

# アーキテクト

～アーキテクトは何ができるのか～

白坂成功

慶應義塾大学大学院 システムデザイン・マネジメント研究科



## Contents

1. はじめに
  - 自己紹介
  - SDM紹介
2. 宇宙開発での事例
3. アーキテクトのCapability : 多視点
4. いろいろなアーキテクチャ
5. 新たな世界へ
6. まとめ



## 1 . はじめに：自己紹介

- ・ 修士：東京大学大学院工学系研究科、博士：慶應義塾大学大学院SDM研究科
- ・ 1994年 大手電機メーカー入社 人工衛星開発に従事（15年間）
  - ・ おりひめひこぼし（技術試験衛星VII型）の運用設備の開発、運用メンバー
  - ・ ランデブードッキング試験設備の開発
  - ・ 宇宙ステーション輸送機（HTV:H-II Transfer Vehicle）のシステム設計、運用システムの設計、運用メンバー
  - ・ ドイツAstrium社に駐在（ESAの衛星システムシミュレータ開発）
  - ・ 準天頂衛星システム、総合システム開発のプロジェクト管理、システム設計
  - ・ INCOSE日本支部設立メンバー

## 1 . はじめに：自己紹介（継続）

2004年より慶應義塾大学非常勤講師、2010年4月より慶應大学専任准教授

- ・ ほどよし信頼性工学：適度なコストと適切な信頼性 超小型人工衛星
- ・ システム開発方法論の研究 人工衛星、スマートグリッド、機能安全、System Assurance
- ・ 慶應SDM アーキテクティングラボ主催
  - ・ あらゆるシステムをアーキテクチャの観点で研究をおこなう
- ・ ISO JTC1/SC7/WG42 Architecture主査
  - ・ ISO/IEC 42010 (IEEE1471) Architecture Description
  - ・ ISO/IEC 42030 Architecture Evaluation (WD2)

# SDM 研究科



## 日本の問題:

激動する現代社会が直面する問題の多くは、問題をシステムとして俯瞰的視点からとらえ、全体として整合性のある解を導くべき問題なのに、誰もそれができないこと。



閉塞感 環境問題 貿易 教育  
小子高齢化 外交 農業 TPP 雇用  
領土問題 防衛 資源 技術のガラパゴス化  
国家財政破綻 セキュリティー 国際競争力の低迷  
格差 年金 国家ビジョン 理系離れ

## 日本の問題:

激動する現代社会が直面する問題の多くは、問題をシステムとして俯瞰的視点からとらえ、全体として整合性のある解を導くべき問題なのに、誰もそれができないこと。

## 日本の問題を解決するには？

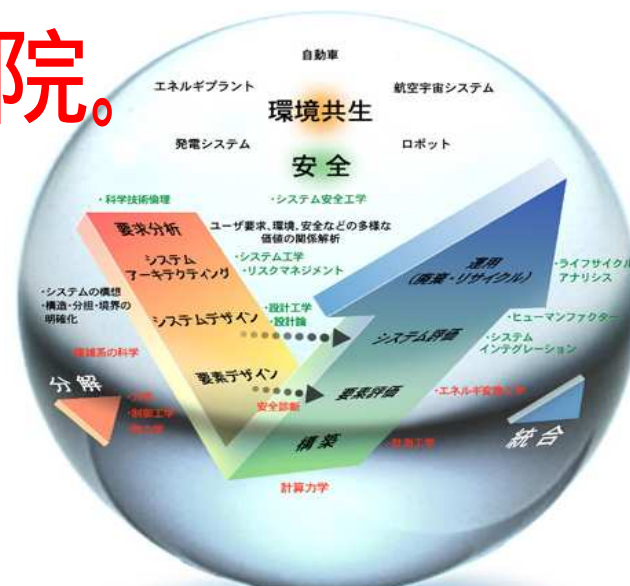
「問題をシステムとして俯瞰的にとらえ全体として整合性のある解を導く方法」を確立し、これを身につけた人材の育成を行うべき。

## システムデザイン・マネジメント研究科とは？

システムズエンジニアリングを基盤に、複雑に絡み合った問題をシステムとして解決するための方法を伝授する、これまでにない、文理融合型の大学院。



7 Nov. 2012





チームでの協働によりイノベーションを生み出すデザイン思考を基盤とする**デザイン学**体系



システマティックに学ぶ手法を駆使した新概念デザインと検証

システムズエンジニアリングを基盤とする**システム学**体系



必修コア科目を中心にシステムとしての見方の基礎を徹底的に教育



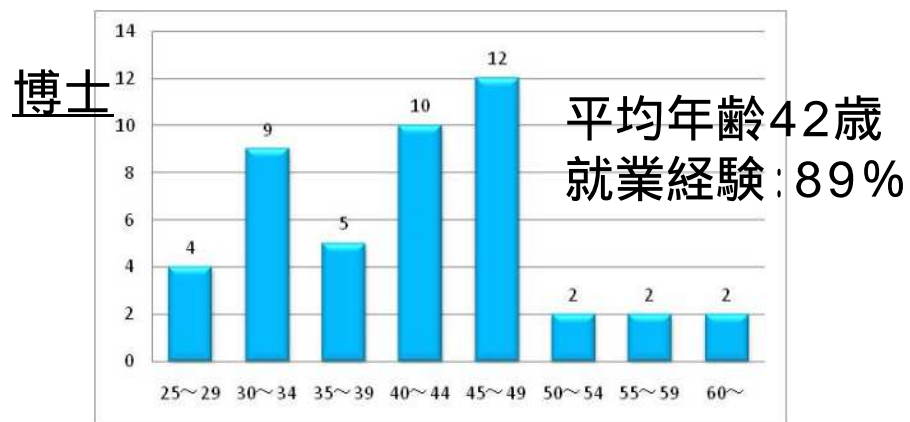
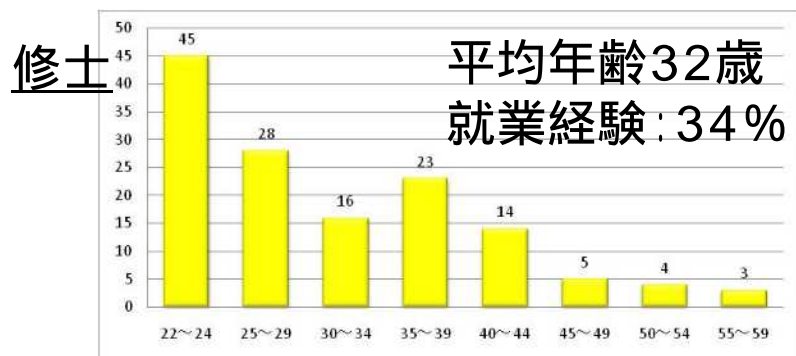
**SDM学による人材育成**

プロジェクトマネジメントやビジネス系科目による**マネジメント学**体系

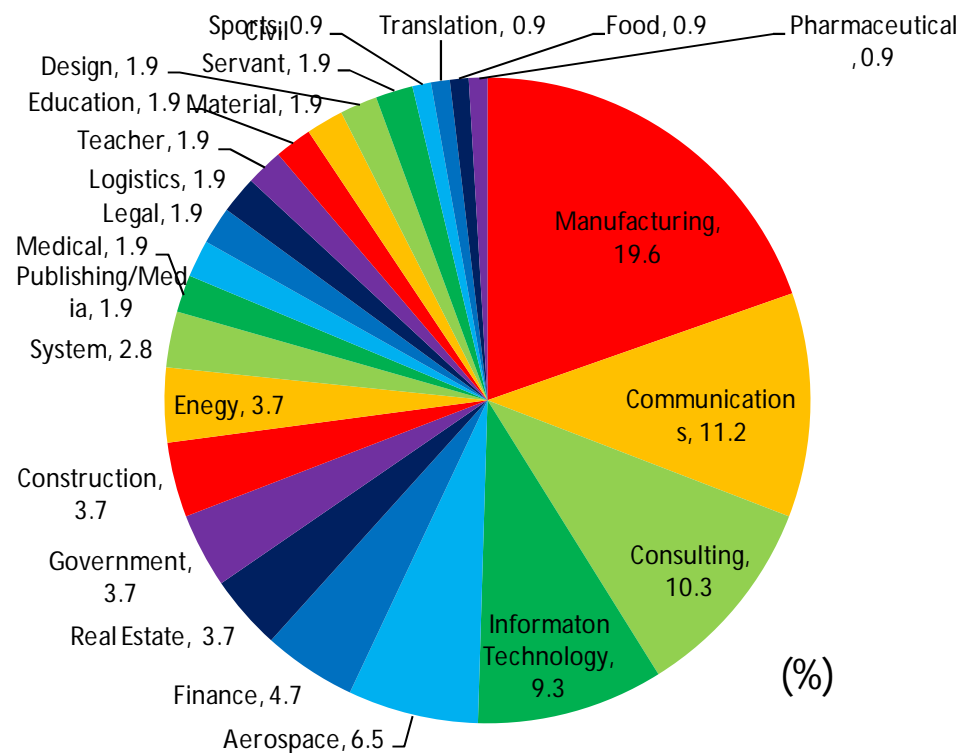
PMP (Project Management Professional) 認定につながる科目群



多様な学生のメルティングポット



多様なバックグラウンド



留学生20%、年々増加中

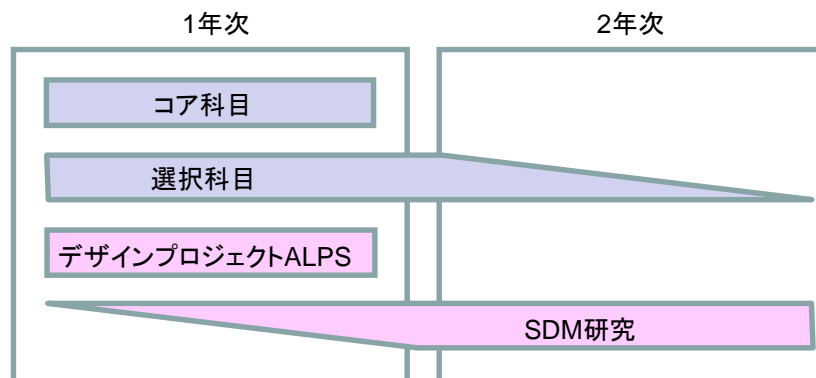
企業派遣: JAXA、防衛省、NEC、NTTデータ他多数

## (1) リサーチインテンシブコース

- ・コア科目 (2単位 × 4科目)
- ・デザインプロジェクトALPS (4単位)
- ・SDM研究 (8単位)
- ・選択科目 (8科目16単位以上)

新卒学生 + 社会人学生

学位: SE学、SDM学

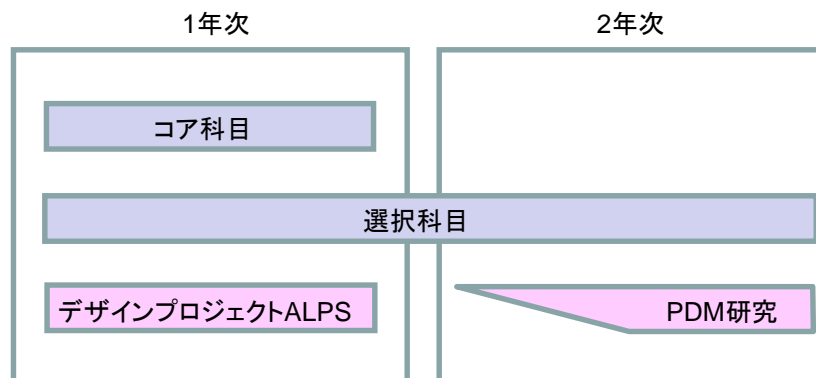


## (2) ラーニングインテンシブコース

- ・コア科目 (2単位 × 4科目)
- ・デザインプロジェクトALPS (4単位)
- ・デザインプロジェクト研究 (2単位)
- ・選択科目 (16科目32単位以上)

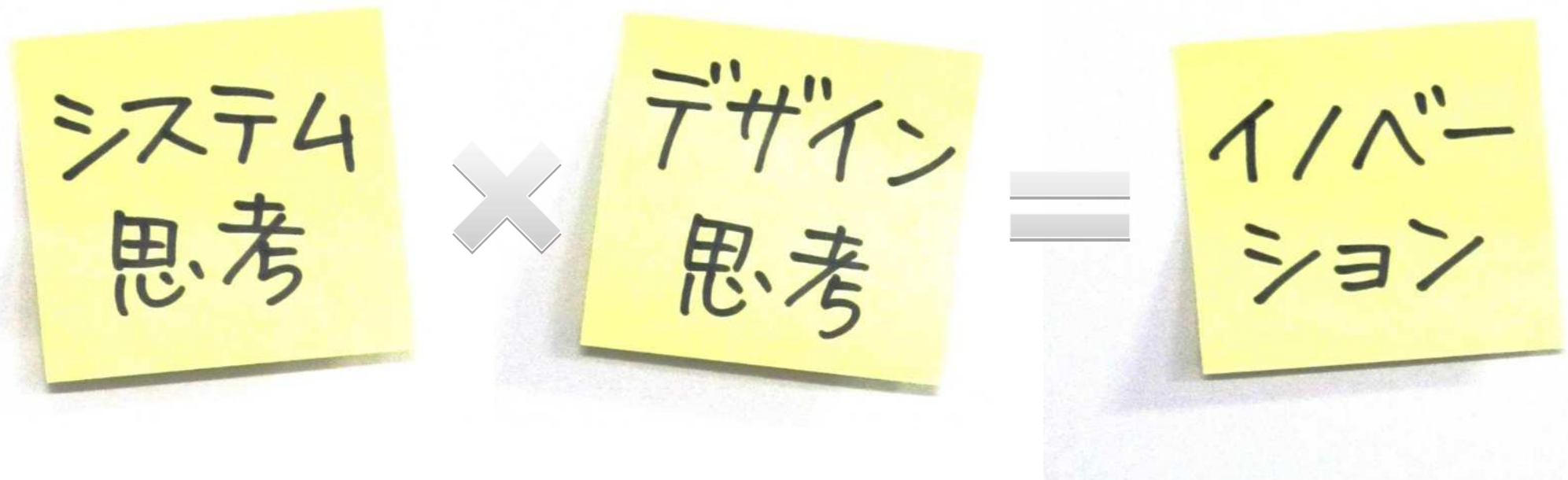
社会人経験3年以上の社会人に限る

学位: SDM学



要望が多いため、1年のCertificateコース新設予定: 学位はないが、同じ授業を受講可能  
 企業社内研修コースの提供: JAXAほか

# デザインプロジェクト科目 Design Project



# デザインプロジェクト科目 Design Project

## イノベーションの実践方法学習

Keio + MIT + Stanford + TUDelft

年間を通してのグループプロジェクト

徹底的な社会ニーズの分析からシステムのデザインまで  
企業からも持ち込み課題に対してソリューション提案



慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科附属システムデザイン・マネジメント研究所 マネジメントデザインセンター主催  
一般社団法人 PMI 日本支部、一般財団法人 エンジニアリング協会 後援「プロジェクト・マネジャー能力強化研修」併設企画

マネジメントデザインセンター設立記念シンポジウム



# グローバルビジネスに打ち勝つ **入場無料** ※事前登録が必要です 海外展開プロジェクトへの人材育成



2012年11月13日[火] 9:30~12:00 慶應義塾大学 日吉キャンパス 協生館2階 藤原洋記念ホール

[詳しくはこちら](#)

## 公開ワークショップSUNDAY KIDS

第1回 世界をリ・デザインしたい人のための  
ワークショップ(5～6月)

第2回 世界を変える新規事業・起業のための  
コンセプトビジュアライゼーション(10月)

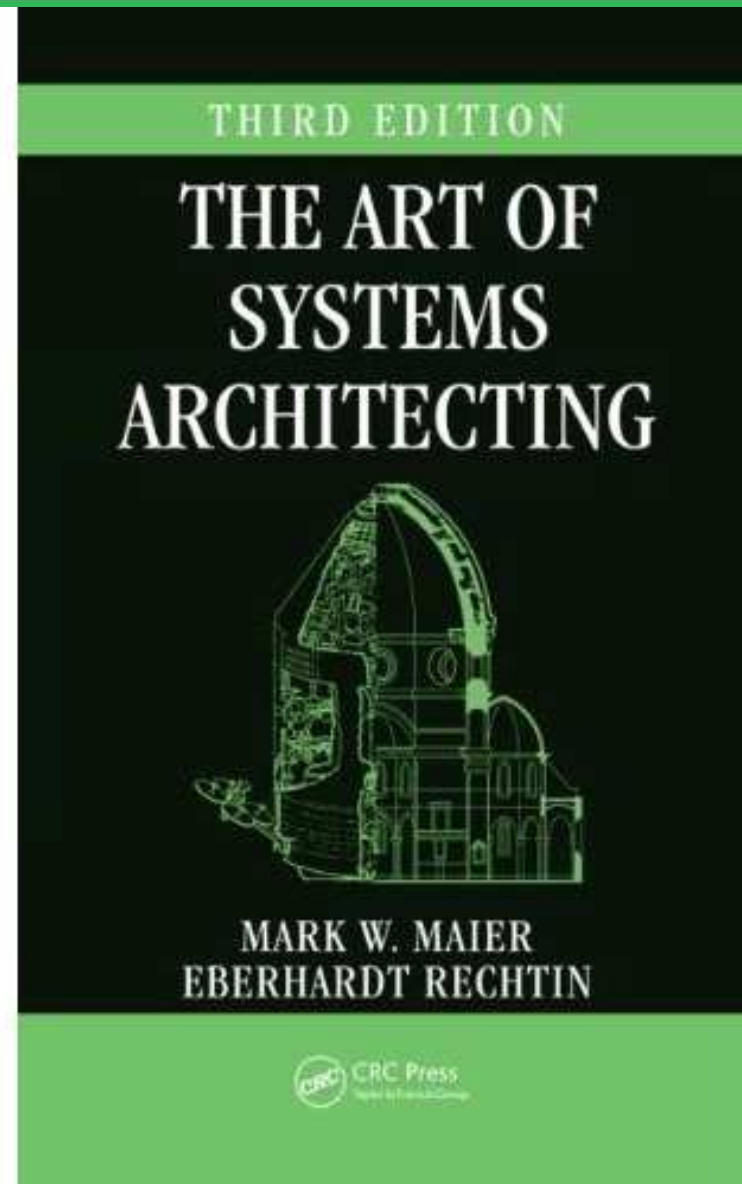
第3回 「あなたの未来をデザインする人間中心デ  
ザインワークショップ」(12月)

第4回 「社会のデザイン」ワークショップ(3月)









7 Nov. 2012

shirasaka@sdm.keio.ac.jp

| Characteristic                         | Architecting  | A & E  | Engineering  |
|--|---|--|--|
| Situation/goals                        | Ill-structured<br>Satisfaction  | Constrained<br>Compliance  | Understood<br>Optimization   |
| Methods                                | Heuristics<br>Synthesis   | ↔<br>↔   | Equations<br>Analysis  |
| Interfaces                             | <b>Art</b> and science<br>Focus on “mis-<br>fits”                               | <b>Art and Science</b><br>Critical                                   | <b>Science</b> and <b>Art</b><br>Completeness                                |
| System integrity<br>maintained through | “Single mind”   | Clear objectives   | Disciplined<br>methodology<br>and process                                    |
| Management issues                      | Working for Client<br>Conceptualization<br>and certification<br>Confidentiality | Working with<br>Client<br>Whole waterfall<br>Conflict of<br>interest | Working for<br>Builder<br>Meeting project<br>requirements<br>Profit vs. cost |

## 定義

### Architecture


- <system> fundamental concepts or properties of a system in its environment embodied in its elements, relationships, and in the principles of its design and evolution

(ISO/IEC/IEEE 42010 Systems and Software Engineering – Architecture Description 2011) (IEEE1471)

## 宇宙開発での事例



# はじめに: 人工衛星の特徴 - 部品点数

|  | 部品点数   | 重量    |
|--|--------|-------|
| <b>ノートPC</b><br>        | 約0.1万点 | 1~3Kg |
| <b>自動車</b><br>          | 約1万点   | 1~2トン |
| <b>ロケット(H-IIA)</b><br> | 約35万点* | 260トン |
| <b>衛星</b><br>         | 約70万点* | 1~4トン |

規模(部品点数)




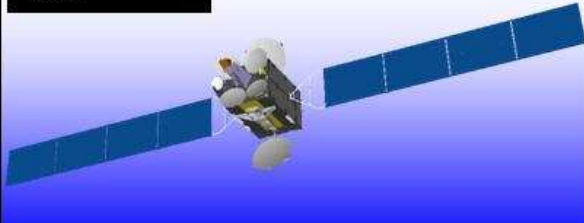
自動車と同程度の重量で部品点数は70倍

ロケットよりも更に2倍多い

極めて大規模(複雑)なシステム

\*出典：航空宇宙学会誌 2002年9月号 解説記事宇宙開発事業団 山形史郎氏  
 「大型宇宙システムを支える最新のシステム開発マネジメント技術」  
 7 Nov. 2012

