



## システムズエンジニアリングにより新たな未来をデザインする ～AI/IoTなどの新技術の活かし方～

慶應義塾大学システムデザイン・マネジメント研究科  
教授 白坂成功



## 人は見たいモノしか見ない

**「Moonwalking Bearに気づかない」  
「放射線技師の83%がゴリラを見逃した」**

- 自分の専門性の枠を超えて、俯瞰的にものごとを捉えるのは簡単ではない
- だからこそ“道具”（方法論）が必要

## 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
- 大手電機メーカーにて人工衛星開発（15年間）
  - 「おりひめひこぼし」
  - 「こうのとりのとり」：システム安全
  - 「みちびき」：全体システム
  - 途中、Airbusに駐在し、MBSEを立ち上げ
- 2010/4より慶應大学准教授、2017/4より教授
- INCOSE日本支部設立メンバー
- ISO JTC1/SC7 WG42「アーキテクチャ」国内主査
- PMI日本支部 PFM/PGM WG
- 内閣府ImPACT PM（革新的研究開発推進プログラム）

@ Seiko Shirasaka

3

## 自己紹介

### 最近の研究テーマ：方法論

- 大規模システムデザイン
- 高信頼性システムデザイン
- システム安全デザイン
- イノベーティブデザイン
- 社会システムデザイン

etc

@ Seiko Shirasaka

4

# Who are we?



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



5

## システムズエンジニアリング概要

# システムの的に考える=システム思考

## 1. システムズエンジニアリングの一部

広義の「システム思考」

木を見て森も見る

**Systemic** (俯瞰的) & **Systematic** (系統的)

**Goal Oriented** (目的指向)

## 2. 因果関係ループ図による世界理解

狭義のシステム思考

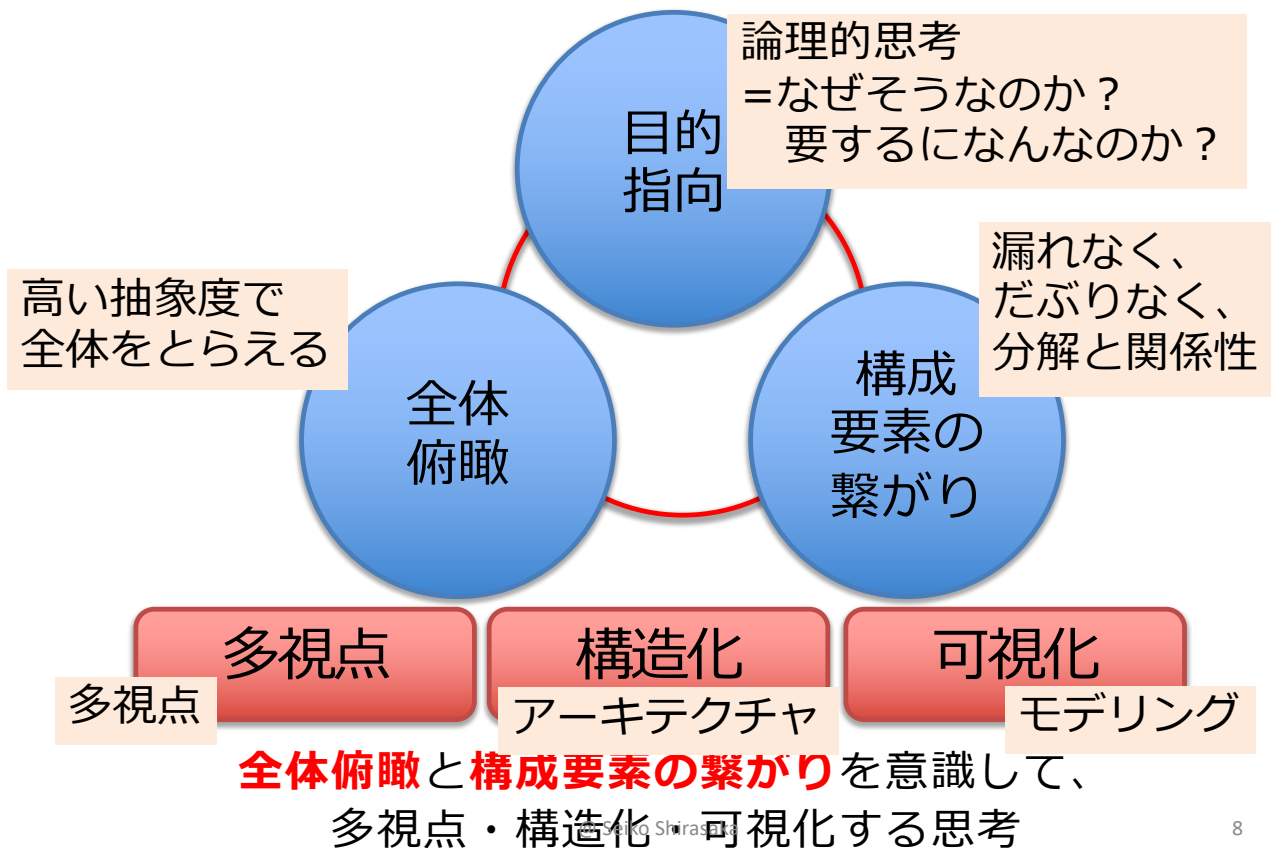
因果関係ループ図 (Causal Loop)

