本足で立つグローバル戦略」
プラットフォーム競争の時代に「強い補完材」戦略で対抗

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
- ・グローバル経営とものづくり経営を両立させるITシステム → 藤本・朴編『ITを活かすものづくり』日経出版社
- ・2010年代のものづくり現場の再評価 → 藤本・新宅・青島編『日本のものづくりの底力』東洋経済新報社
- ・まずは現場の潜在力を正確に評価できる本社能力を → 中沢・藤本・新宅『ものづくりの反撃』ちくま新書
- ・上空と地上をつなぐ知恵を用いた現場発の企業戦略論 → 藤本『現場から見上げる企業戦略論』角川新書