# はじめに：人工衛星の重量価値-グラム単価

|  | 価格/重量                     | 1g単価                             |
|--|---------------------------|----------------------------------|
| <b>ノートPC</b><br>        | <u>5万~20万</u><br>1.5kg    | 33~133円                          |
| <b>自動車</b><br>          | <u>100~1000万</u><br>1~2トン | 1~5円                             |
| <b>ロケット(H-IIA)</b><br> | <u>約80億</u><br>260トン      | 30円                              |
| <b>衛星</b><br>         | <u>100億~300億</u><br>1~4トン | <b>5,000円~</b><br><b>30,000円</b> |

工業製品としては、  
極めて高価  
(同じ重量の純金の1.5~10倍)



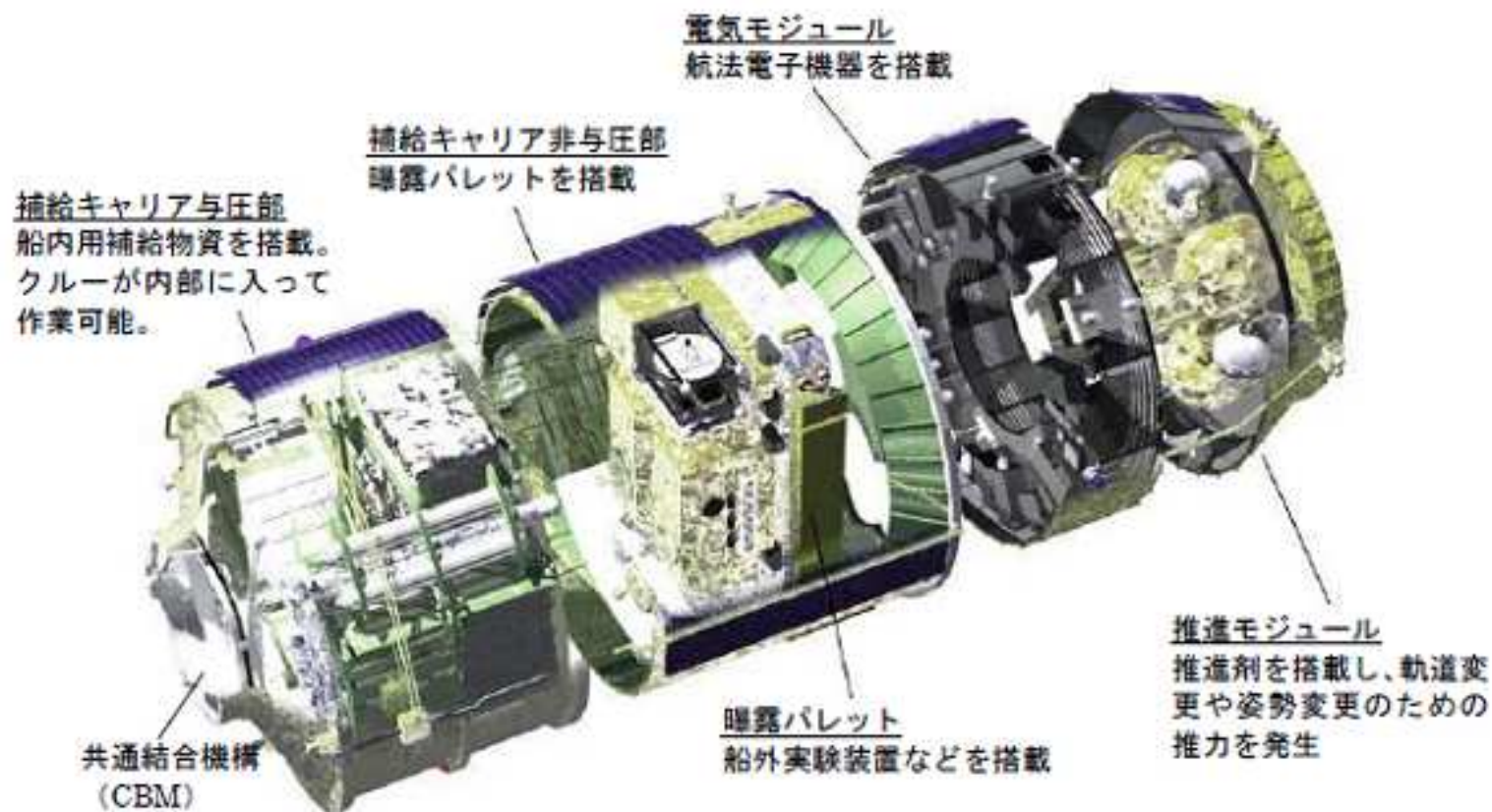
参考(1g単価)

|                      |           |
|----------------------|-----------|
| 木造住宅                 | 0.4円      |
| ほぼ自動車と同じ<br>コンビニおにぎり | 2~5円      |
| 純金                   | 4194円     |
| ダイヤモンド               | 100~400万円 |

## 「こうのとりの」の事例



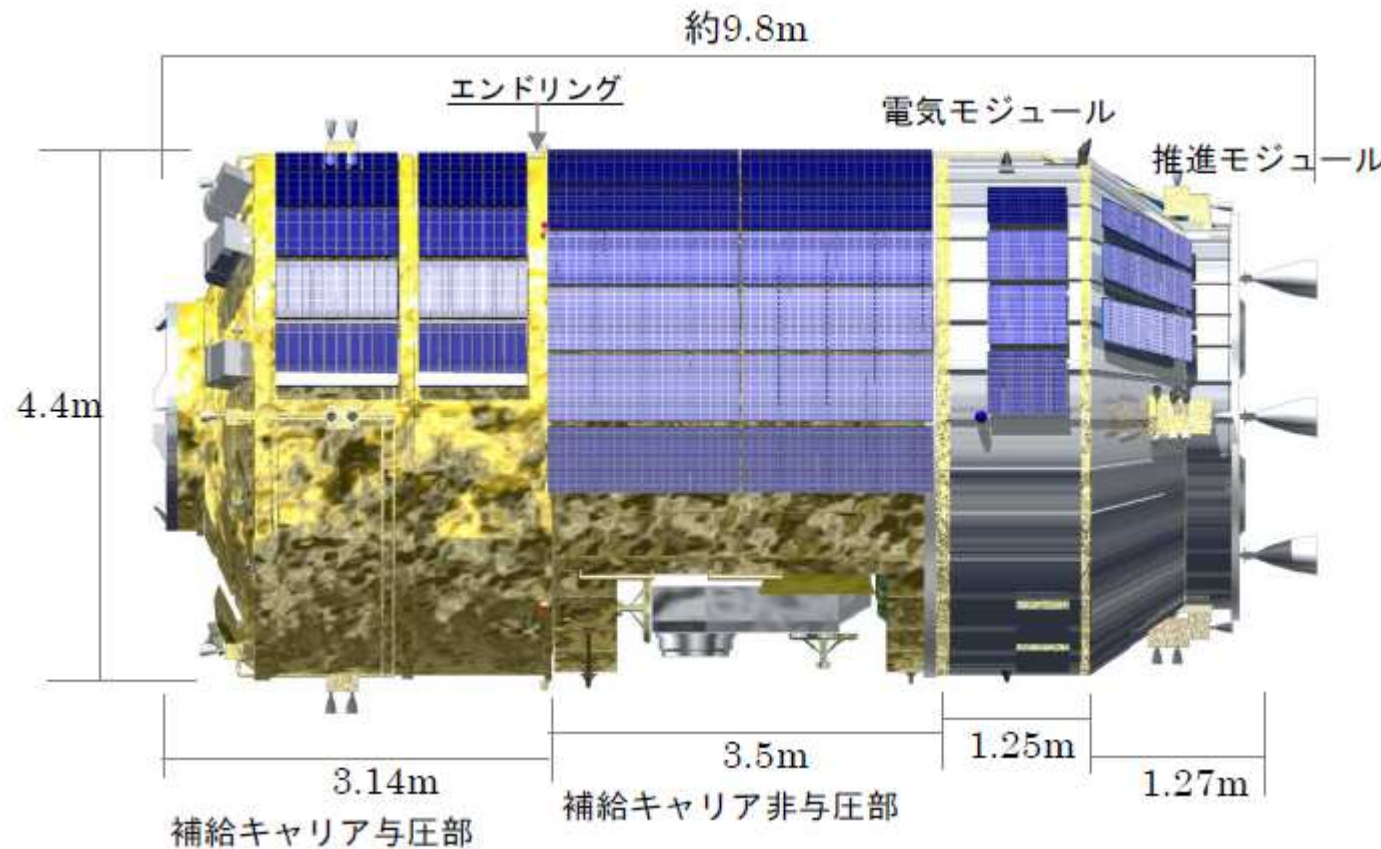
# 「このとり」とは



出典: JAXA (HTV1Press Kit)



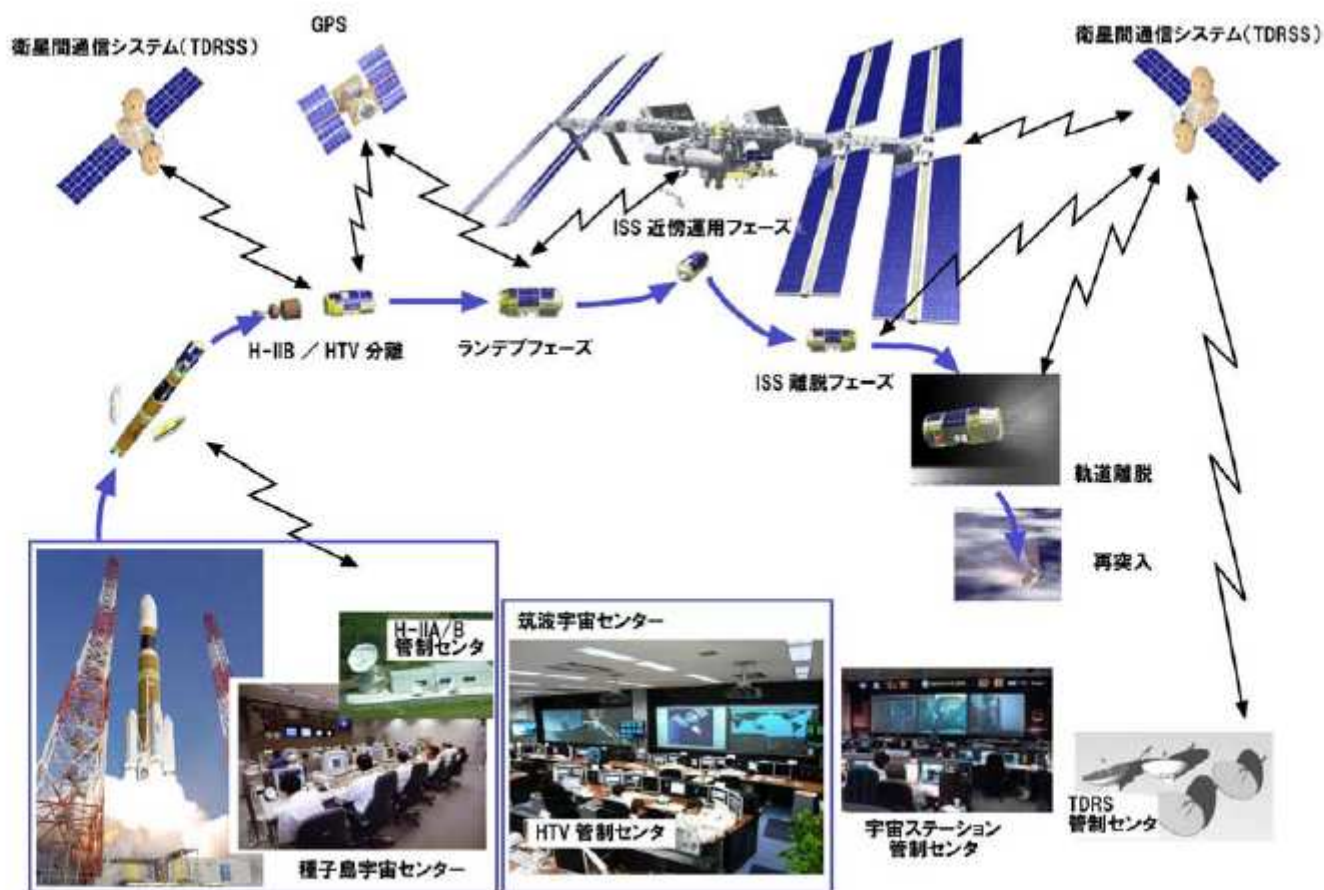
# 「このとり」とは



全長: 約9.8m  
 直径: 約4.4m  
 総質量: 最大16.5ton  
 補給能力: 最大6ton

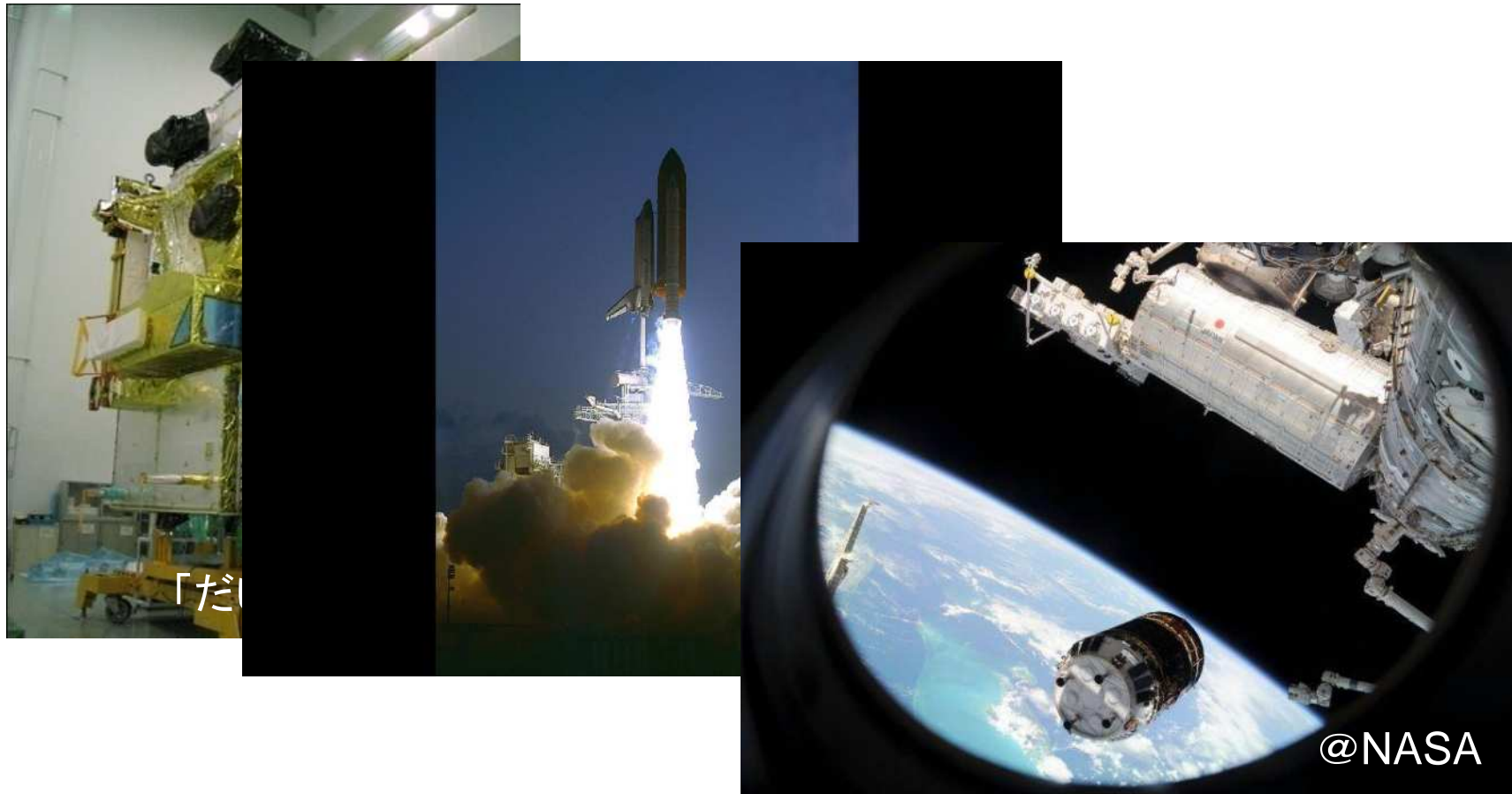
出典: JAXA (HTV1Press Kit)

# 「このとり」とは

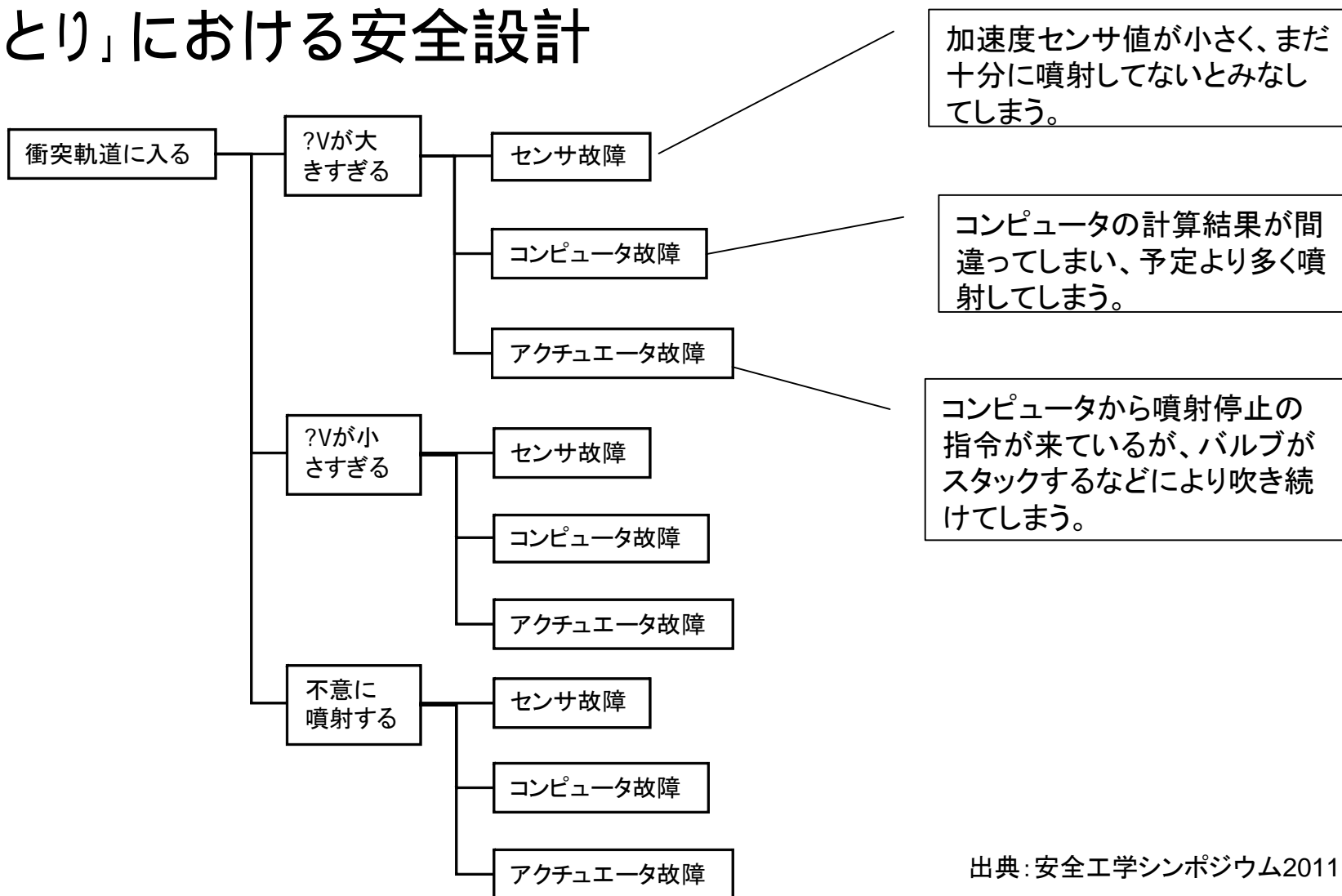


出典: JAXA (HTV1Press Kit)