ループ名称+レバレッジポイント

@ Seiko Shirasaka

7

# システムの的に考えるとは？



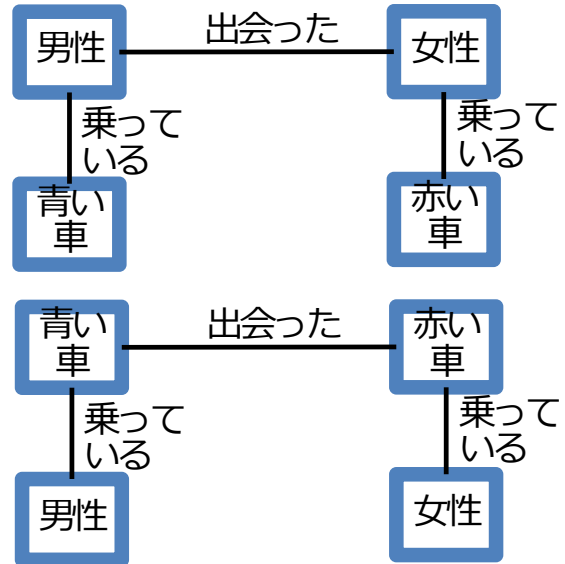
@ Seiko Shirasaka

8

# 多視点からの構造化と可視化



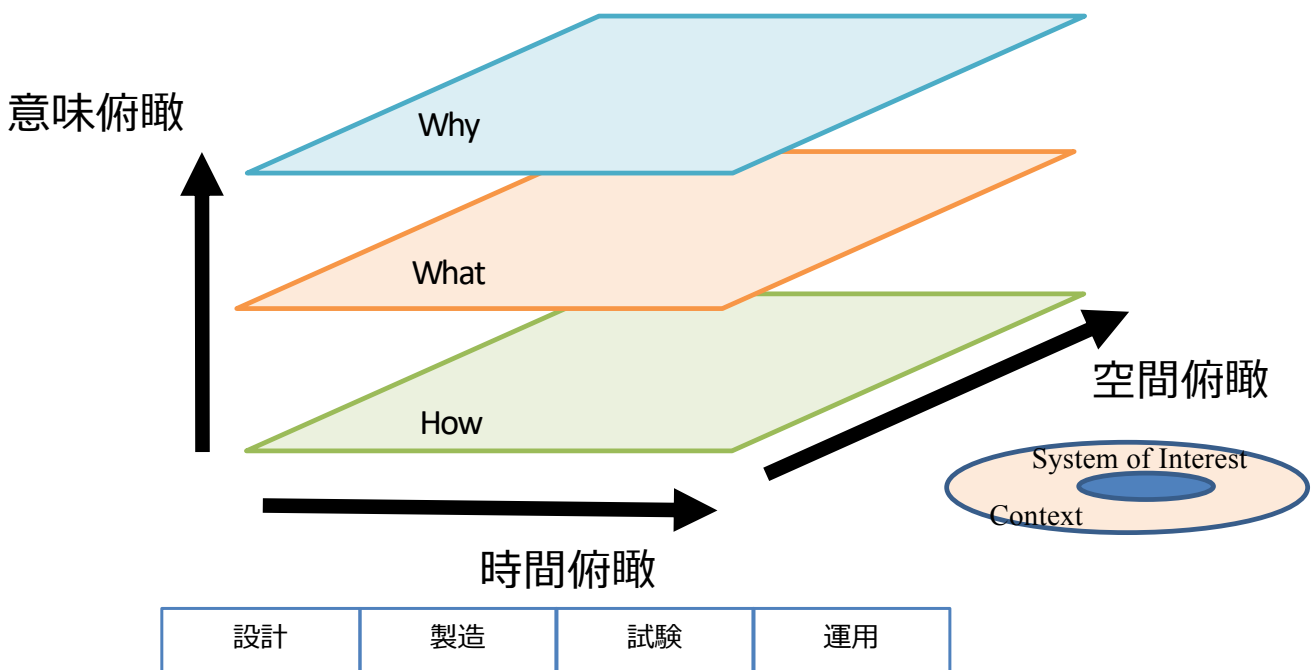
青い車に乗った男性と赤い車に乗った女性が出会った



@ Seiko Shirasaka

9

## 俯瞰的に捉えるとは



@ Seiko Shirasaka

10

# システムの定義

「システムとは、**定義された目的を成し遂げるための、相互に作用する要素 (element) を組み合わせたものである。これにはハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、人、情報、技術、設備、サービスおよび他の支援要素を含む**」 (INCOSE※ Systems Engineering Handbook)

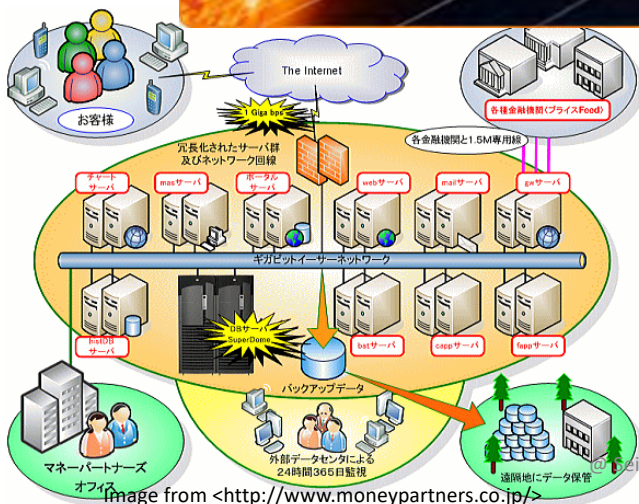
※INCOSE : International Council on Systems Engineering  
<http://www.incose.org>

要するに、複数の要素があり、  
それらが相互に作用している

@ Seiko Shirasaka

11

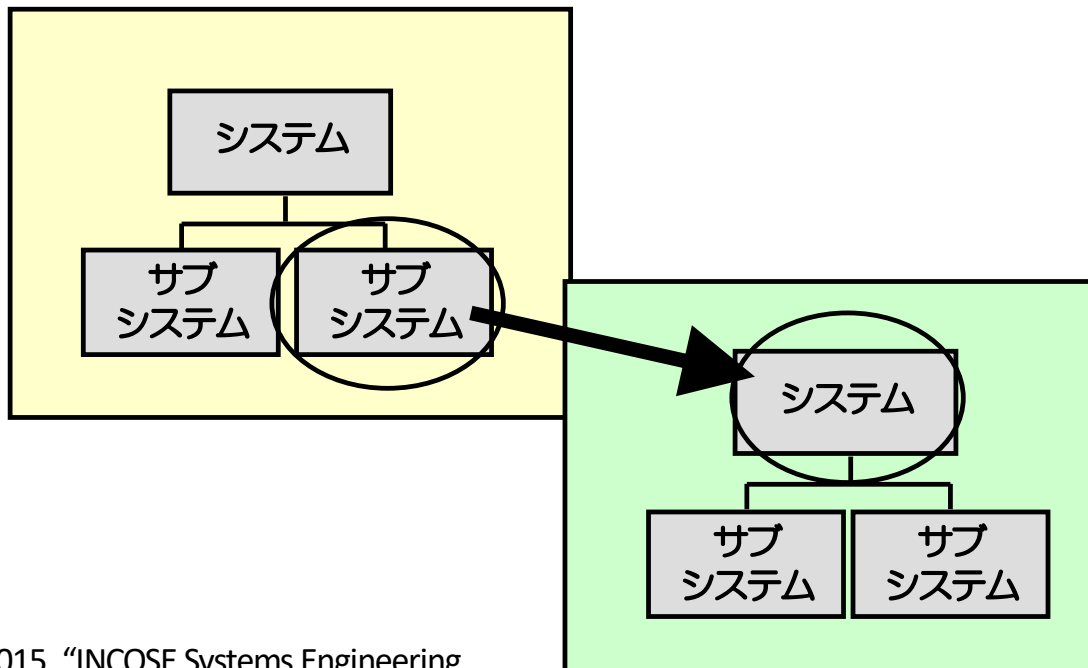
## システム？



@ Seiko Shirasaka

12

# システムの考え方 (再帰的な階層構造: Building Block)



INCOSE. 2015. "INCOSE Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities Ver. 4.0." John Wiley & Sons. © Seiko Shirasaka

13

## システムズエンジニアリングの定義

- 「システムの実現を成功させることができる**複数の専門分野にまたがるアプローチおよび手段**」 (INCOSE SE Handbook, 2000)



@ Seiko Shirasaka

14

# システムズエンジニアリングの定義

- 「システムの実現を成功させることができる**複数の専門分野にまたがるアプローチおよび手段**」 (INCOSE SE Handbook,2000)

目的を実現するために、複数分野の専門家を束ねるためのアプローチと手段。  
このために、対象を俯瞰的にとらえ、それを系統的に扱うための考え方を示している  
(ちなみに“SE=IT/SW屋”と思ってないのはアメリカだけ)

@ Seiko Shirasaka

15

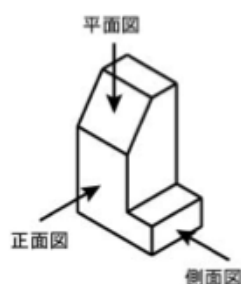
## 俯瞰的に捉えるとは

機械設計：三面

三面図

システム設計：多面

多数の図  
(ダイアグラム)