- 宇宙機安全設計の必要性



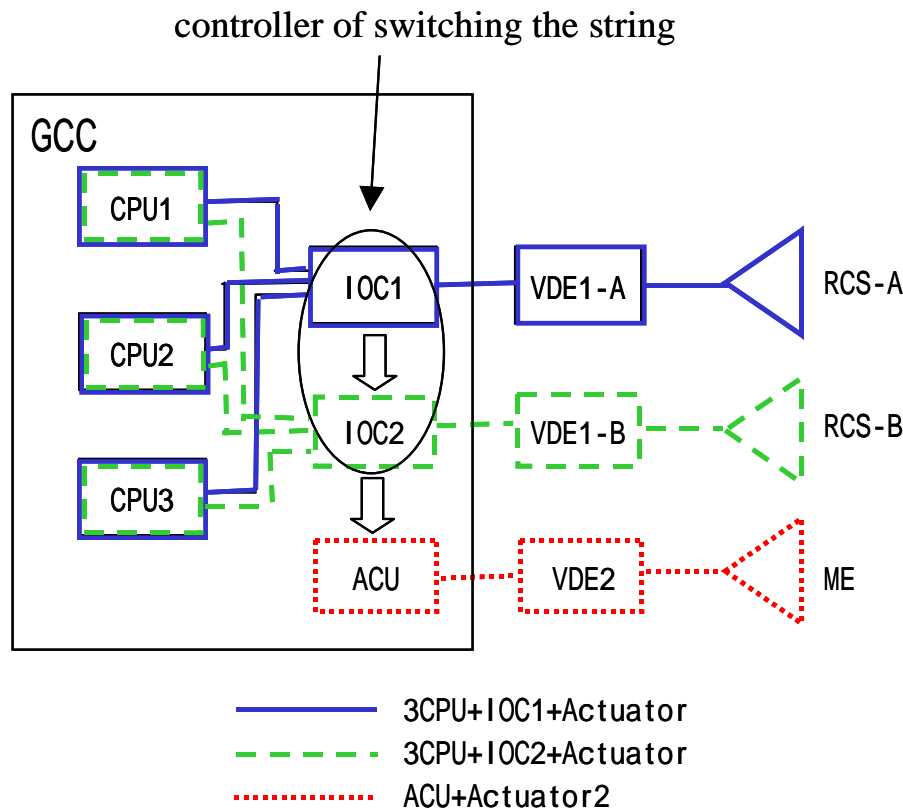
# 「このとり」における安全設計



出典:安全工学シンポジウム2011

# 「このとり」における安全設計

MWF



ミッションを継続できる機能  
= 正しく Vを制御  
= 安全

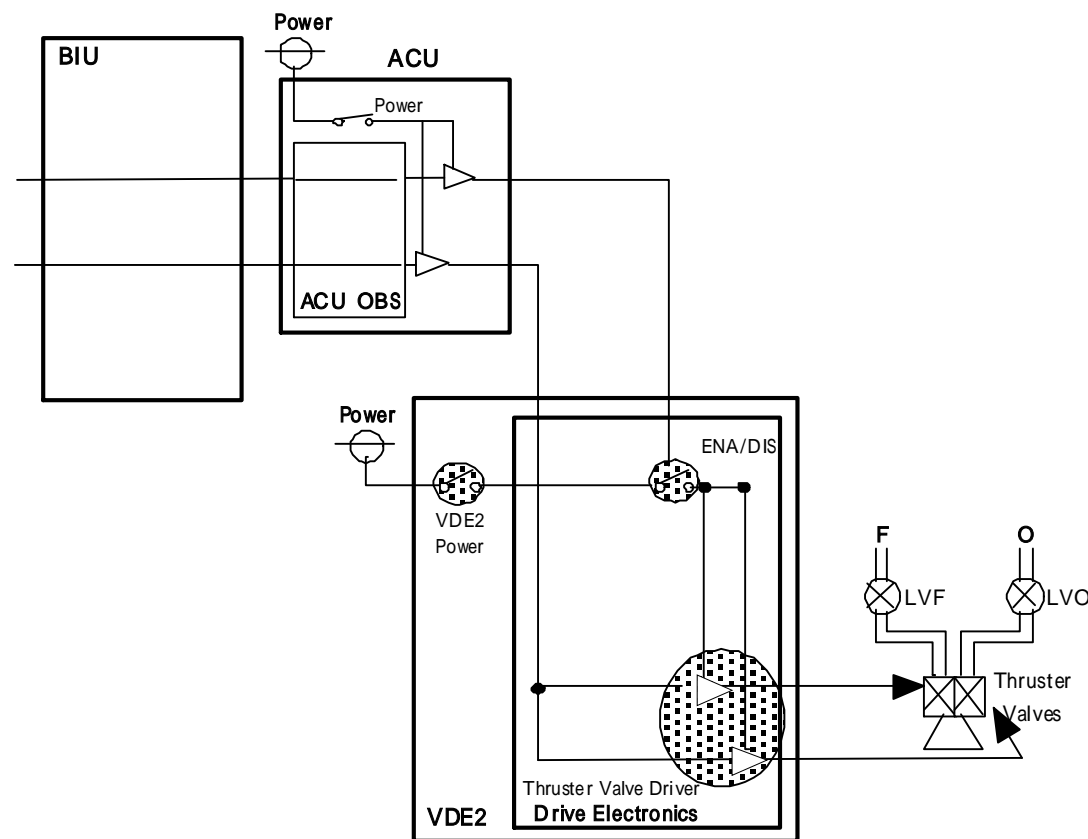
ミッションは継続できないが、安全なレベルで Vを制御する機能

現在制御に使っているアクチュエータ: マヌーバ自体を禁止できないため、Vあるいは加速度量をモニタしながら、異常があった場合にはアクチュエータを切り替えることで対応

出典: 安全工学シンポジウム2011  
shirasaka@sdm.keio.ac.jp

# 「このとり」における安全設計

**MNWF**

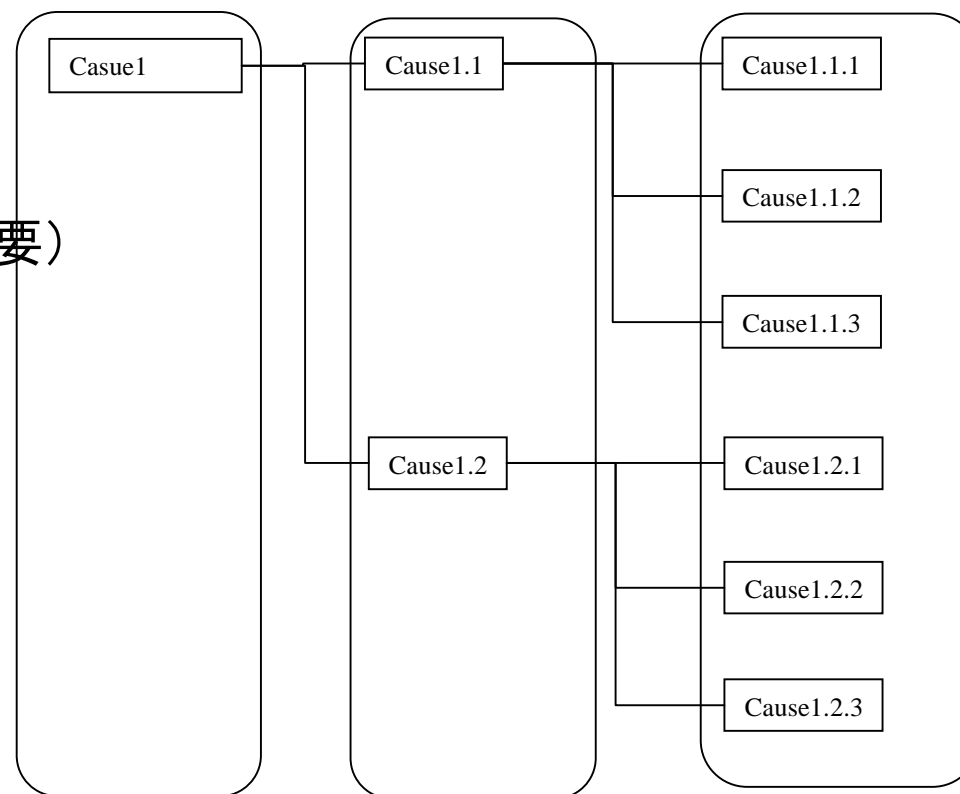


現在制御に使っていないアクチュエータについては、インヒビットを3つ以上用意することで、  
 例え2故障があっても間違っスラスタを噴かないように制御

出典: 安全工学シンポジウム2011

## 「このとり」における安全設計：階層化FDIR

- FDIR (Fault Detection, Isolation and Recovery)
- Layered FDIR architecture
  - Wide coverage of cause
  - Quick response to failure  
(ミッション継続性のために重要)

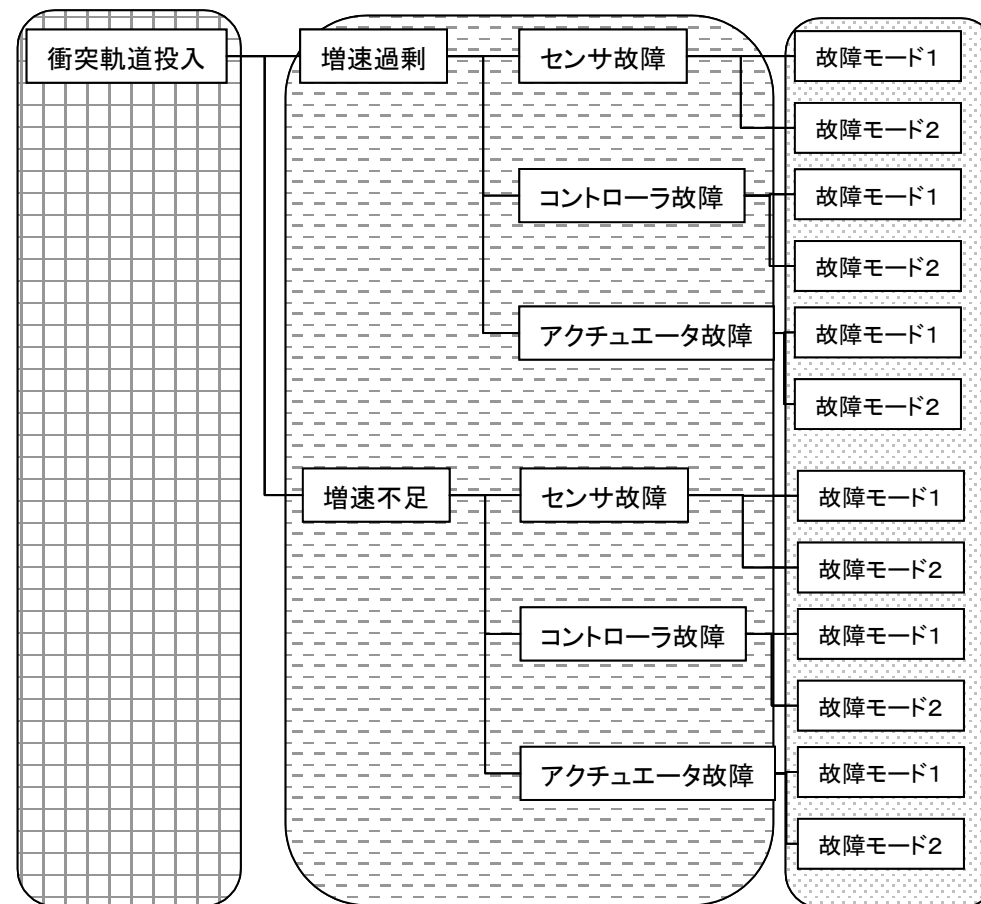


**Level 3 FDIR**  
– 高カバレッジ  
– 低レスポンス

**Level 2 FDIR**  
– 中カバレッジ  
– 中レスポンス

**Level 1 FDIR**  
– 低カバレッジ  
– 高レスポンス

# 「このとり」における安全設計：階層化FDIR



**Safety Net FDIR**  
 —高カバレッジ  
 —低レスポンス

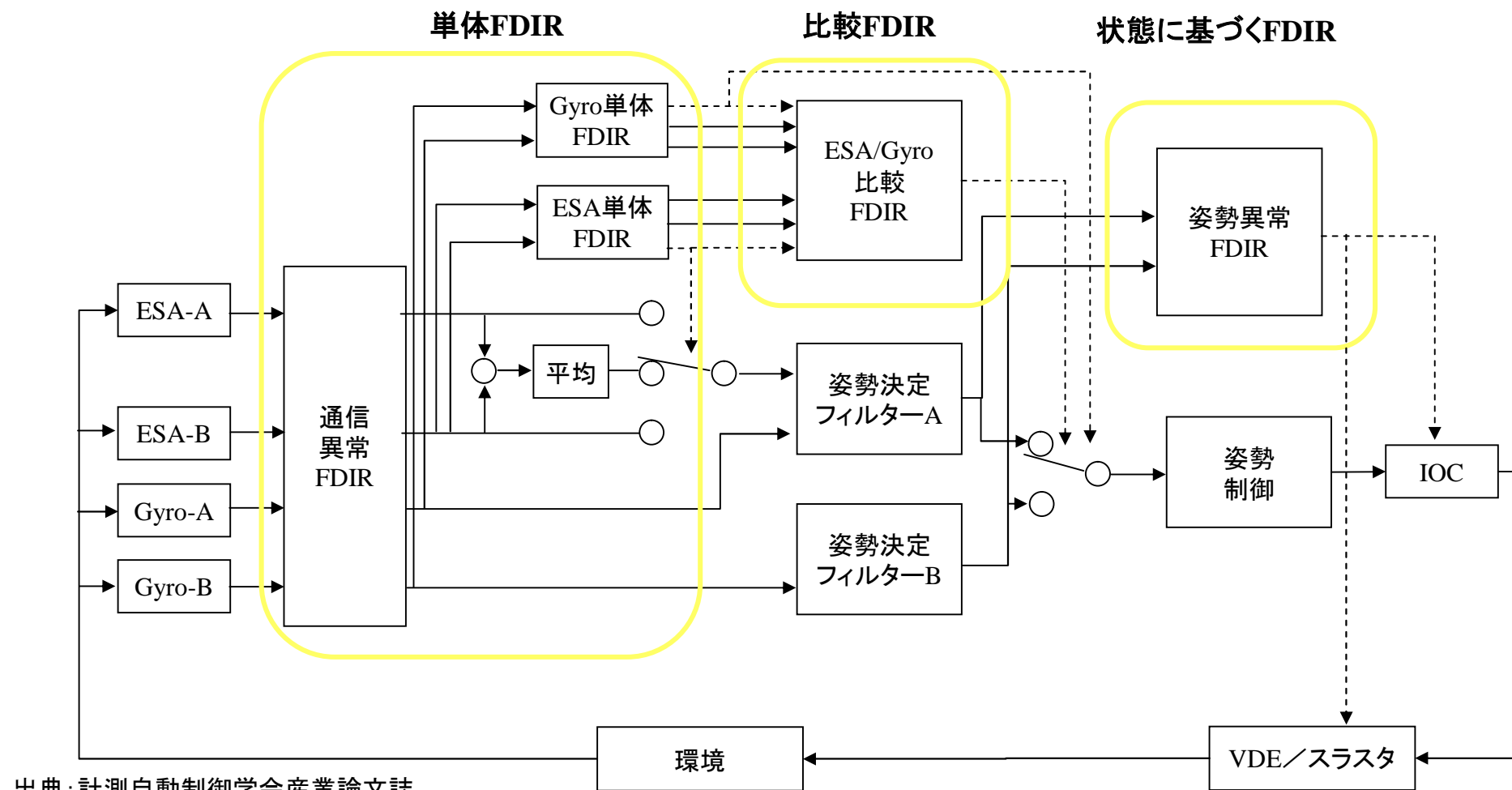
**状態に基づくFDIR・比較 FDIR**  
 —中カバレッジ  
 —中レスポンス

**単体 FDIR**  
 —低カバレッジ  
 —高レスポンス

出典：計測自動制御学会産業論文誌

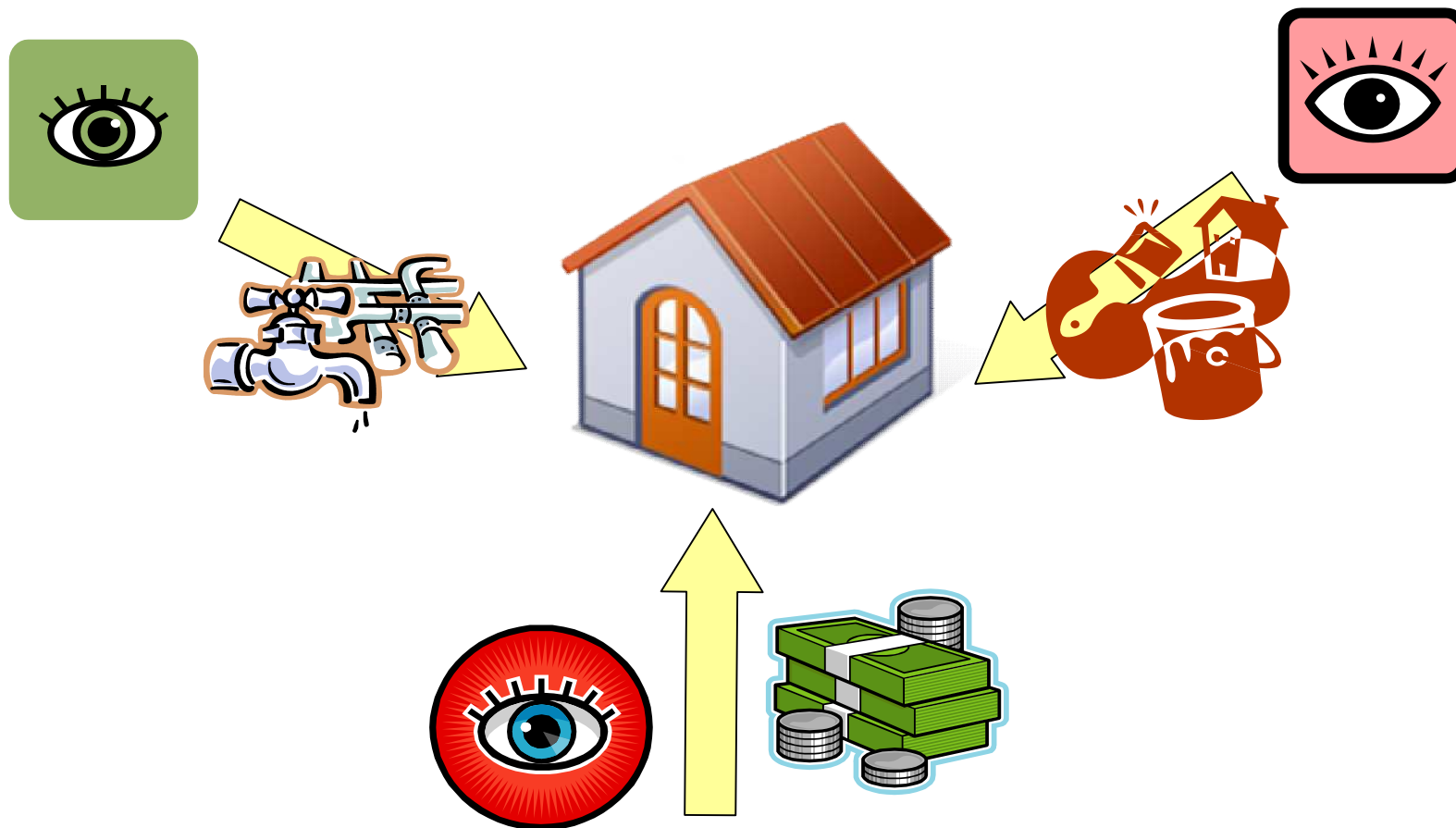


# 「このとり」における安全設計：階層化FDIR



出典：計測自動制御学会産業論文誌

### 3. アーキテクトのCapability : 多視点



検非違使(けびいし)に問われたる木樵(きこ)りの物語

さようございます。あの死骸(しがい)を見つけたのは、わたしに違いございません。

.....

検非違使に問われたる旅法師(たびほうし)の物語

検非違使に問われたる放免(ほうめん)の物語

検非違使に問われたる媪(おうな)の物語

多襄丸(たじょうまる)の白状

清水寺に来れる女の懺悔

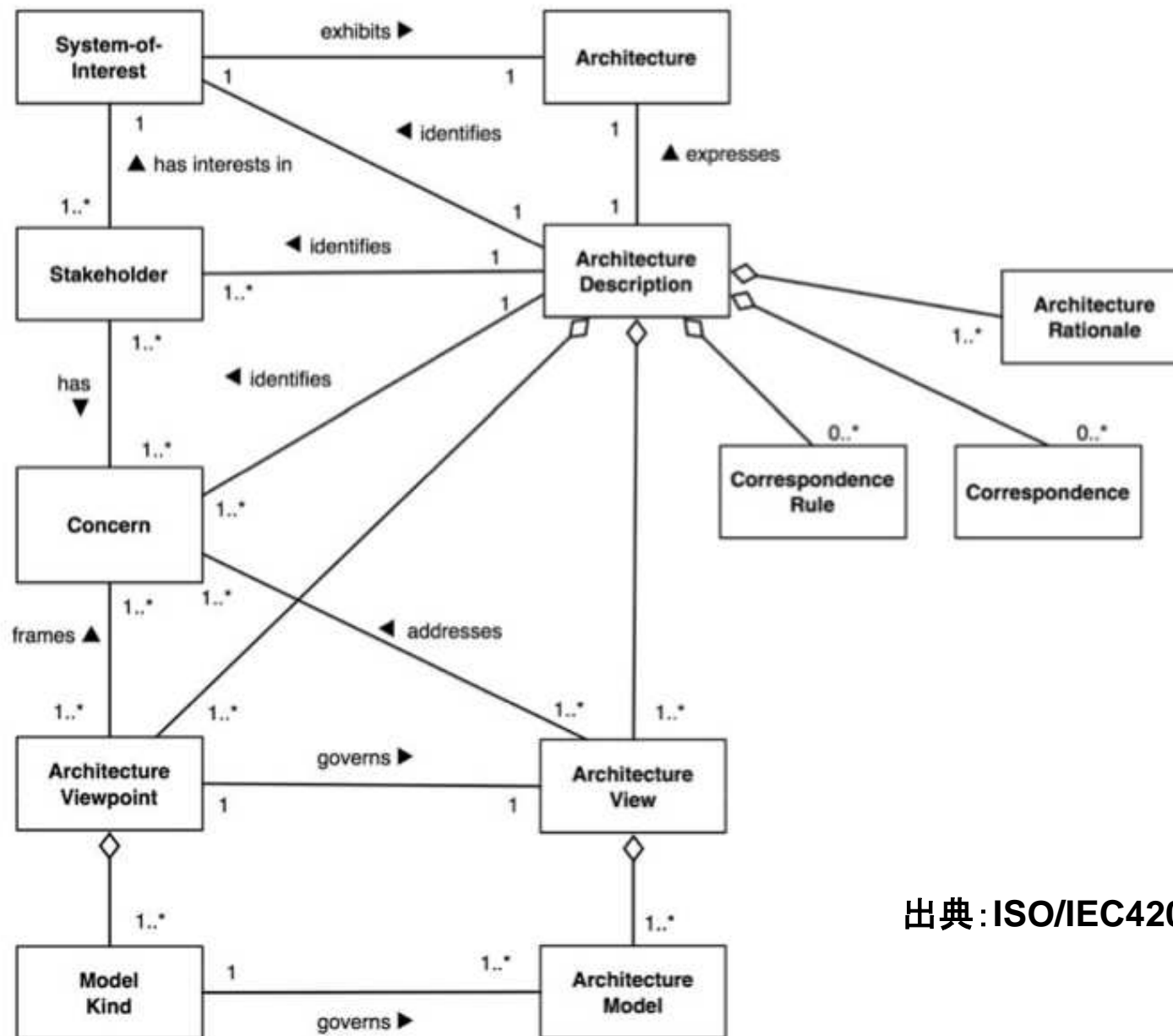
巫女(みこ)の口を借りたる死霊の物語



『藪の中』(芥川龍之介)

## アーキテクチャ表現に関する標準

- **ISO/IEC/IEEE 42010 Systems and Software Engineering: Architecture description**
  - 視点: **Viewpoint**
  - **Viewpoint**から見えるアーキテクチャ: **View**
  - **Viewpoint**に関する一般的な規定
  - 特定の**Viewpoint**の規定はなし



出典:ISO/IEC42010:2011

## 既存の視点

- IEEE1220: Operational, Functional, Physical
- DoDAF: Operational, System, Technology
- Zachman: Scope, Business, System, Technology, Component
- Federal Enterprise Architecture: Business, Data, Application, Technology

Etc.

- Zachman Architecture Framework

*What      How      Where      Who      When      Why*

5つの視点

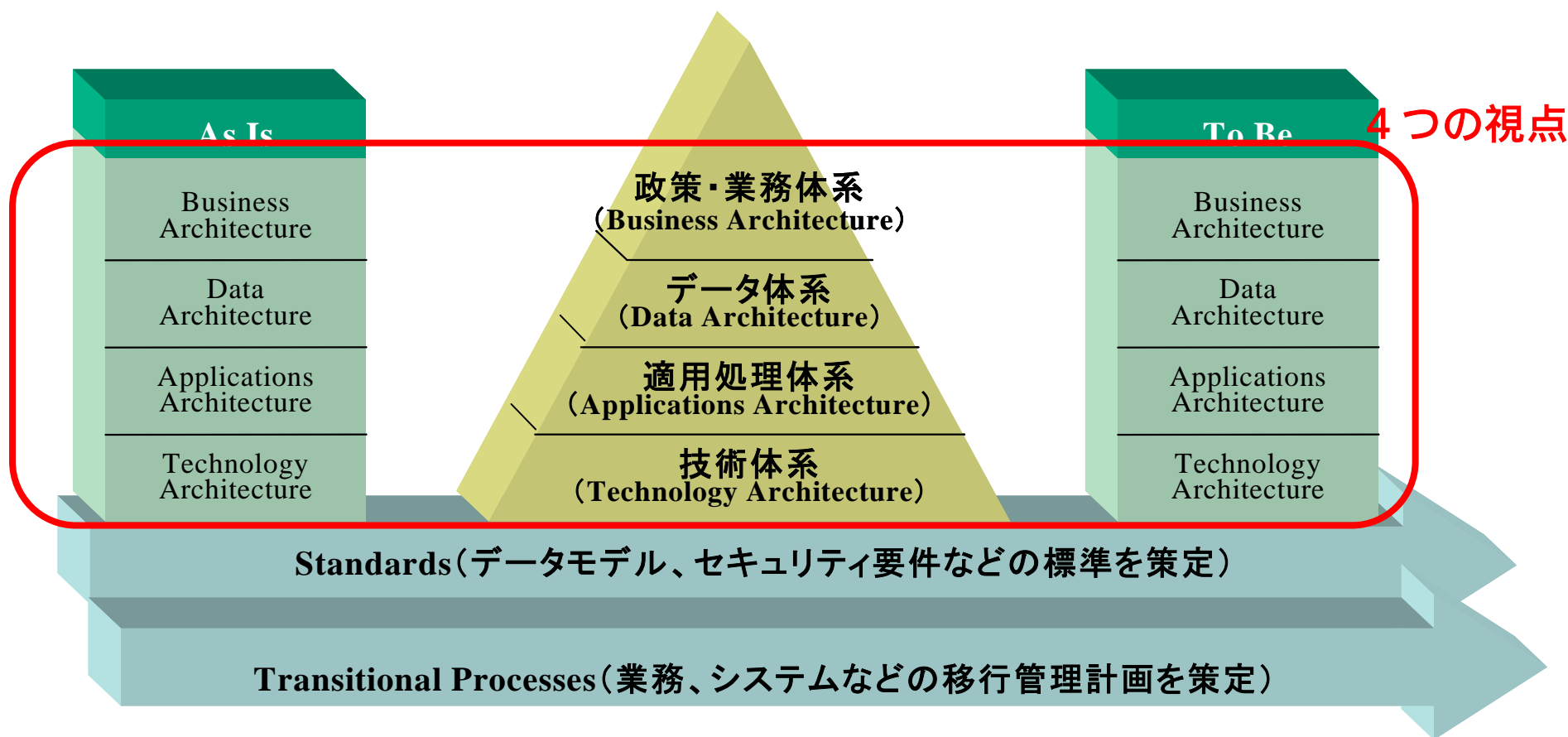
|                  | DATA | FUNCTION | NETWORK | PEOPLE | TIME | MOTIVATION |
|------------------|------|----------|---------|--------|------|------------|
| SCOPE            |      |          |         |        |      |            |
| ENTERPRISE MODEL |      |          |         |        |      |            |
| SYSTEM MODEL     |      |          |         |        |      |            |
| TECHNOLOGY MODEL |      |          |         |        |      |            |
| COMPONENTS       |      |          |         |        |      |            |

# 経産省 Enterprise Architecture Framework

現状 (AsIs) モデル

次期モデル

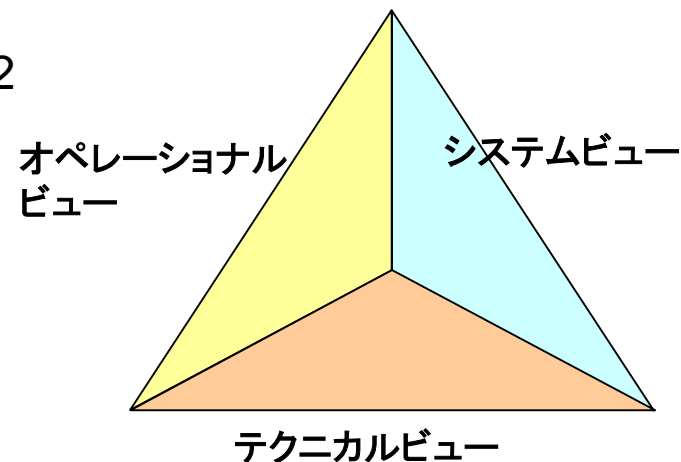
理想 (ToBe) モデル





## DODAF(DoD Architecture Framework)

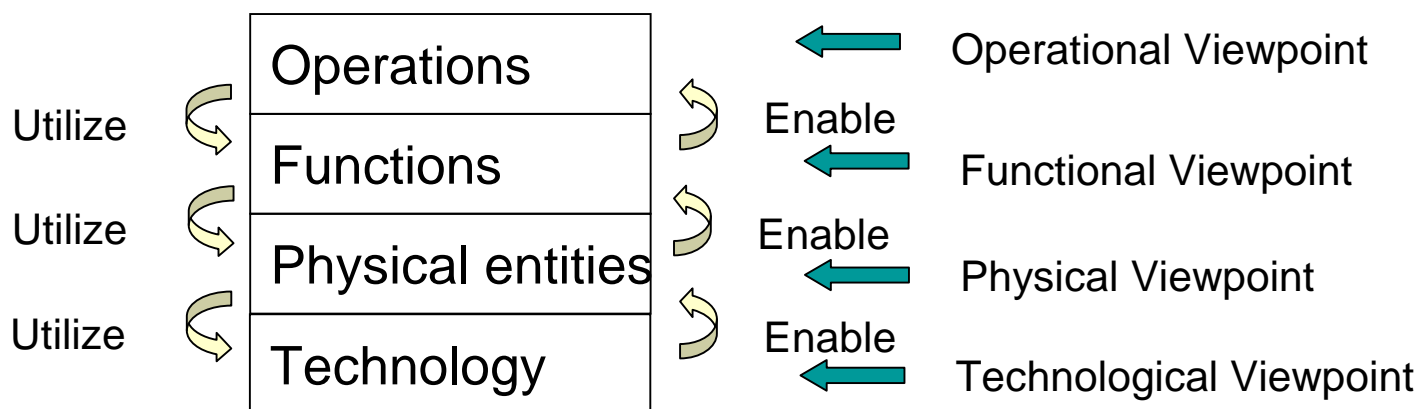
- ・ アーキテクチャを以下の3つの視点+1つのまとめ表現で定義
  - オペレーショナルビュー(OV):OV-1~7
    - ・ 誰が何をすべきかを識別
  - システムビュー(SV):SV-1~11
    - ・ システムと特性の、運用ニーズとの関係付け
  - テクニカルビュー(TV):TV-1~2
    - ・ 標準や規約の指示
  - オールビュー(AV):AV-1~2
    - ・ 全体を示す



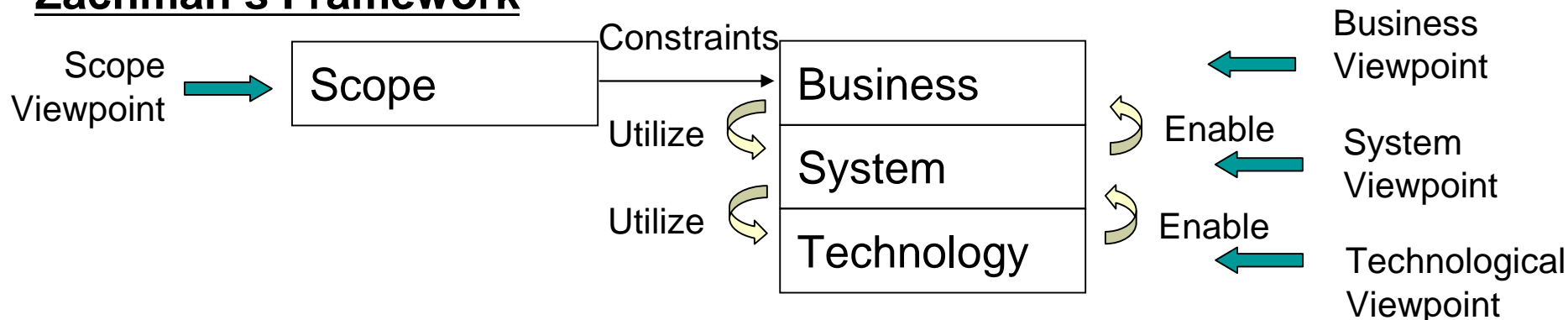
# 多視点の構成

- Viewpointの分析

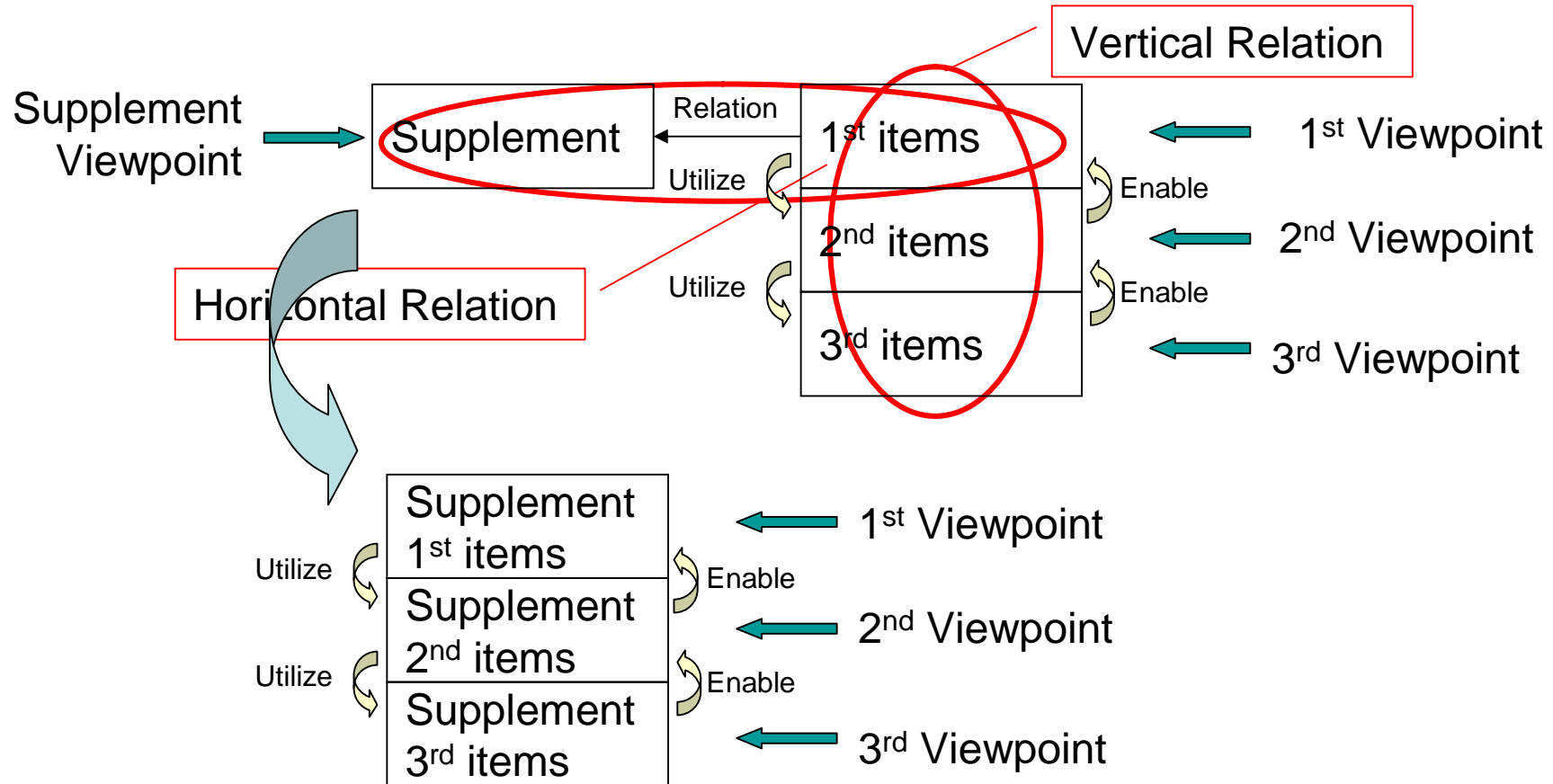
## IEEE1220, DoDAF etc



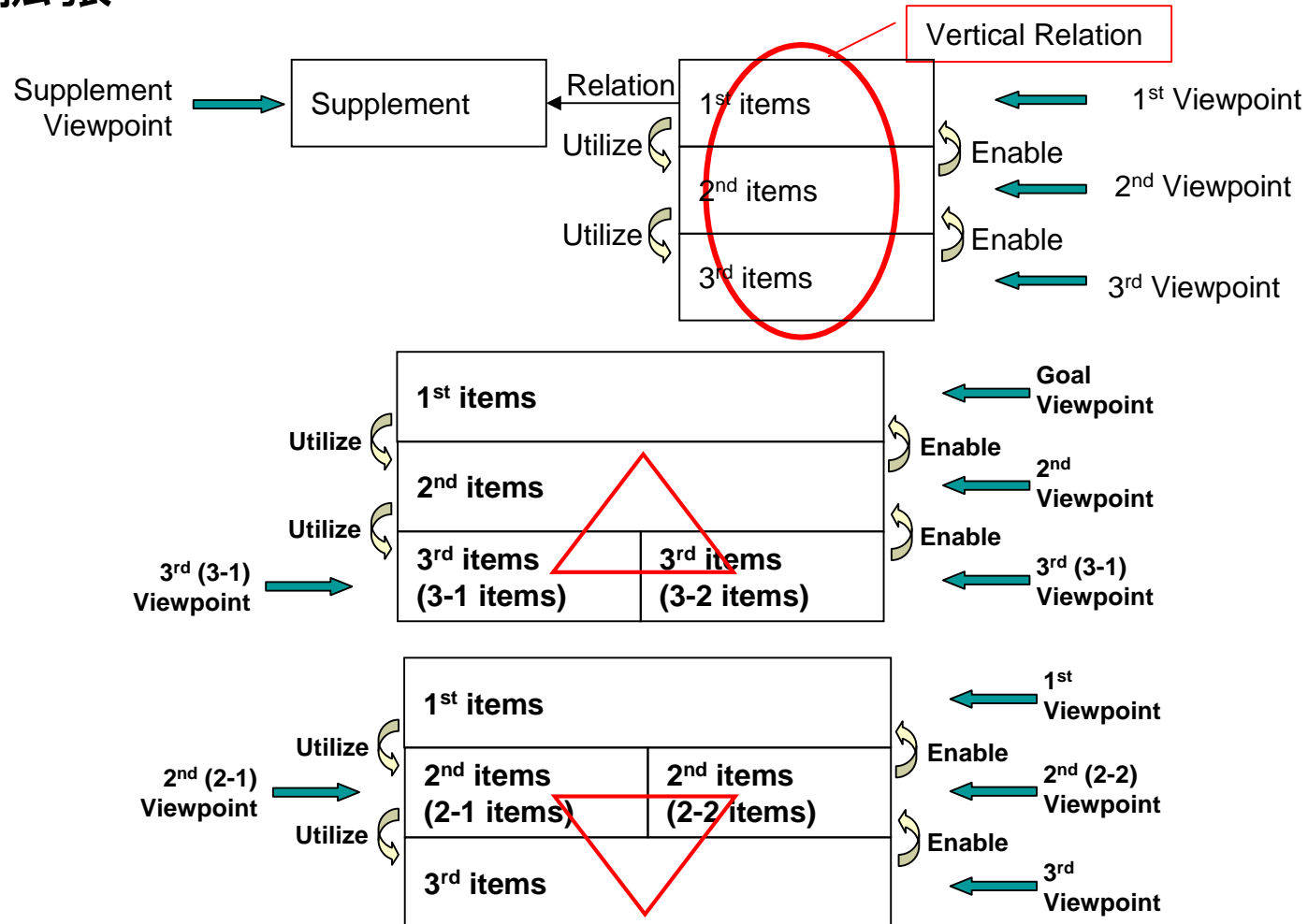
## Zachman's Framework



- 基本的な構成



• 拡張



- Viewpointのアーキテクチャが重要！
  - アーキテクチャを見る視点を構成する複数のViewpoint
  - Viewpoint間の関係
  - 一つのアイデアとして、EnablerとConstraintsがある。
  - Enablerはこれがないと実現できないというもの。
  - Enablerは、Constraintsにもなりえる。(Technologyは、Enablerであるが、それしか使えないというConstraintsでもある)
  - 法律はConstraintsであって、Enablerではない。
- IEEE1471の定義では、Viewpointが多くなりすぎてしまう。このため、Viewpointの階層構造などを考えに取り入れるのがいいと考えている。