出典:機械設計のための基礎製図  
<https://www.nmri.go.jp/eng/khirata/mechdesign/ch04/ch04.html>

多数の図 (ダイアグラム) を統合するためにシステムモデルが必要となる

@ Seiko Shirasaka

16



# システムの価値

単一ではなく、複数の“要素”を組み合わせることで「価値」が生まれる

何と何をどのように組み合わせるかが  
重要となる！

AI/IoT等新規テクノロジーとの組合せに必須

何と何をどのように組み合わせるか？

=

システムアーキテクチャ

システムとしての価値を生み出すためには、システムアーキテクチャをデザインする必要がある

**EVERY SYSTEM HAS  
AN ARCHITECTURE.**

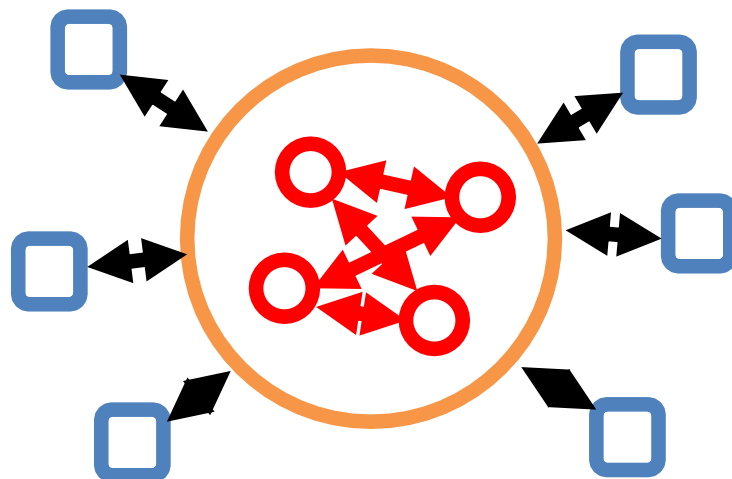
# アーキテクチャの定義

- 目的を最大化するような**機能と特性の配置**  
(Jack Ring "Discovering the Architecture of Product X", INCOSE Symposium, 2001)
- システムの**構成要素とそれらの関係性の抽象的記述**  
(Crawley, Edward, Olivier de Weck, Steven Eppinger, Christopher Magee, Joel Moses, Warren Seering, Joel Schindall, David Wallace, and Daniel Whitney. 2004. "The Influence of Architecture in Engineering Systems." Engineering Systems Monograph 2006.)
- 構成要素の設計や進化を左右するような、構成要素の**構造、構成要素間の関係、そして原理や指針**  
(ISO/IEC/IEEE 24765 Systems and software engineering - Vocabulary, 2010)
- システムと**外界との関係**及びシステムを構成する**要素とその構成要素間の関係**  
(白坂成功, 慶應義塾大学大学院SDM研究科「システムデザイン・マネジメント序論」講義資料, 2013)

@ Seiko Shirasaka

19

# アーキテクチャの定義



- システムと**外界との関係**及びシステムを構成する**要素とその構成要素間の関係** (白坂)

@ Seiko Shirasaka

20

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

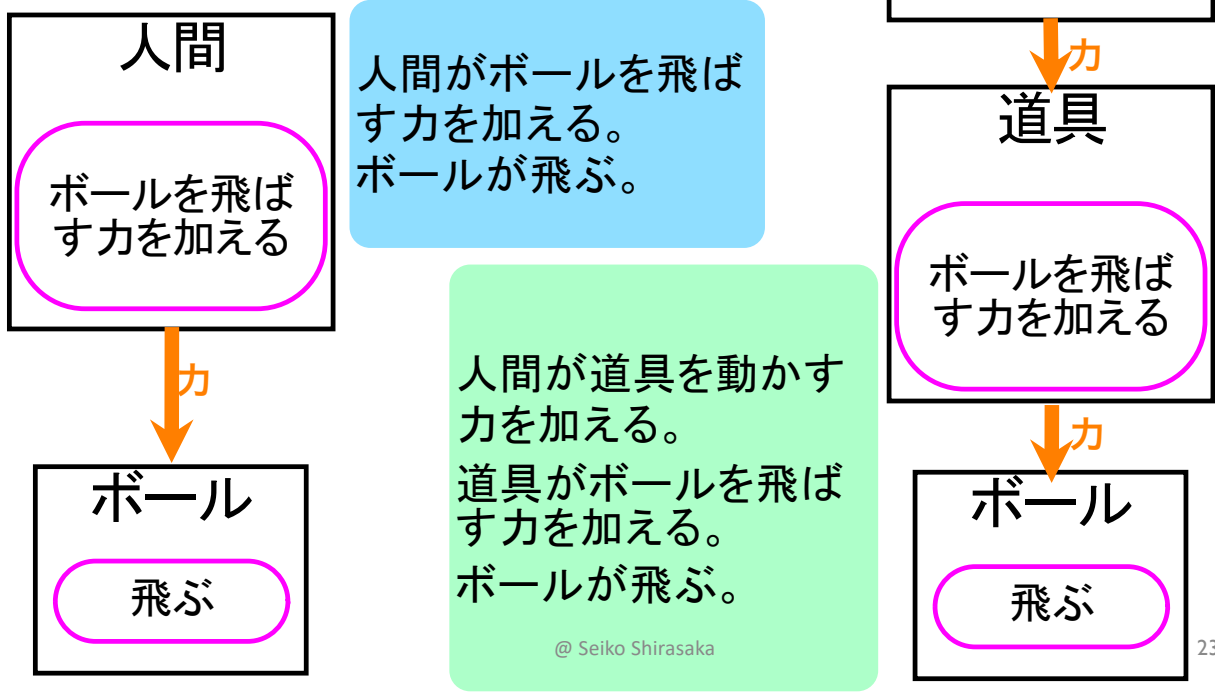
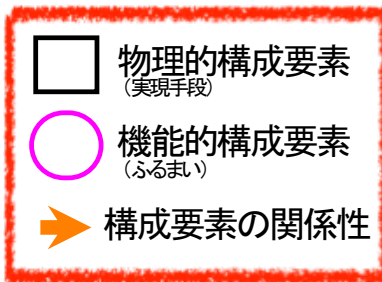
※つまり、Engineeringに対して、アーキテクチャを作る行為はより自由度が高く、センスや経験などの影響を大きく受けると述べている。

(Maier, Mark W. and Eberhardt Rechtin. c2009. *The Art of Systems Architecting*. 3rd ed. ed. Boca Raton: CRC Press, c2009.)

## アーキテクチャ設計の定義

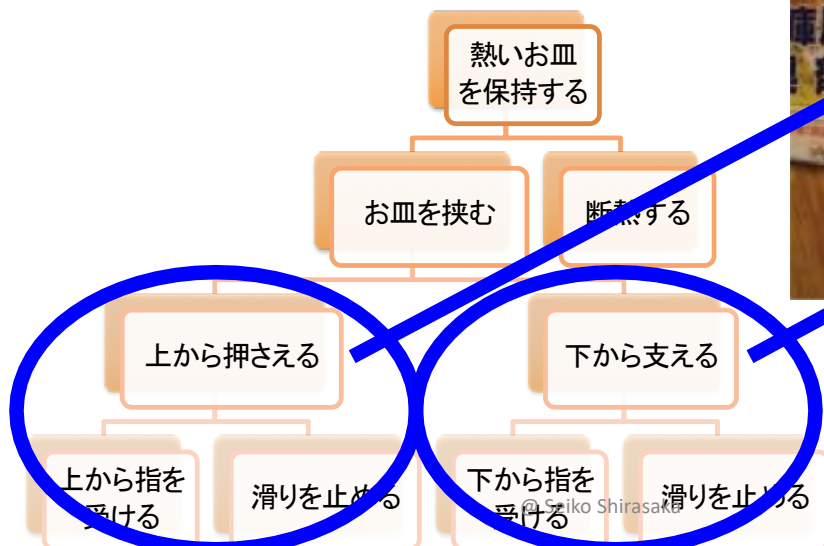
- アーキテクチャを作り出す行為
- 機能を要素に割り当て、要素間の関係性（インタフェース）を明確化すること（前野 2010）
- 複数の視点において、構成要素とそれらの関係性を明確化するとともに、各視点間の関係性を明確化すること（白坂）

# アーキテクチャの例

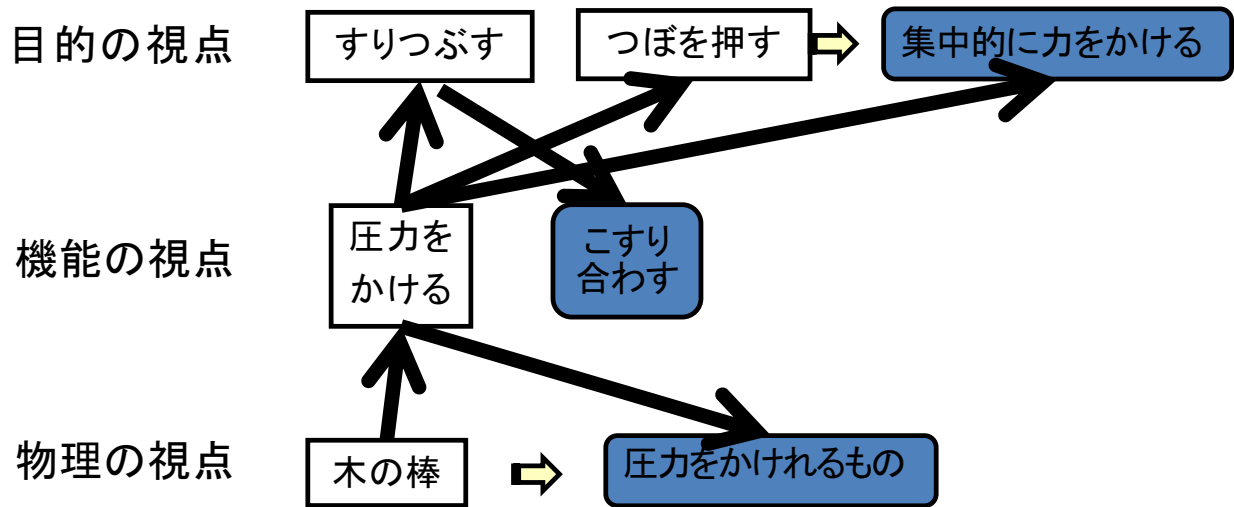


どのような機能から構成されていて(機能の視点)、どのように実現されているか(物理の視点)を考えてみて下さい。

「パクパク皿キャッチ」の例



出典:  
[http://blog.goo.ne.jp/haru\\_hinata/e/c55459c9c1b9c306baa04289028d7676](http://blog.goo.ne.jp/haru_hinata/e/c55459c9c1b9c306baa04289028d7676)