# 保険金不払い・支払い漏れ問題 アーキテクチャ設計

## 目的

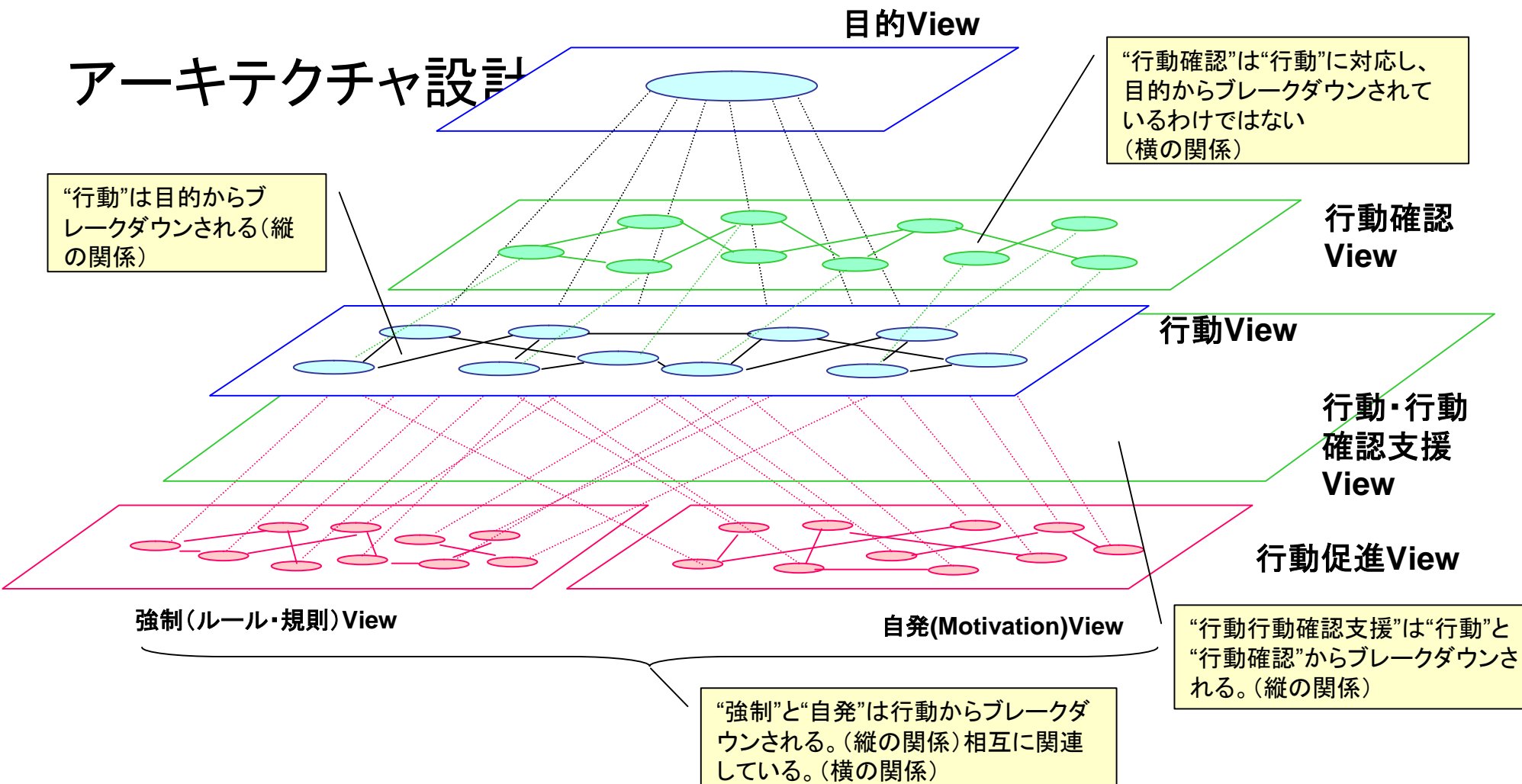
### (主目的)

- 顧客が保険金を正しく受け取る

### (副目的)

- 査定不服時の請求
- 経営陣による内部管理
- 苦情のくみ上げ
- 内部監査の実施

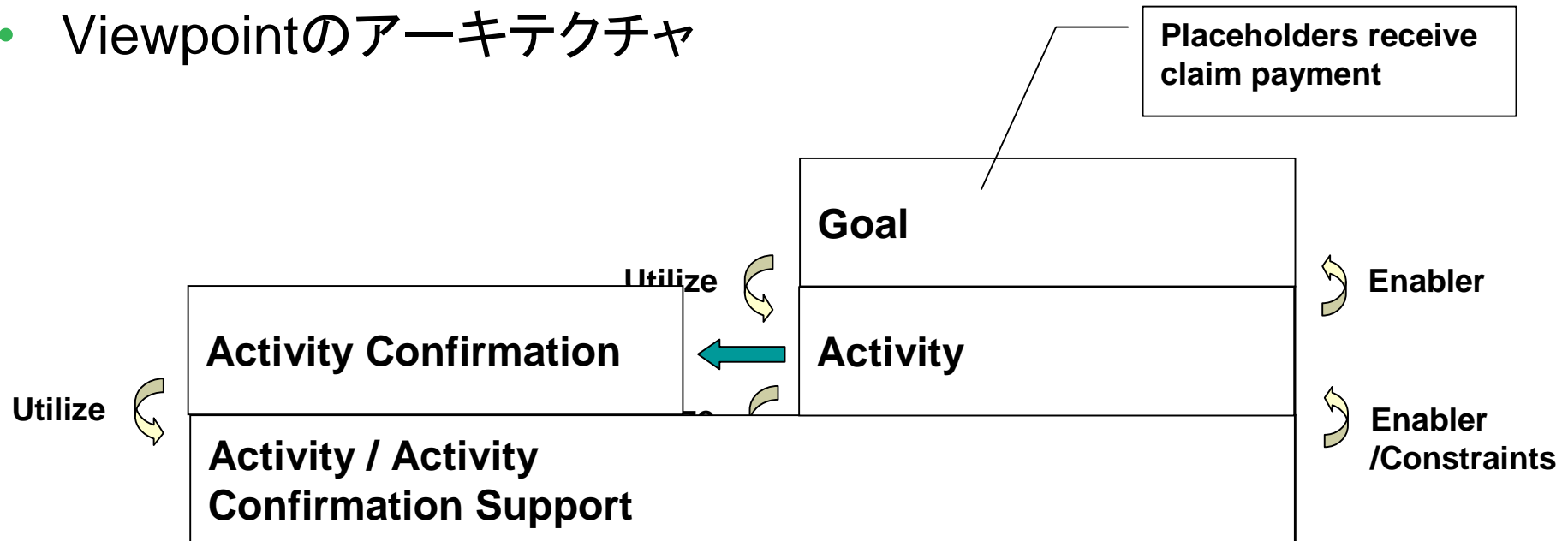
# アーキテクチャ設計





# アーキテクチャ設計 (Viewpoint)

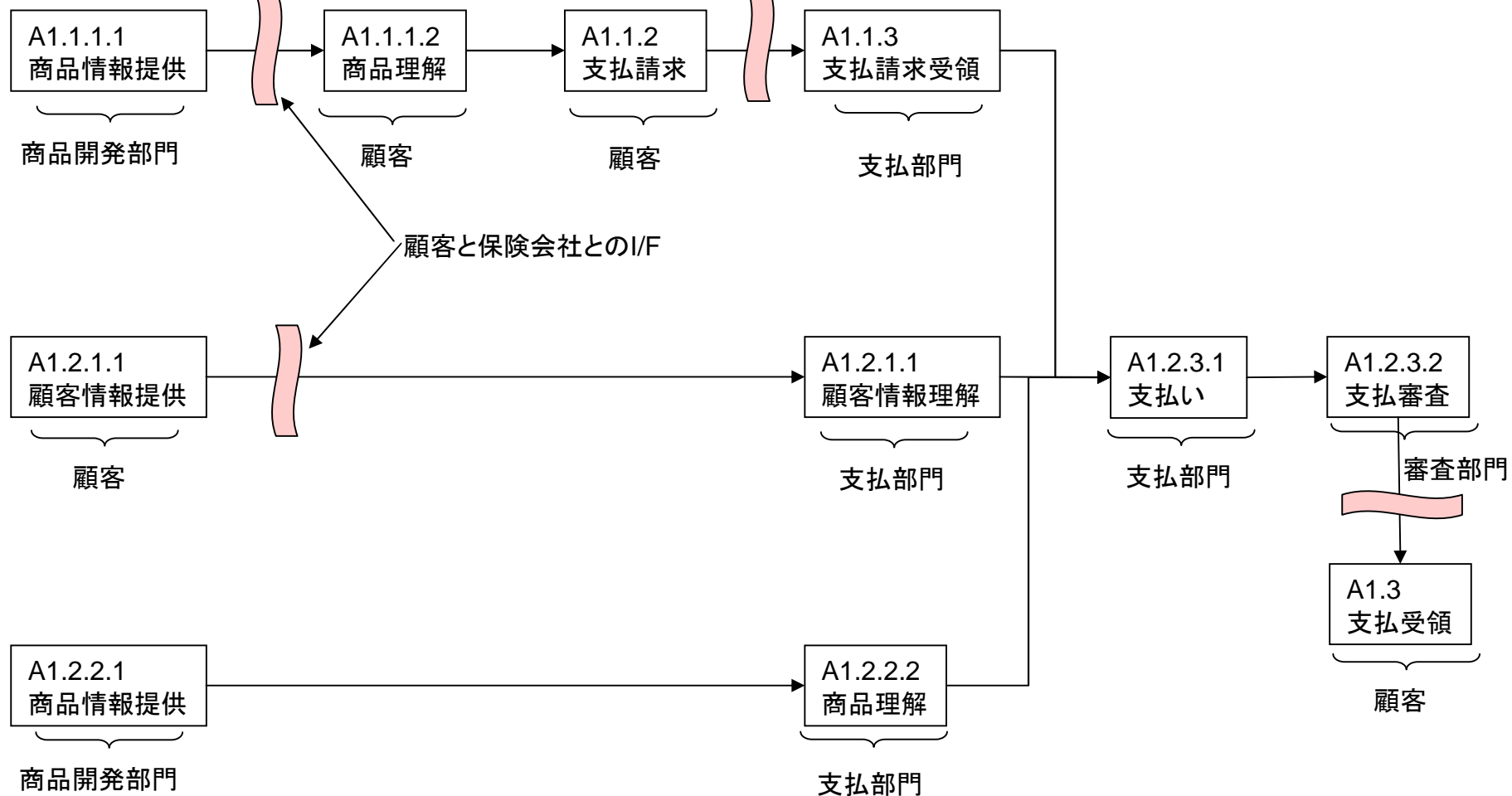
- Viewpointのアーキテクチャ



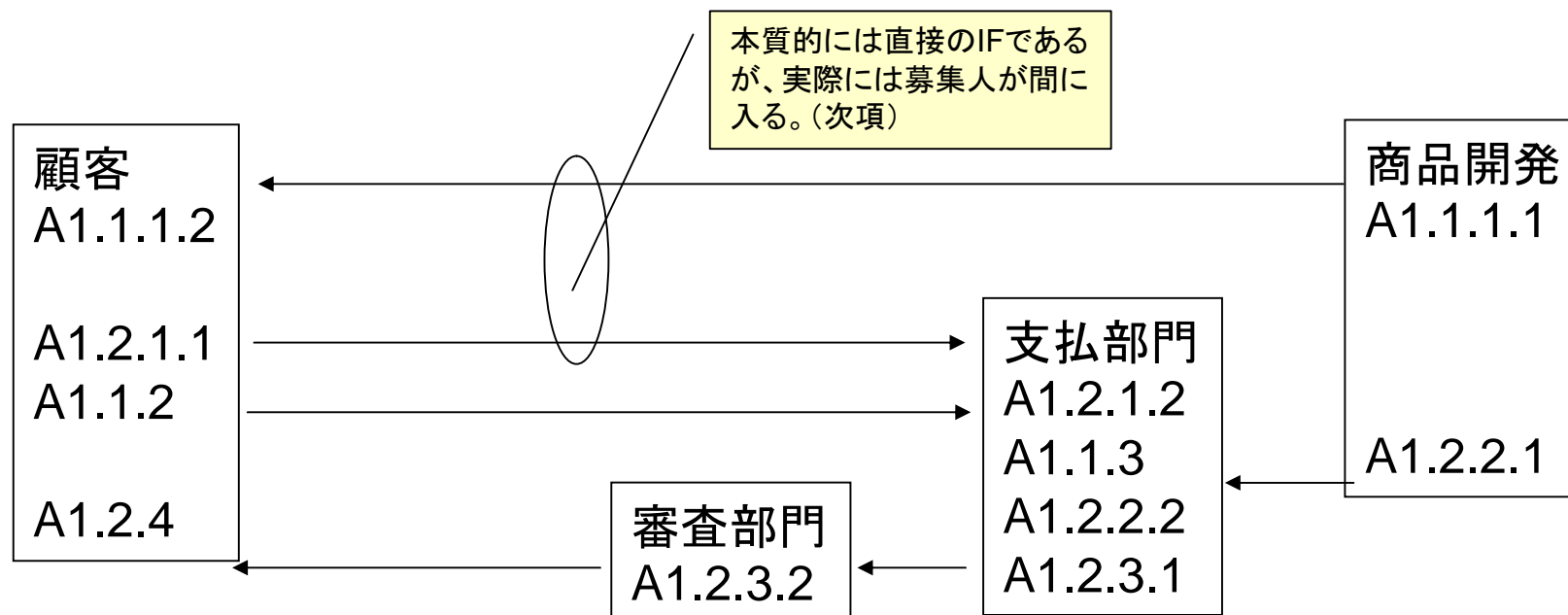
# 行動設計(行動の細分化)