@ Seiko Shirasaka

25

## IoT/AI等を活用したデザインアプローチ

- 既存の価値を“改善する”ための活用
- 新しい価値を創造するための活用

@ Seiko Shirasaka

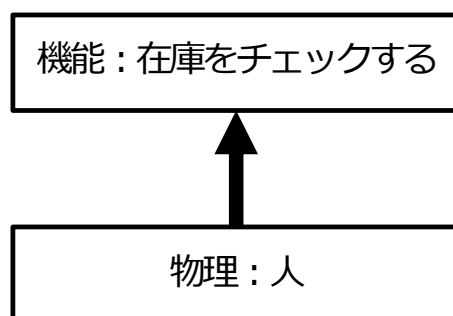
26

## IoT/AI等を既存の価値を“改善する”ために活用

- 機能と物理を分離し、物理をIoT/AI等の手段におきかえる

例) 在庫の状況を人がチェックしている

在庫の状況をチェックする価値がすでに存在



@ Seiko Shirasaka

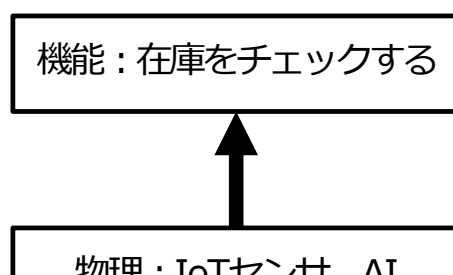
27

## IoT/AI等を既存の価値を“改善する”ために活用

- 機能と物理を分離し、物理をIoT/AI等の手段におきかえる

例) 在庫の状況を人がチェックしている

在庫の状況をチェックする価値がすでに存在



機能アーキテクチャは変えないで、  
物理アーキテクチャのみを変更する

# IoT/AI等を活用したデザインアプローチ

- 既存の価値を“改善する”ための活用
- 新しい価値を創造するための活用

	known	unknown
known	<p>known knowns</p> <p>知っていることを 知っている</p>	<p>known unknowns</p> <p>知らないことを 知っている</p>
unknown	<p>unknown knowns</p> <p>知っていることを 知らない</p>	<p>unknown unknowns</p> <p>知らないことを 知らない</p>

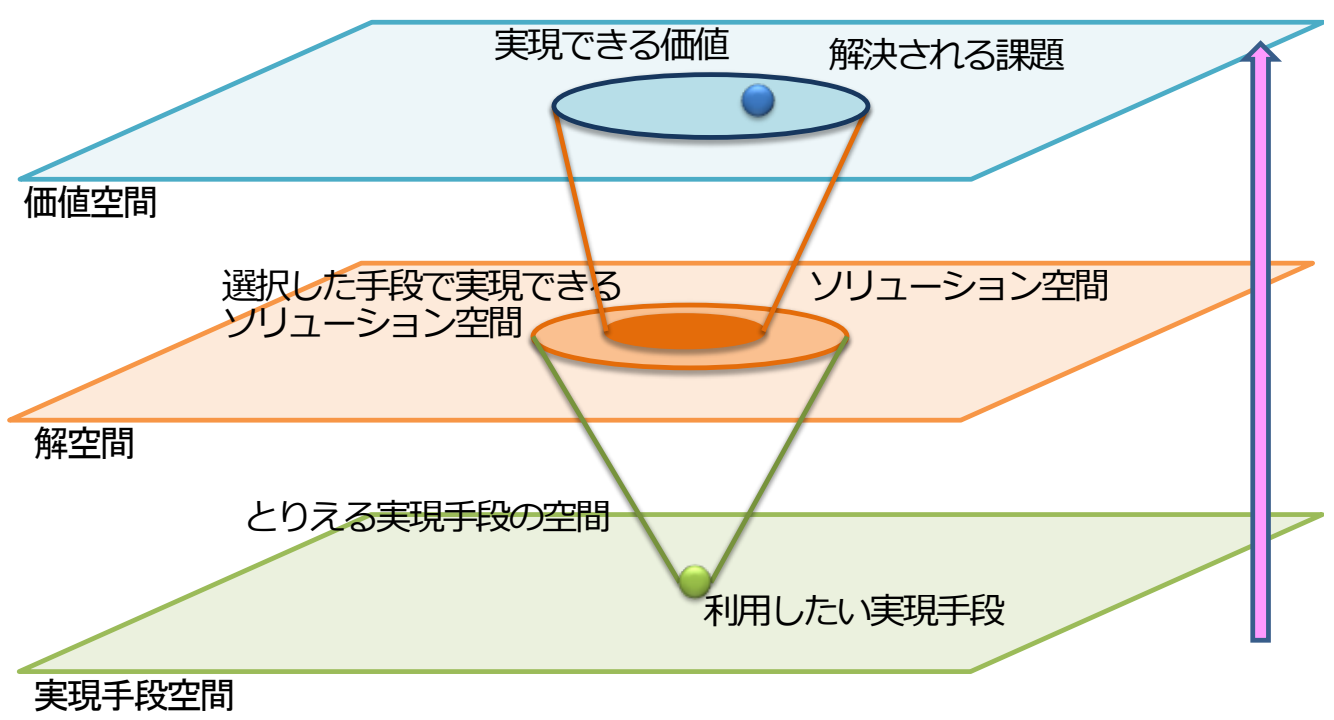
United States Secretary of Defense Donald Rumsfeld (2012)

今あるもののAI/IoT化  
 屋根、柱、浄水器、  
 お風呂、

	known	unknown
known	① known knowns 知っていることを 知っている	known unknowns 知らないことを 知っている
unknown	unknown knowns	unknown unknowns

今あるものをAI/IoT化し、それを活用した（つまり  
 アーキテクチャの一部として含む）  
 新たな価値を提供するシステムを考える

## ボトムアップ型ソリューション創出



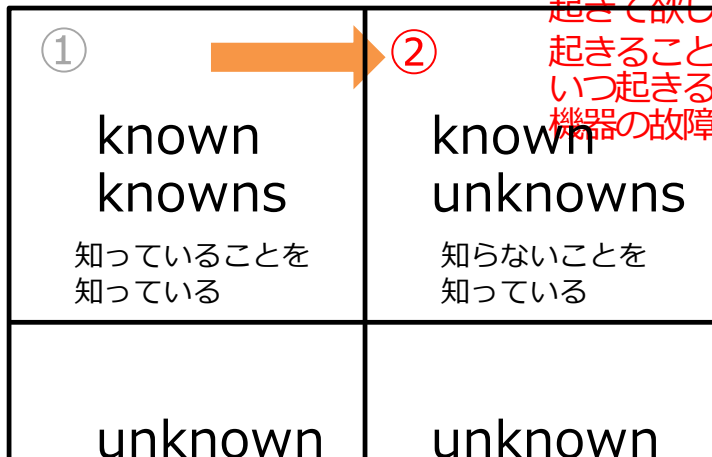


今あるもののIoT化  
屋根、柱、浄水器、  
お風呂、

known

unknown

known



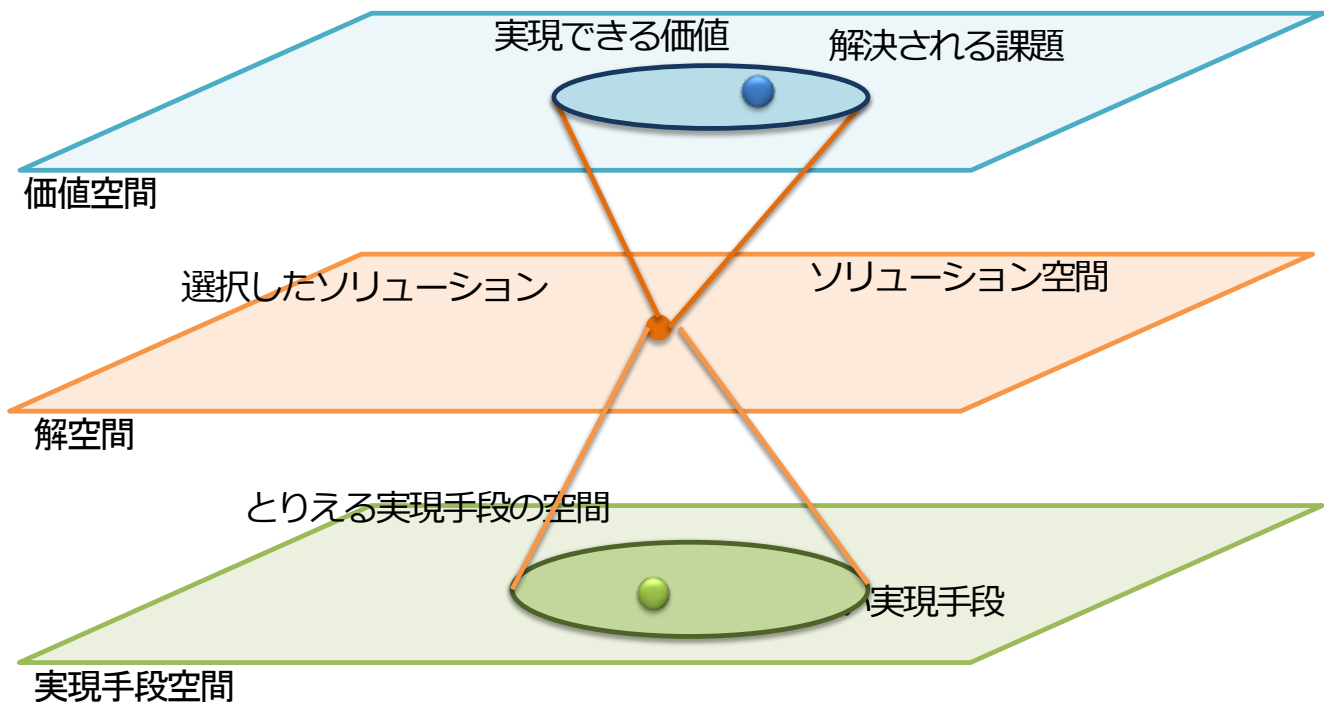
知らないことを認識している  
起きて欲しくないことが  
起きることをしているが、  
いつ起きるかわからない。  
機器の故障、...

“知らないことを認識していること”をAI/IoT化によって、  
“知っていること”に変換するそれを活用した（つまり  
アーキテクチャの一部として含む）  
新たな価値を提供するシステムを考える