# 行動設計 (行動のフロー化及び配分)

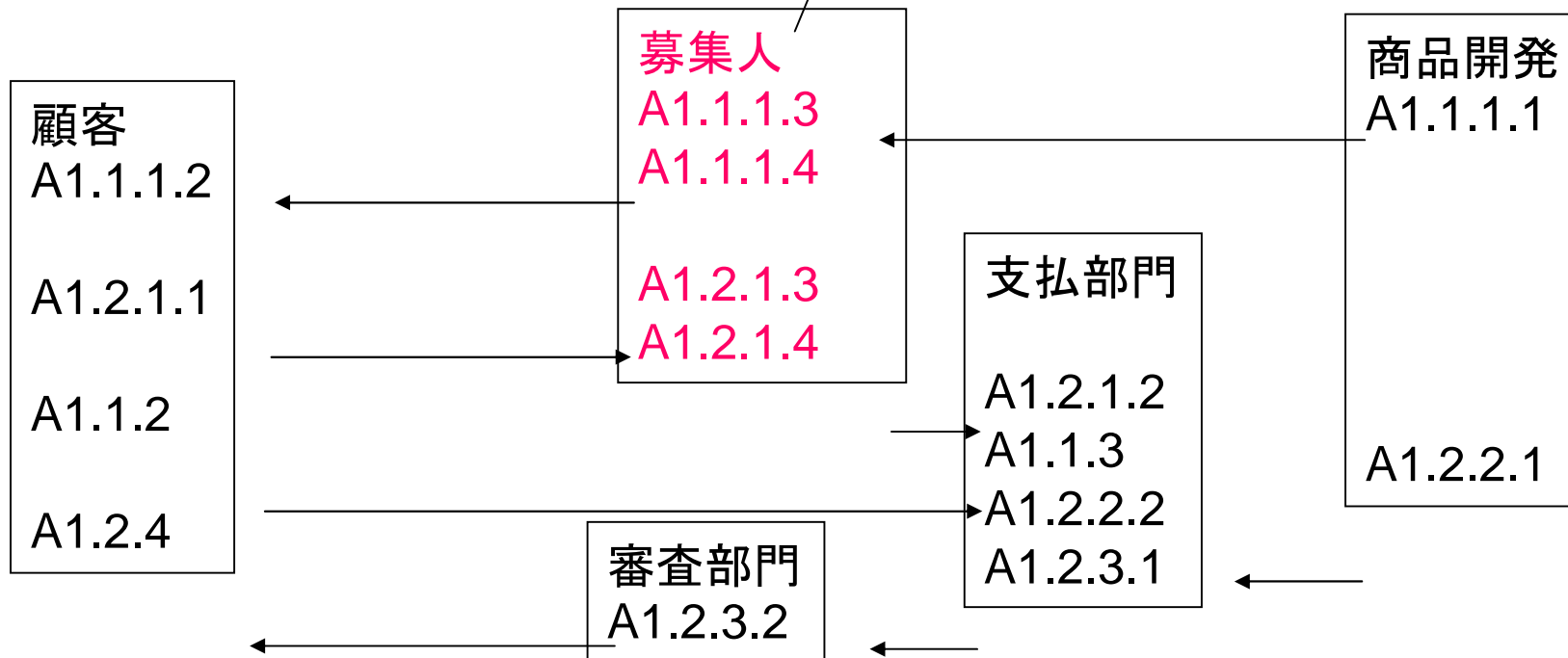


## 行動設計 (配分結果)



# 行動設計 (配分結果: 現実)

行動設計上必須ではないが、現状は顧客とのやり取りとして存在する。このため、行動を追加する。

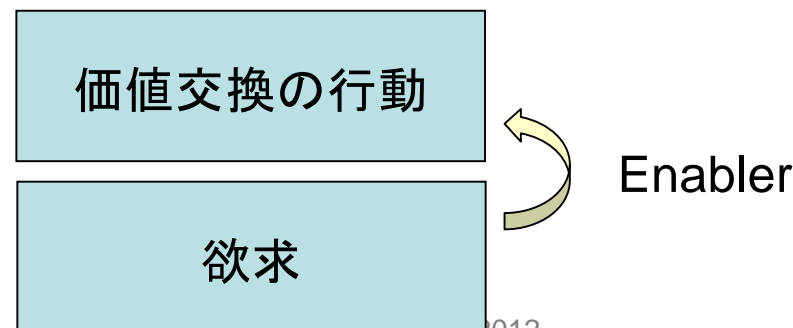


# Enabler Frameworkのビジネスモデルへの応用 — 欲求連鎖分析を用いたビジネスモデルのデザイナー —

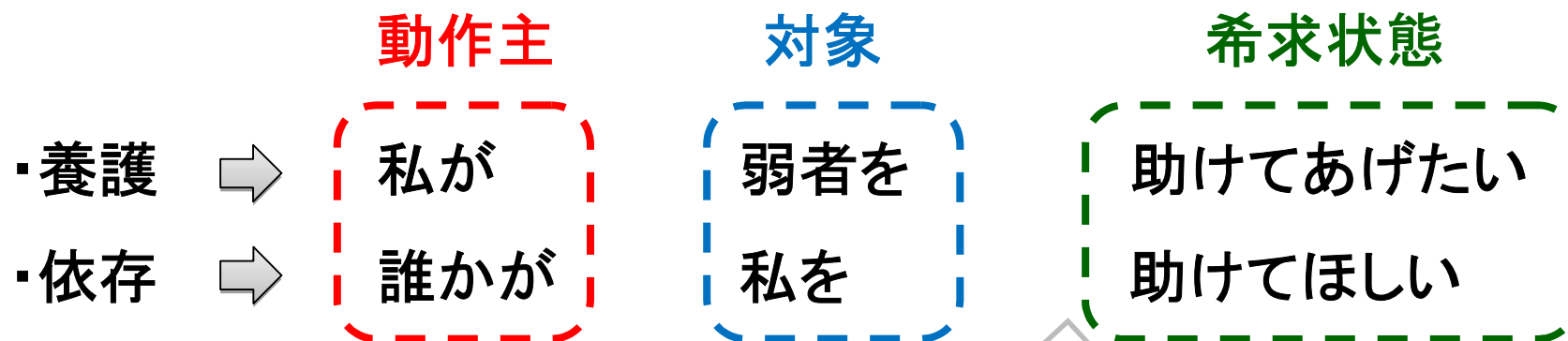


## 欲求連鎖分析の考え方

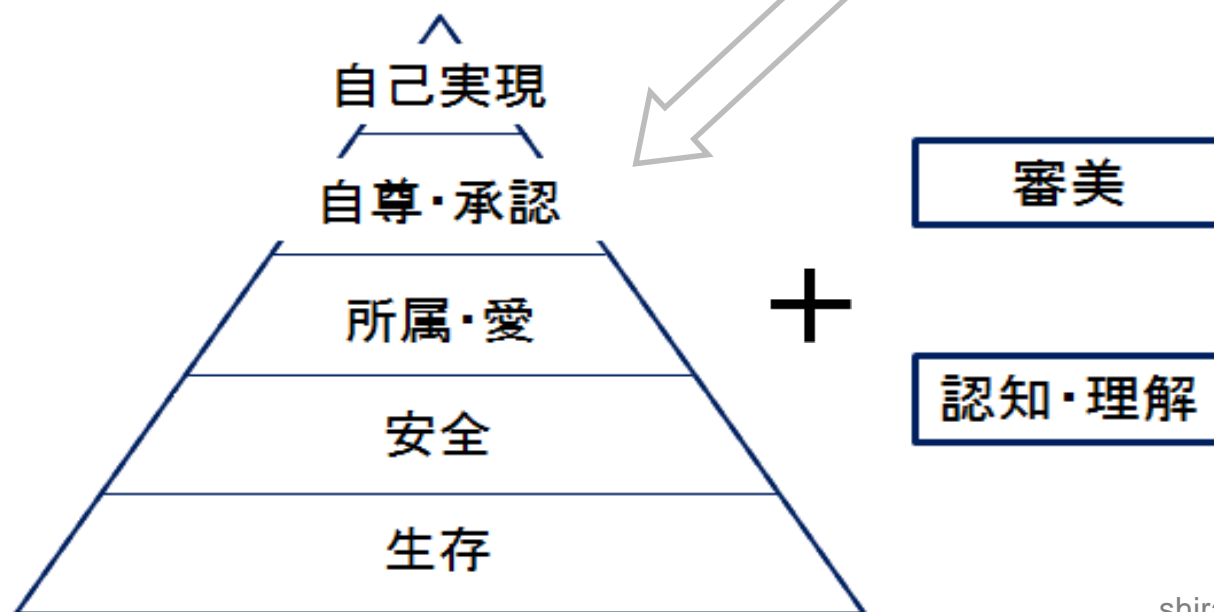
1. 目に見えるお金や物品、サービスなどの「価値」のやり取りに注目して分析・設計(通常のビジネス設計)
  - ステークホルダが“どのように(how)”関係しているかを表す
  - “なぜ(why)”ビジネスの構造がそのようになっているのかを明示しない
2. 次に、その価値のやり取りの裏にある「欲求」に注目して分析・設計
  - “なぜ(why)”システムの構造がそのようになっているのかを分析するための手法
  - 多様な欲求を持つステークホルダを持つ複雑なビジネスモデルを分析・設計



# ①欲求の構造:3要素から構成



# ②欲求の質:マズローの7つの基本的欲求が希求状態を網羅



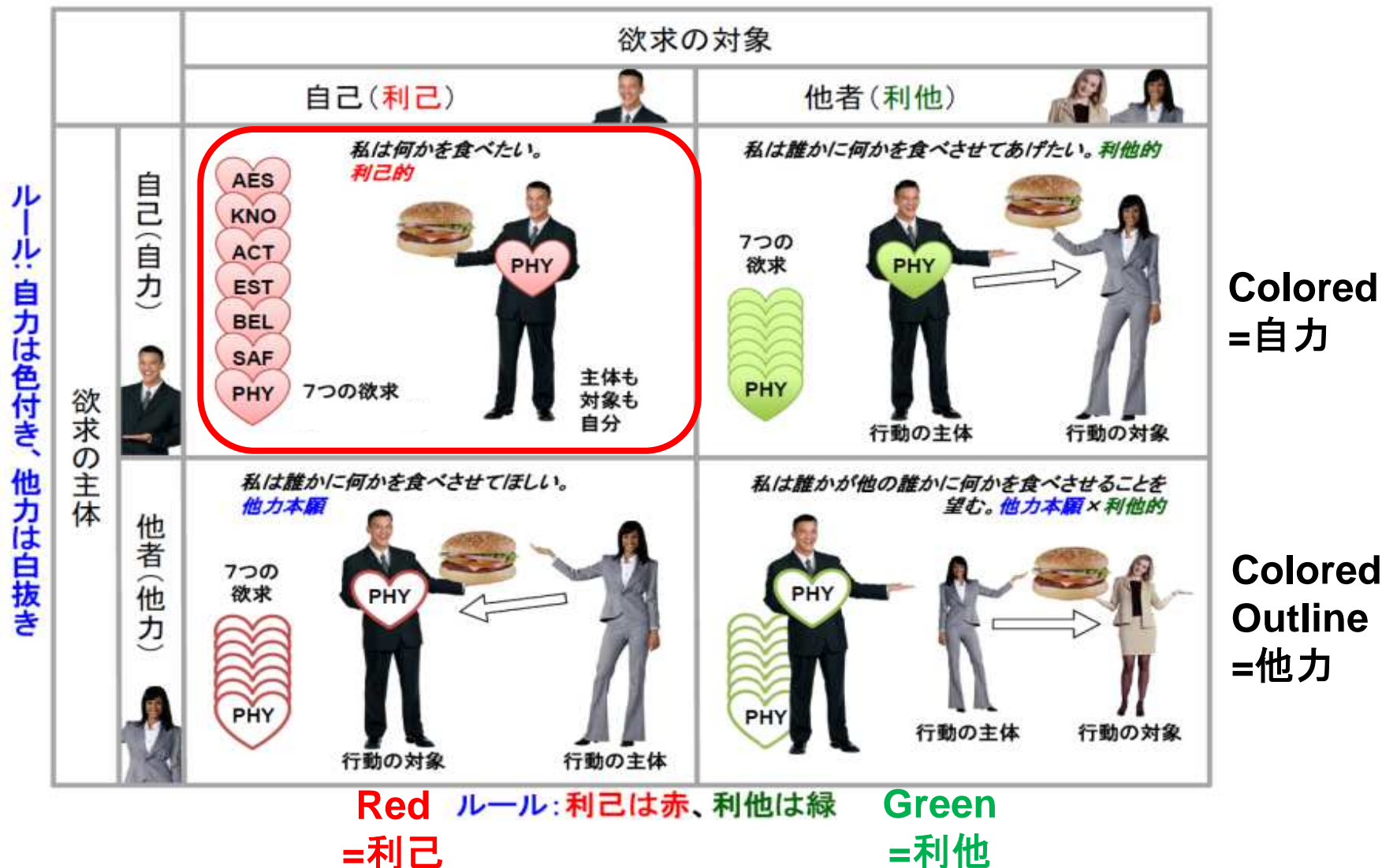


①欲求の構造:3要素から構成



2 x 2 の欲求マトリクス=欲求のアーキテクチャ

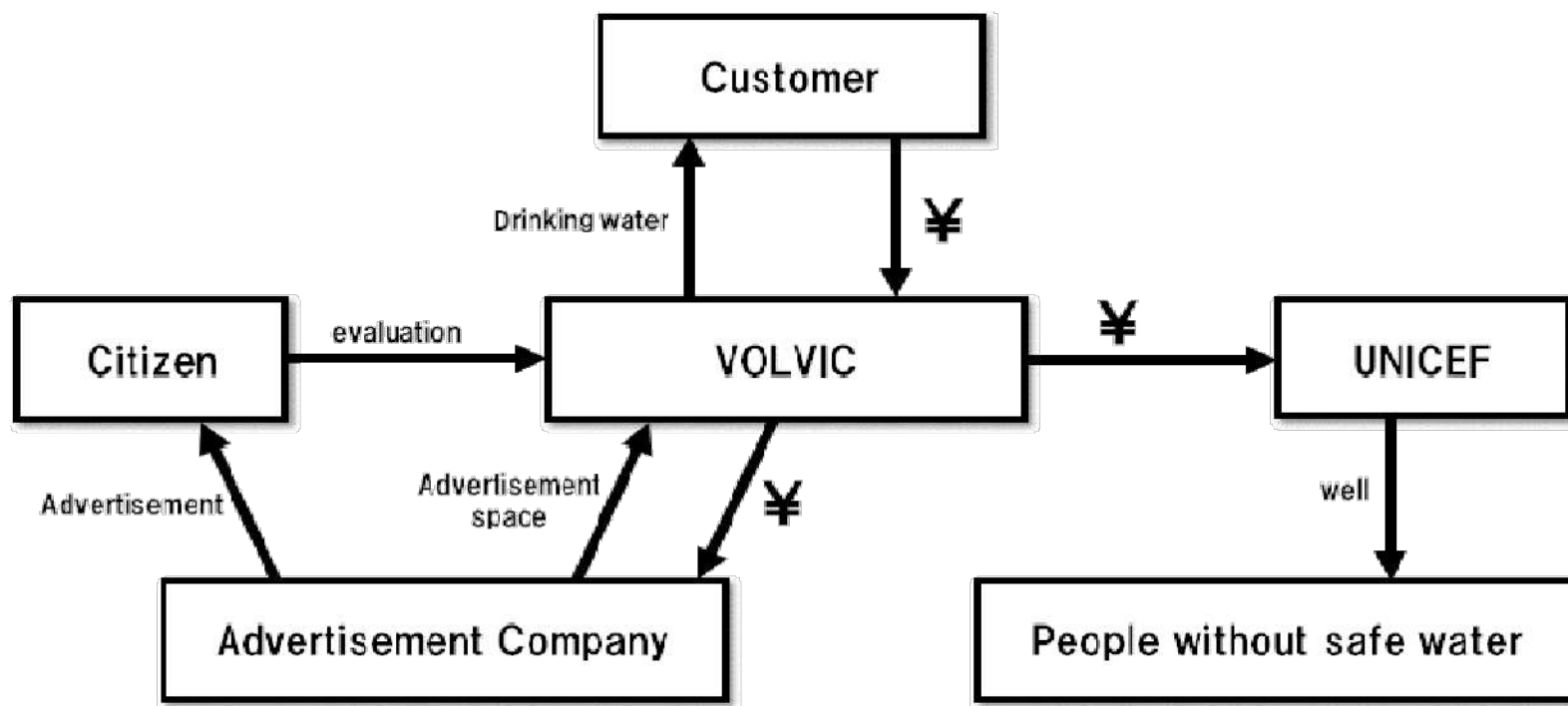
## 2 x 2 の欲求マトリクス=欲求のアーキテクチャ

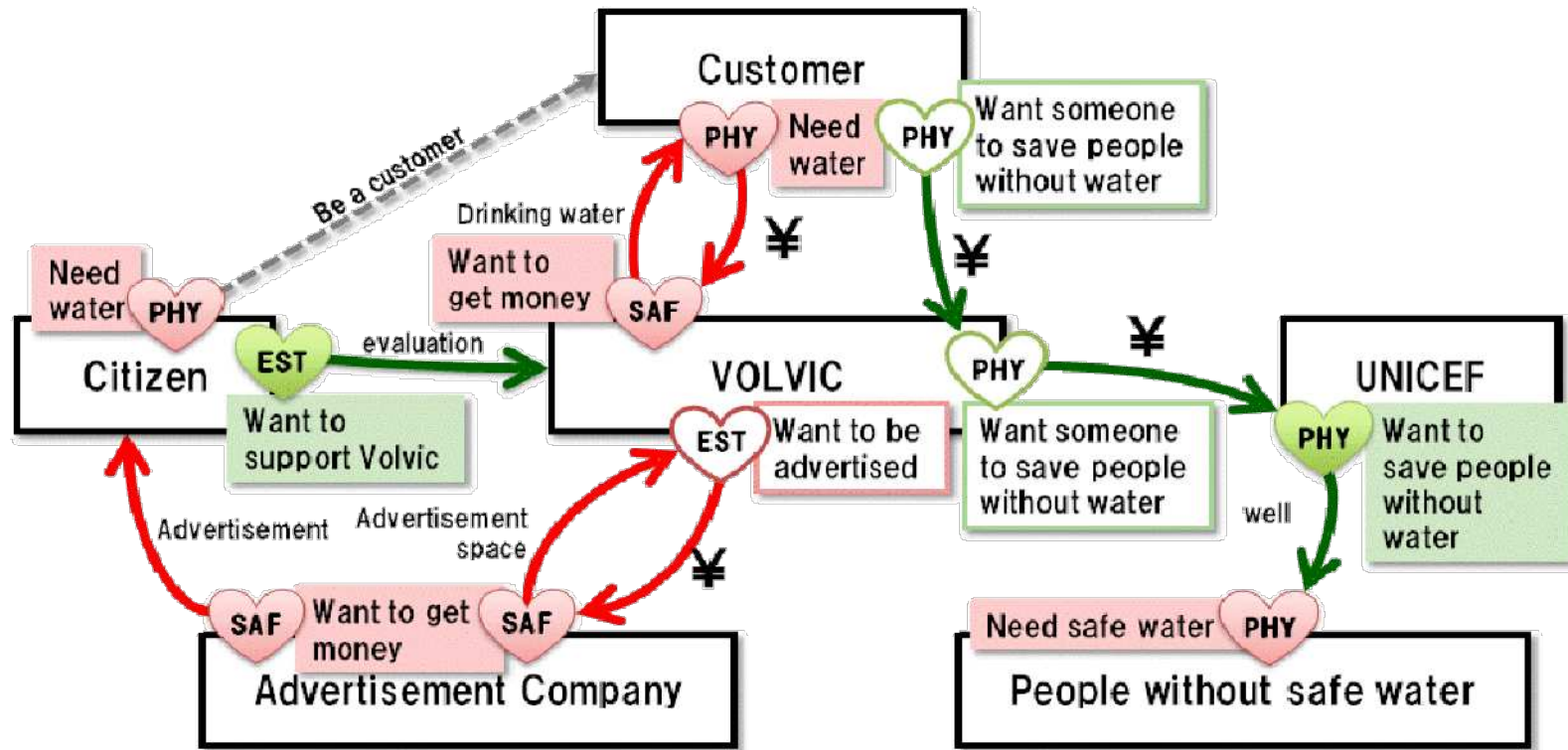


**Colored =自力**

**Colored Outline =他力**

例えば・・・Volvicの1L for 10L



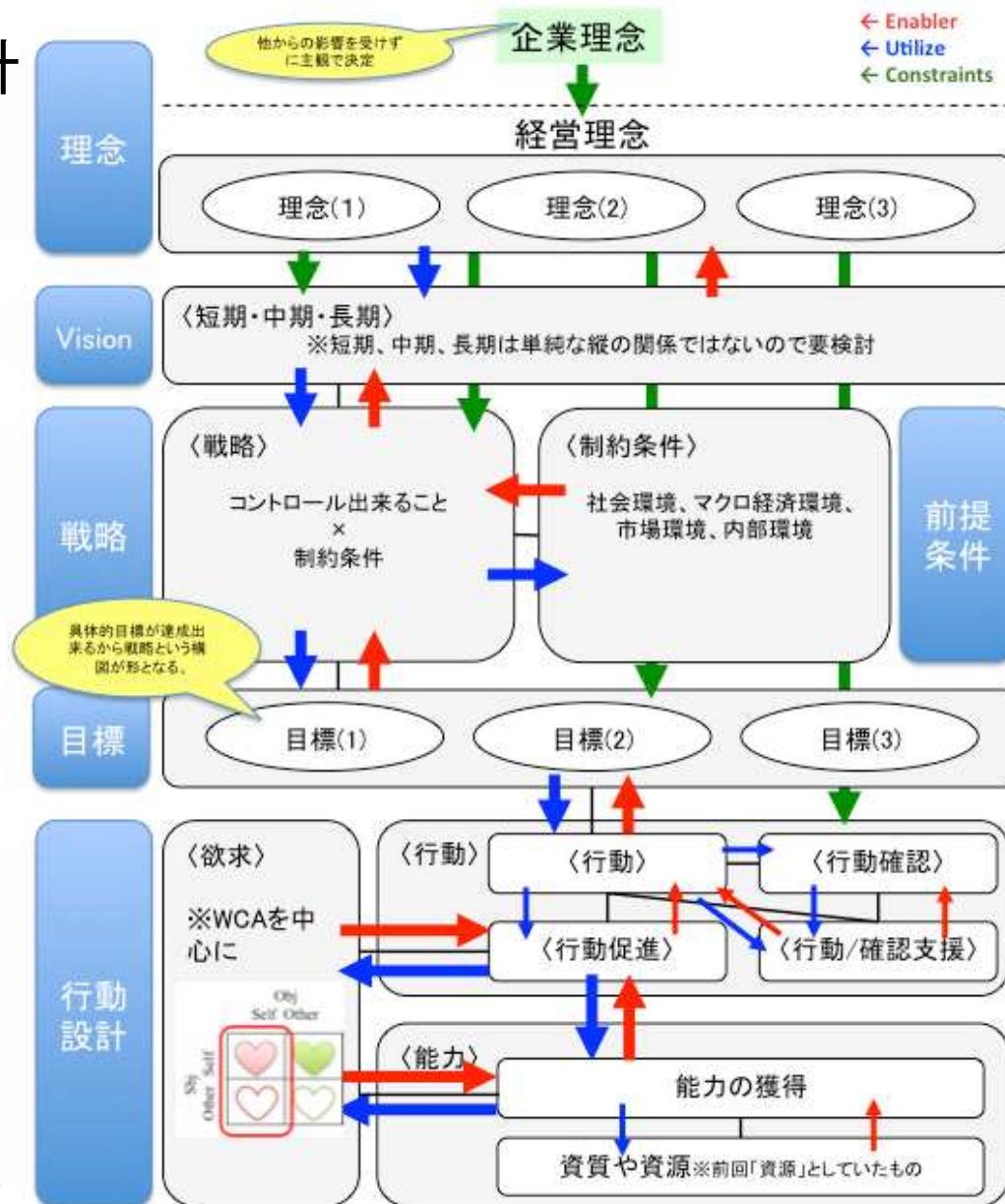


## 4. いろいろなアーキテクチャ ~アーキテクティングゼミより~



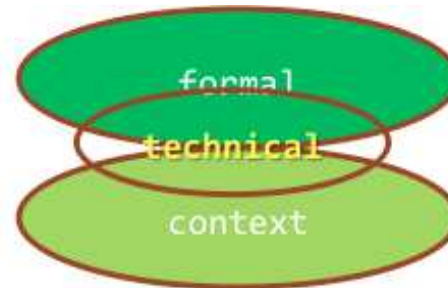
# 経営計画策定のアーキテクチャ設計

## SDM博士課程 富田氏



# 俳句のアーキテクチャ:SDM博士課程 岡氏

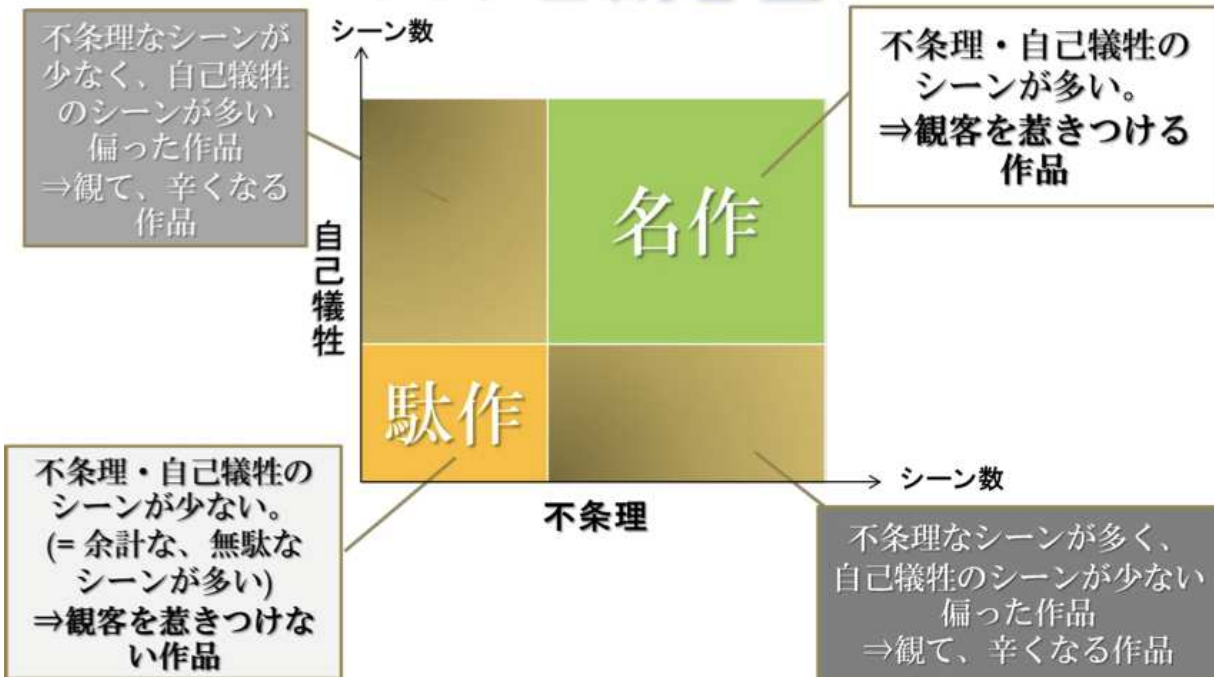
- 形式的な構造(formal)
- 描写的な構造(technical)
- 状況の構造(context)



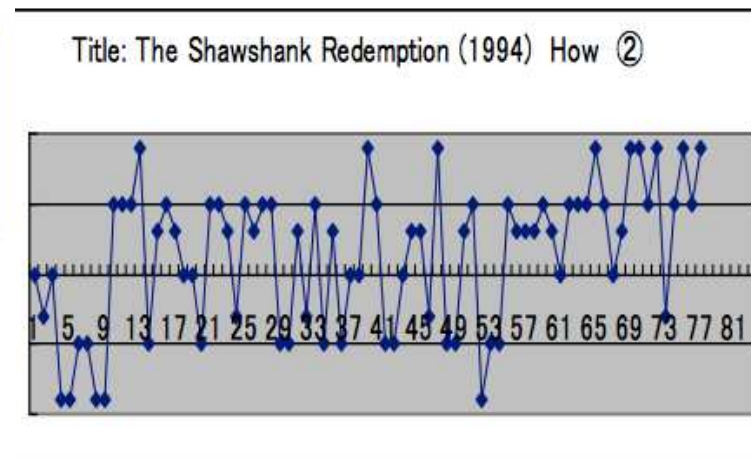
|      |        |     |
|------|--------|-----|
| 夏草や  | 兵ものどもが | 夢の跡 |
| 夢の跡  | 兵ものどもが | 夏草や |
| 兵ものや | 夏草どもが  | 夢の跡 |
| 兵ものの | 夢の跡かな  | 夏の草 |

# いい映画のアーキテクチャ:SDM博士課程 醍醐氏

## AVE概念図



ジャンク by A



ジャンク by B

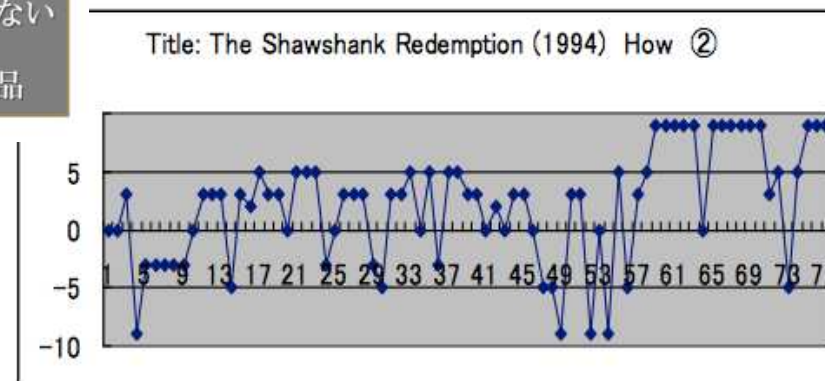
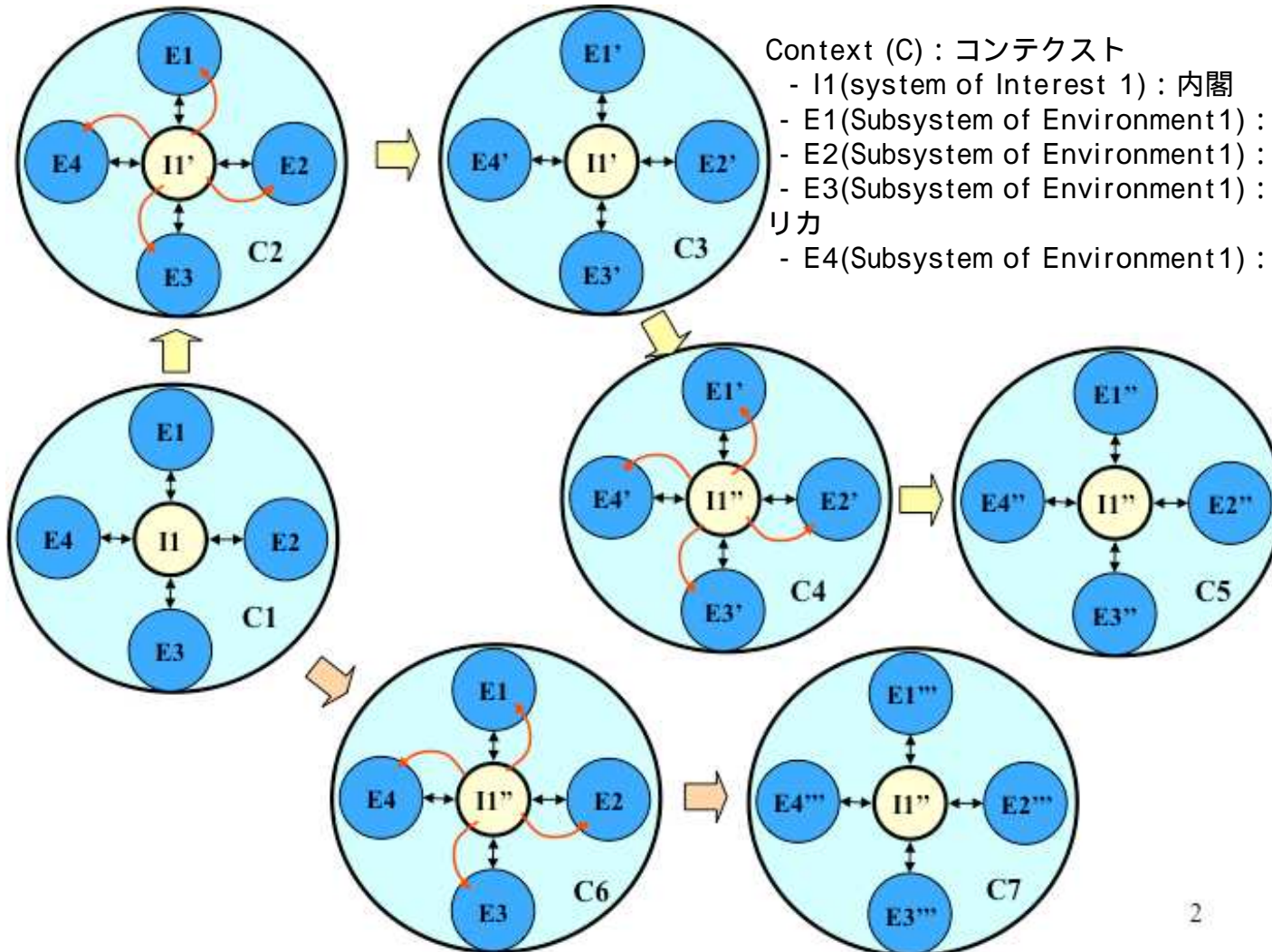


図1 映画「ショーシャンクの空に」に対する評価



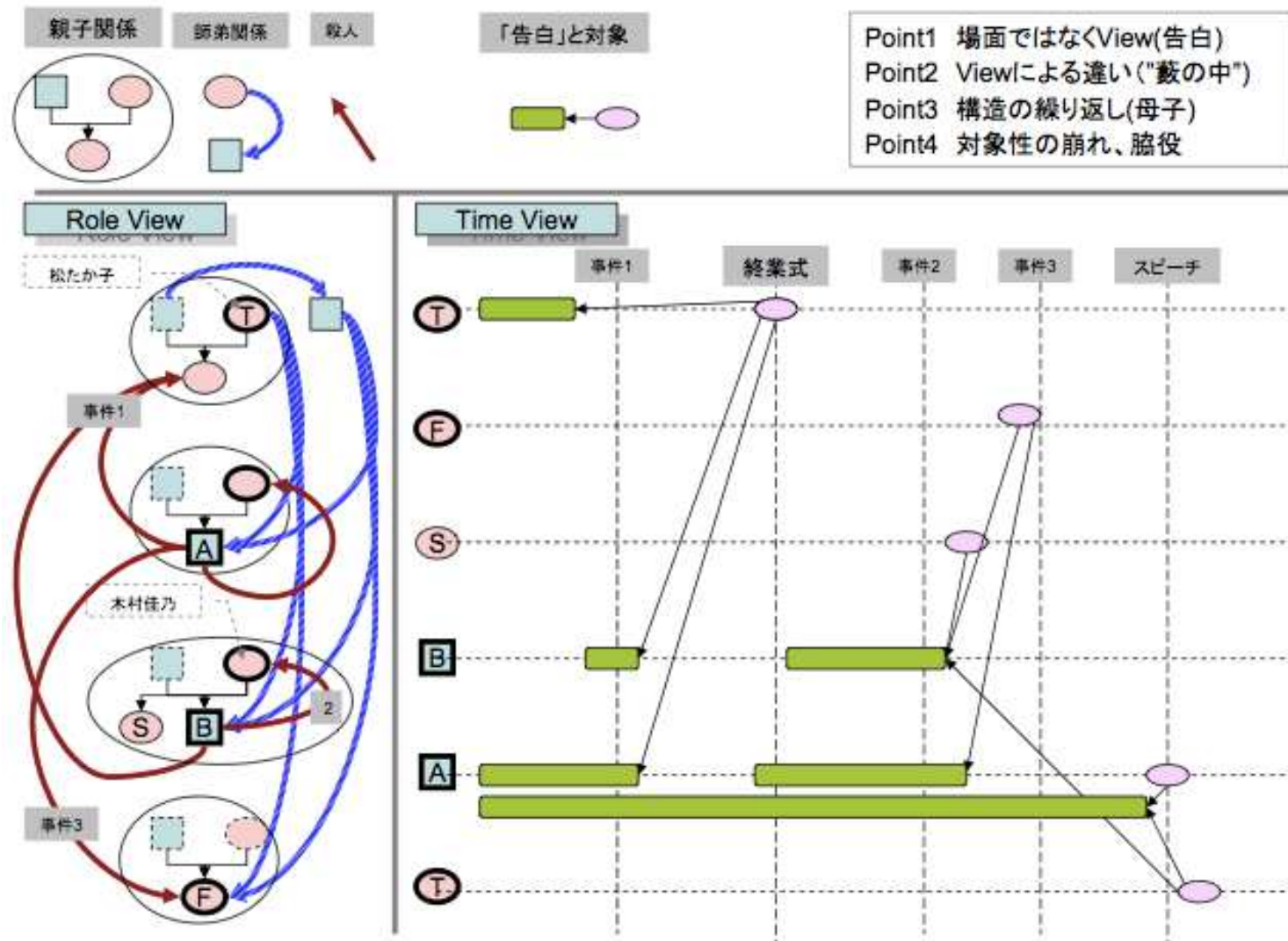
# 鳩山政権 普天間問題のアーキテクティング



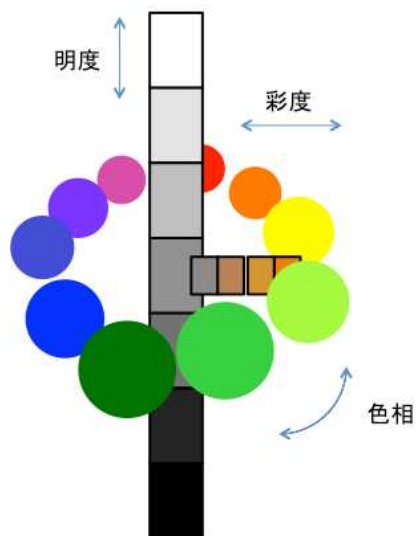
Context (C) : コンテキスト

- I1(system of Interest 1) : 内閣
- E1(Subsystem of Environment1) : 感情論で反対している沖縄県民の一部
- E2(Subsystem of Environment1) : 実は辺野古にしてほしい沖縄県民の一部
- E3(Subsystem of Environment1) : 北朝鮮、中国に近い基地を確保したいアメリカ
- E4(Subsystem of Environment1) : 日米安保を継続したい日本政府

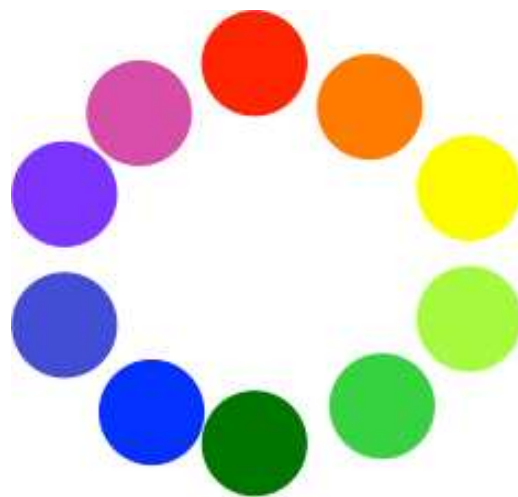
# 映画「告白」のアーキテクチャ: 本間博士 (SDM修了生)



# 色のアーキテクチャ:SDM研究員 向山氏



色の三属性



色相環



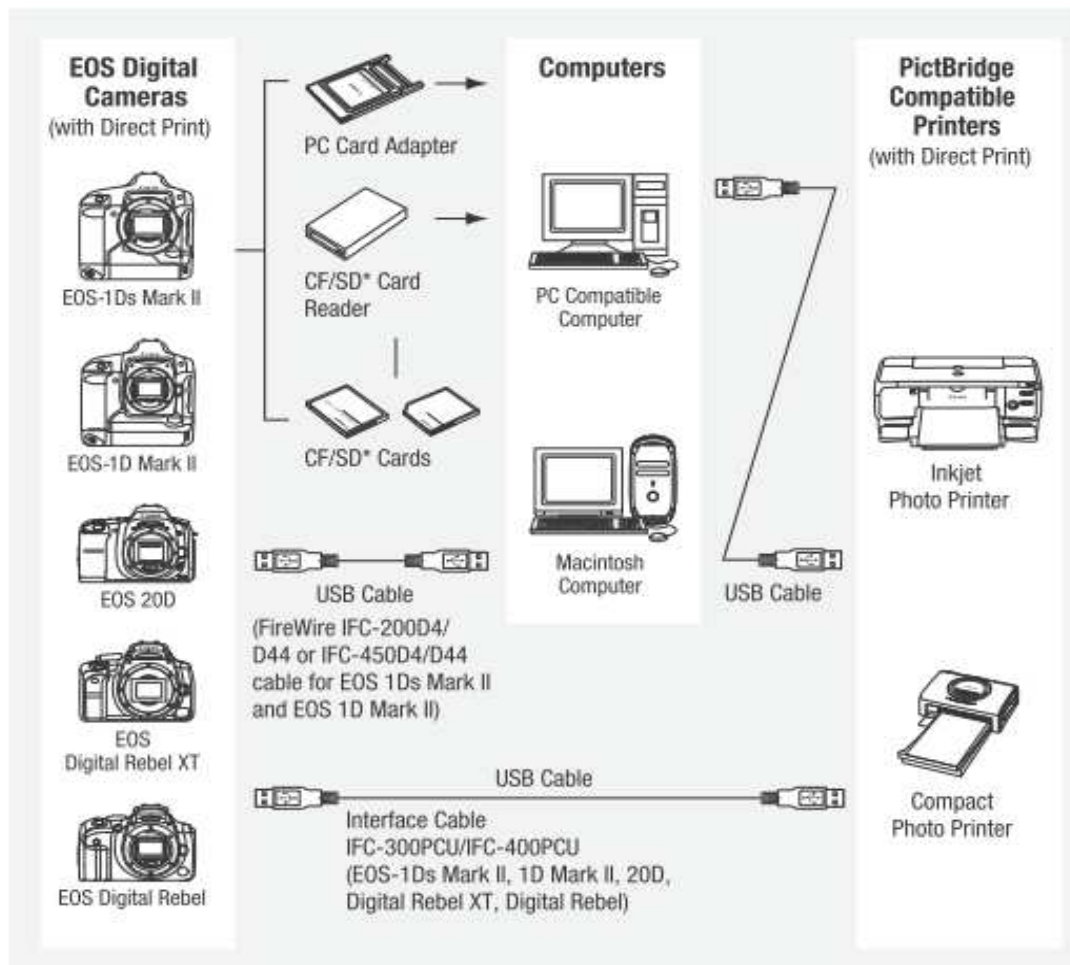
補色



## 5. 新たな世界へ



# カメラとプリンターの異なるライフサイクル: SoS



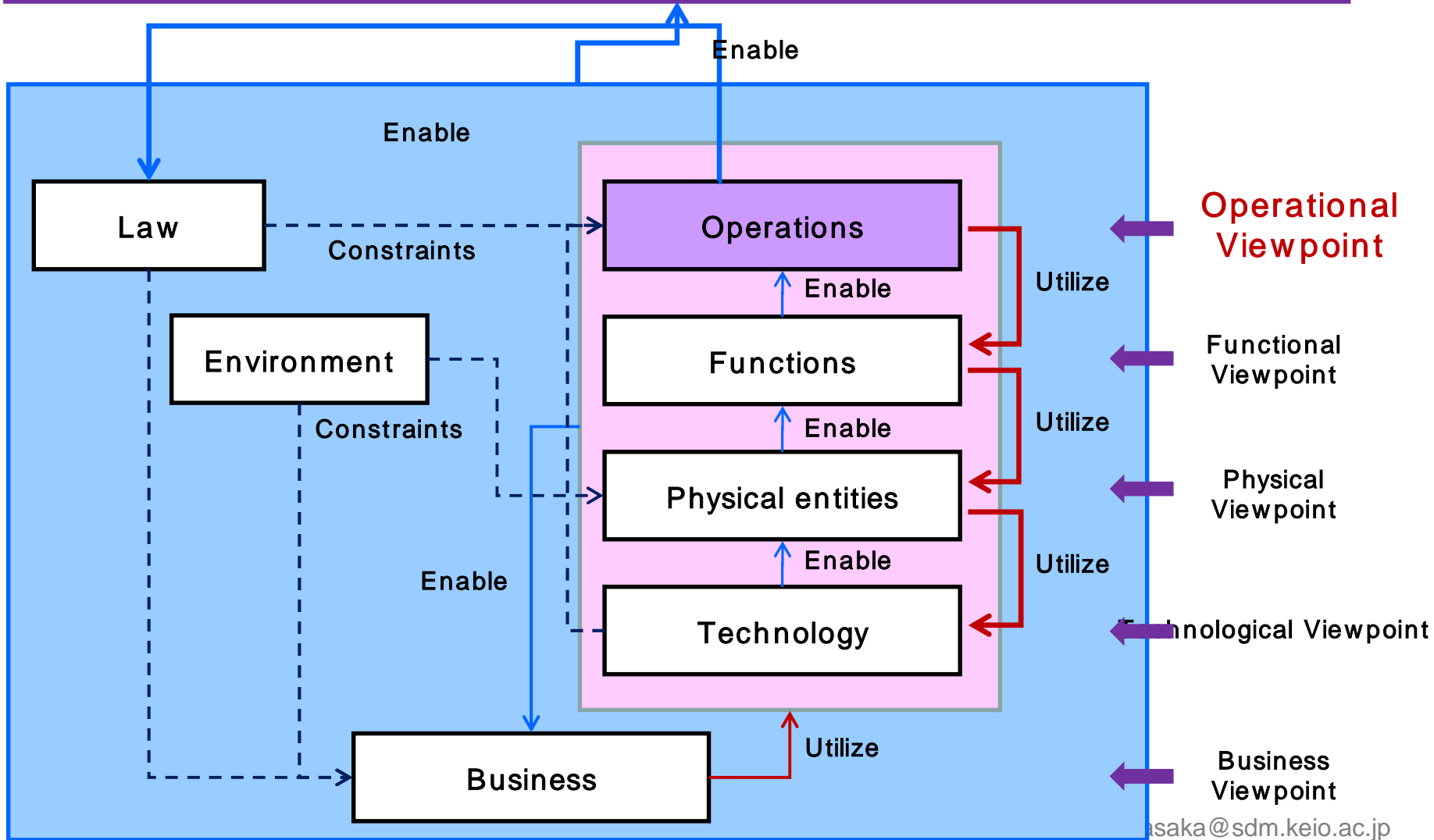
出展: INCOSE SE Handbook

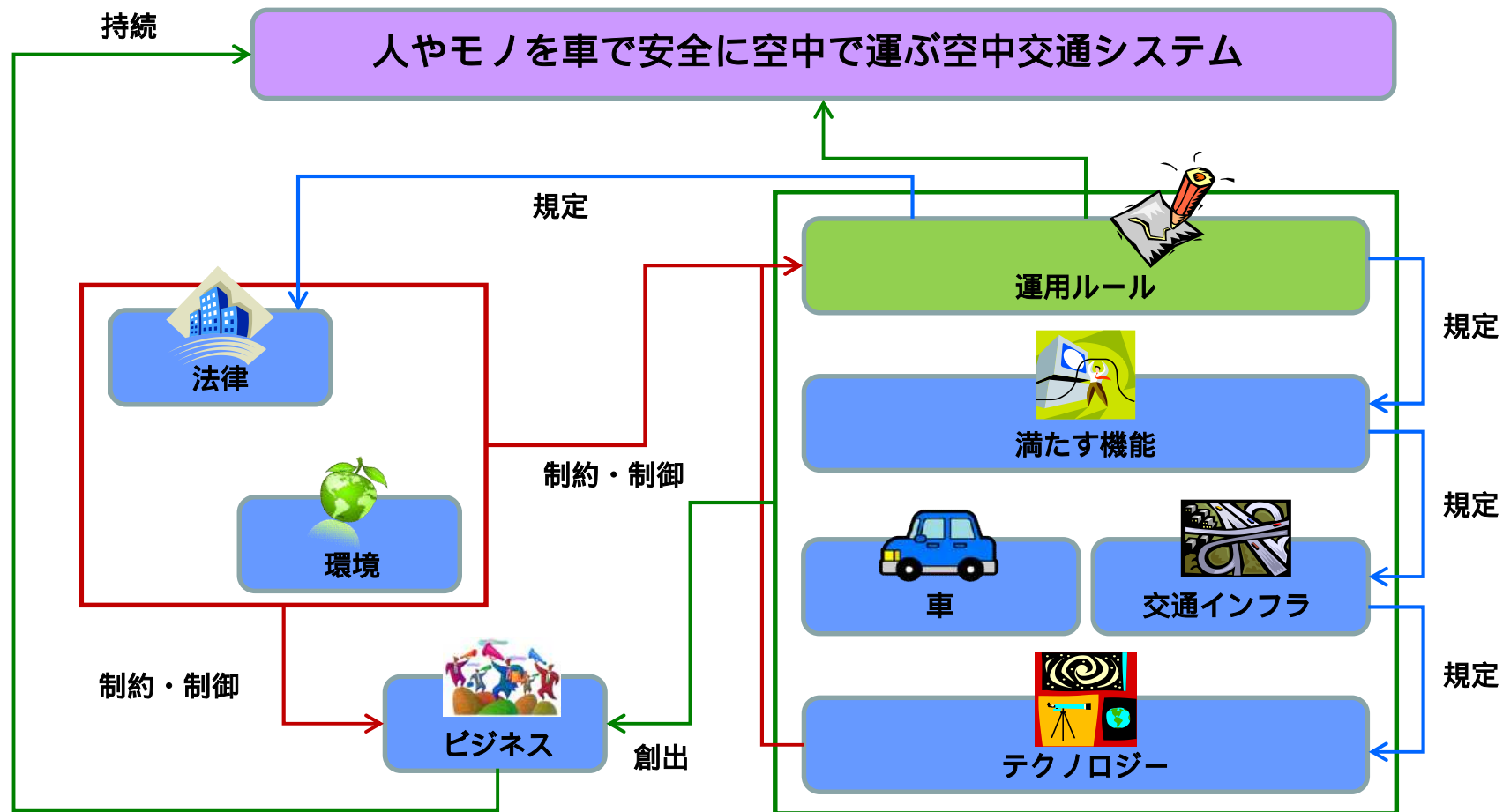
## SDMアーキテクティング授業での課題

- あなたは新しい社会をつくる部署のリーダーです。
- 空飛ぶ車が飛び回る社会を2030年に実現することを首相から命じられました。
- このようなシステムのアーキテクティングを行ってください。

## ある学生の回答案を示す

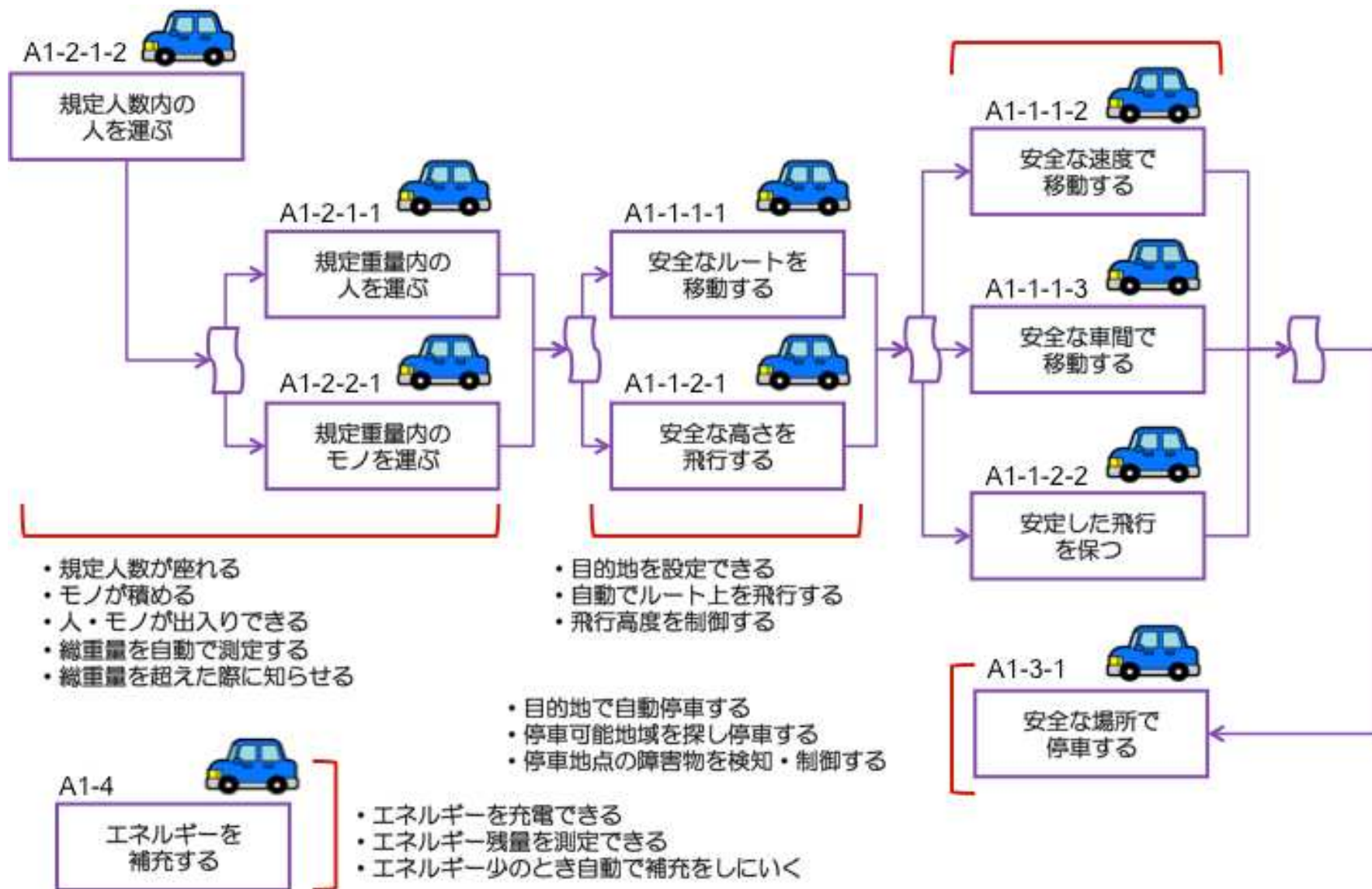
人とモノを空中で車で「安全に運ぶ」ことができる  
空中交通社会の実現



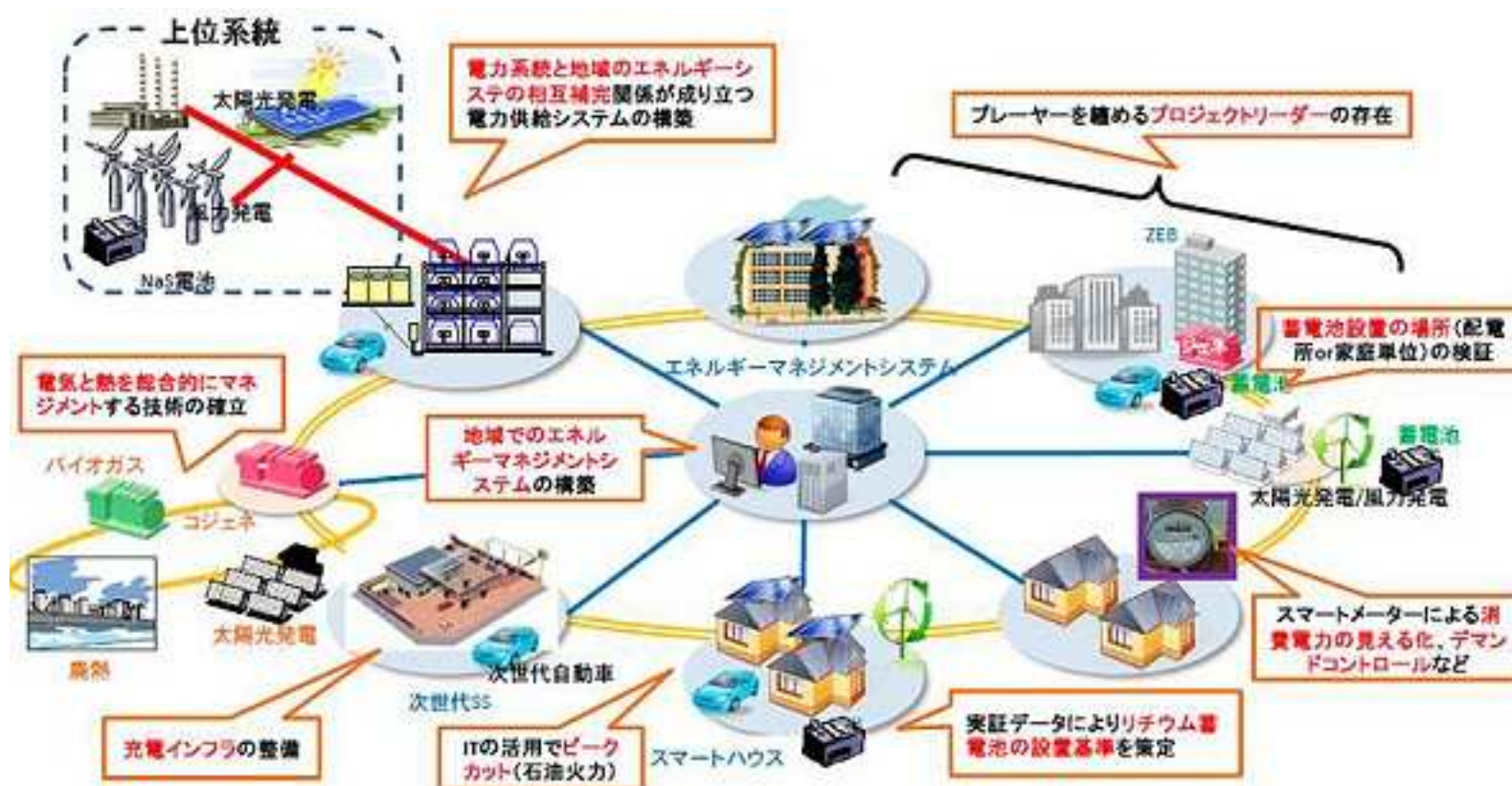








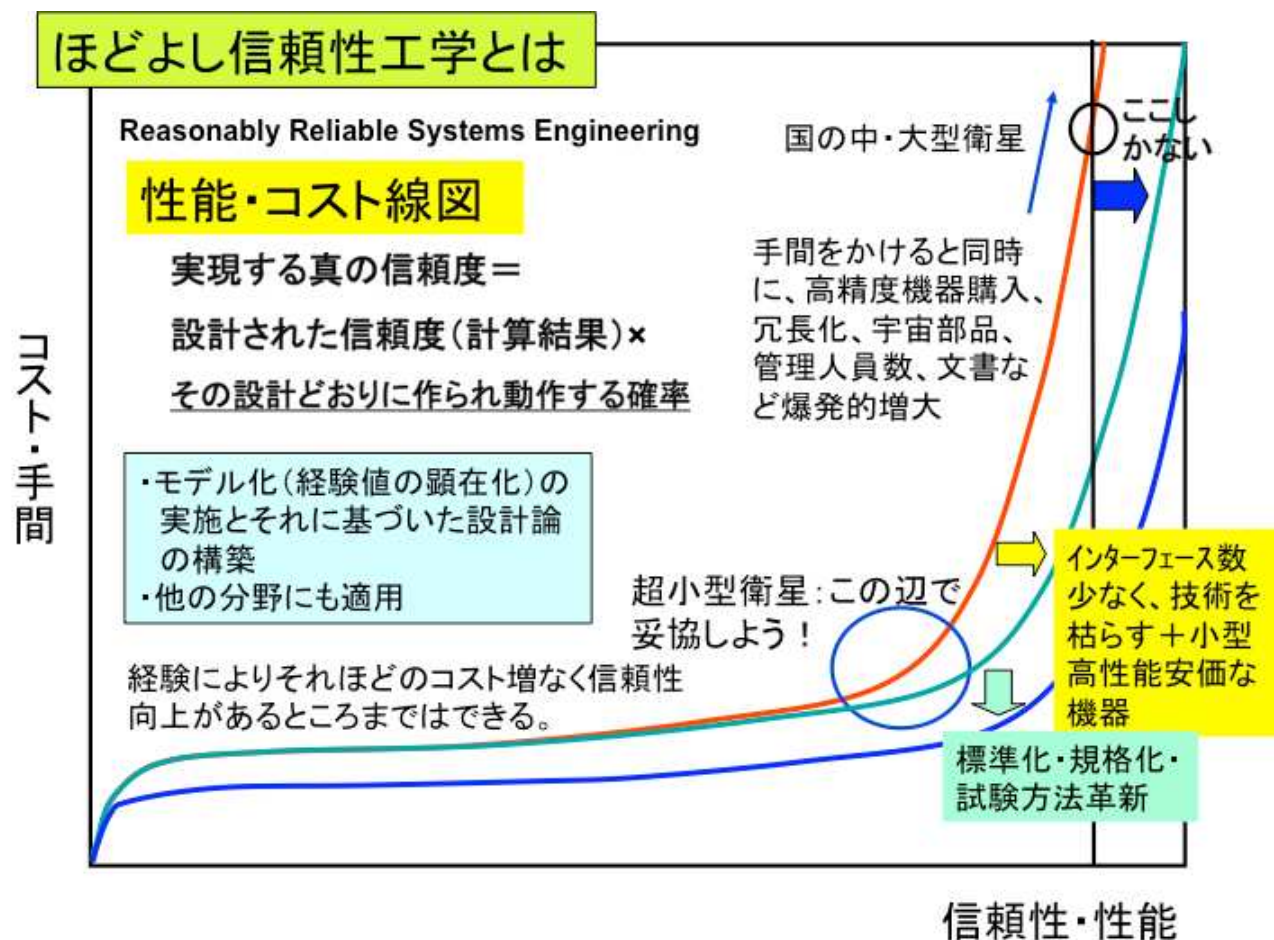
# その他の取り組み: SG / SCにおけるシステム規格



出典: 経済産業省

## その他の取り組み: ほどよし信頼性工学

- 超小型衛星開発を通じた、コストをあげない品質保証のあり方



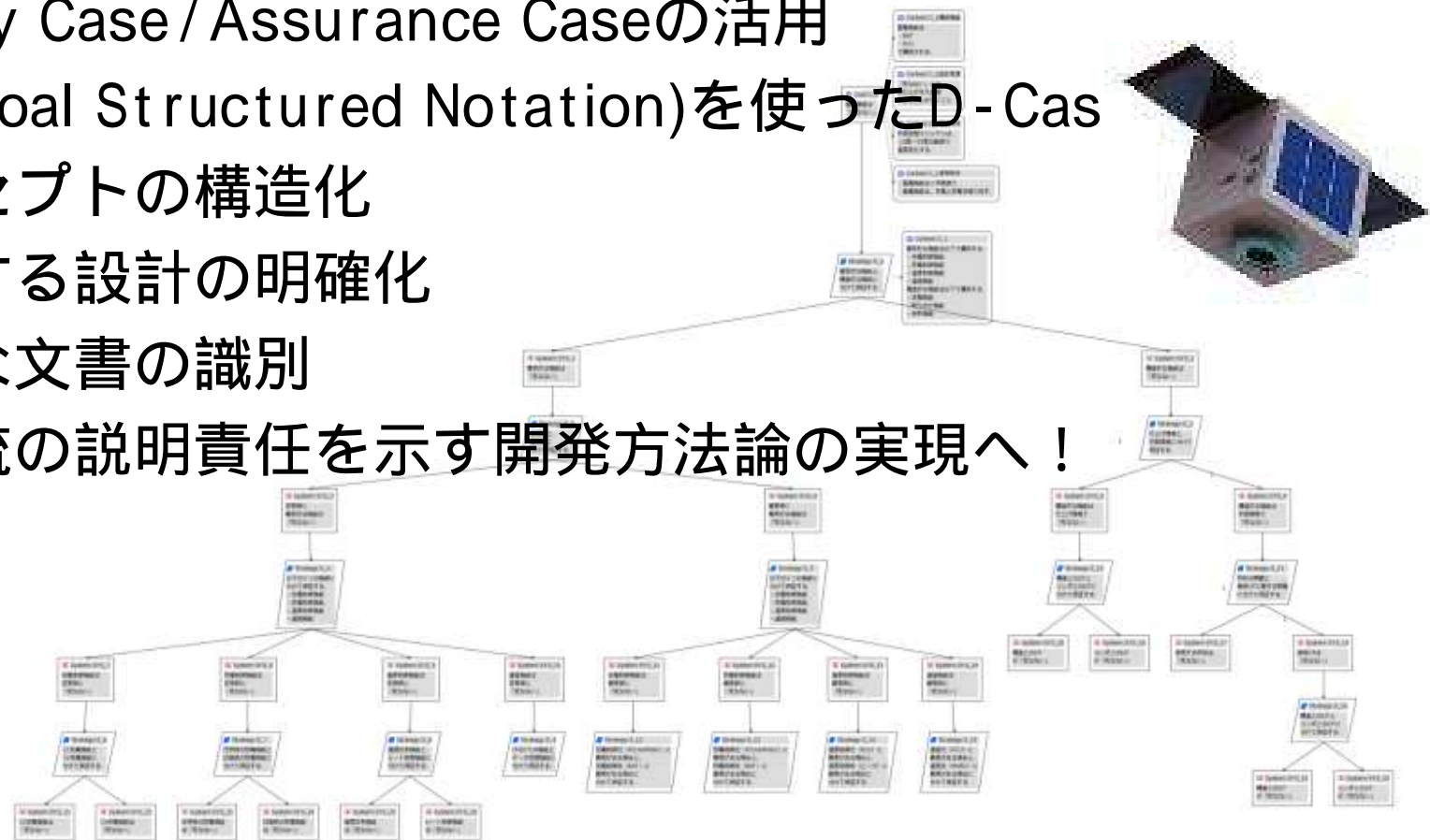
## その他の取り組み: ほどよし信頼性工学

- 超小型衛星開発を通じた、コストをあげない品質保証のあり方
  - 日本流のあうんの呼吸を活かした開発
  - コンテキストと目的の理解
  - 欧米流の説明責任からの日本流の説明責任へ



## その他の取り組み: Safety Case / Assurance Case

- Strategicに“ 効率的 ”に『安全であること』を示す取組み
  - Safety Case / Assurance Caseの活用
  - GSN(Goal Structured Notation)を使ったD-Cas
  - コンセプトの構造化
  - 対応する設計の明確化
  - 必要な文書の識別
  - 日本流の説明責任を示す開発方法論の実現へ！



## 6.まとめ

1. はじめに
2. 宇宙開発での事例
3. アーキテクトのCapability : 多視点
4. いろいろなアーキテクチャ
5. 新たな世界へ
6. まとめ

ご静聴ありがとうございました