shirasaka@sdm.keio.ac.jp

33

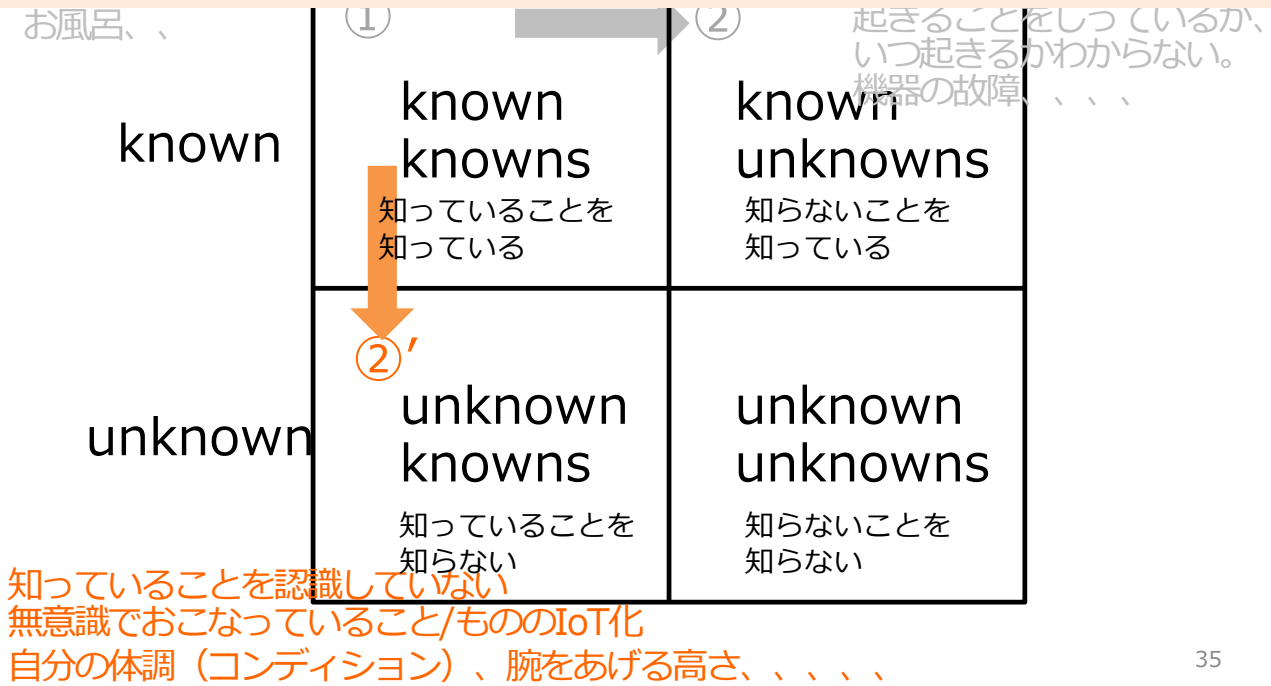
## ボトムアップ&トップダウン型 ソリューション創出



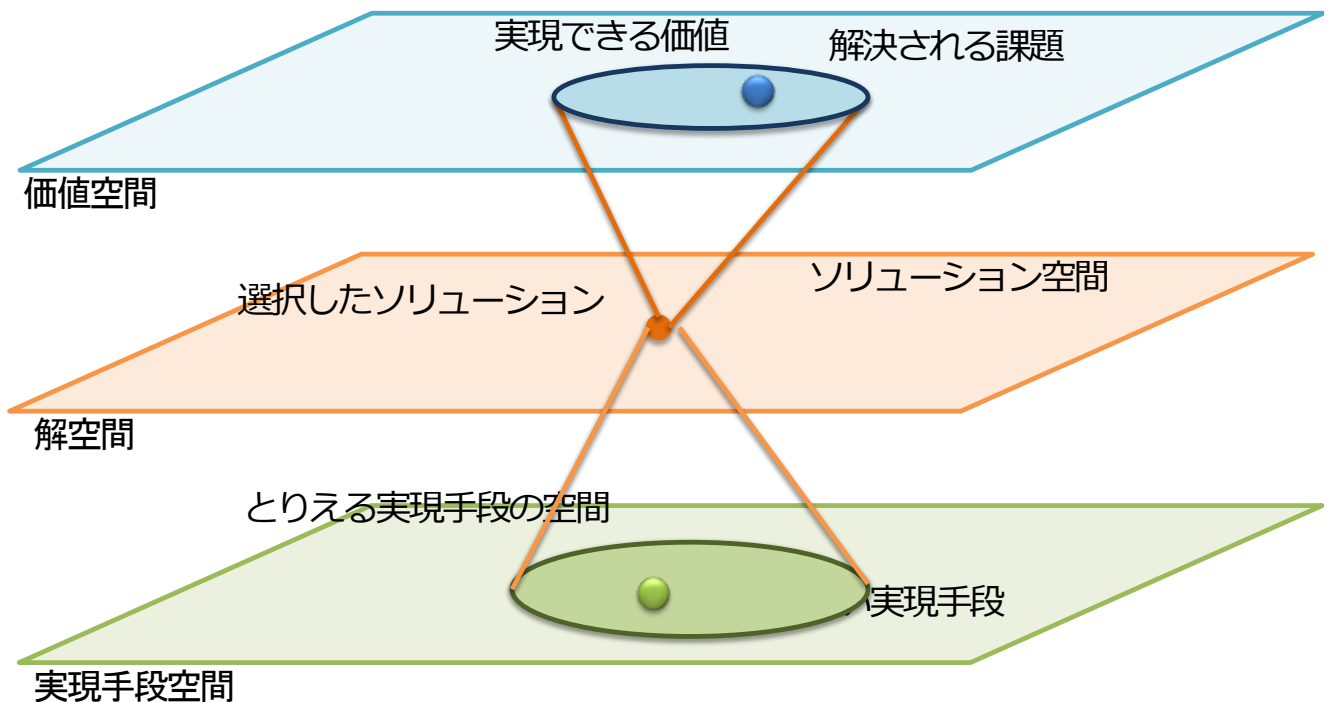
shirasaka@sdm.keio.ac.jp

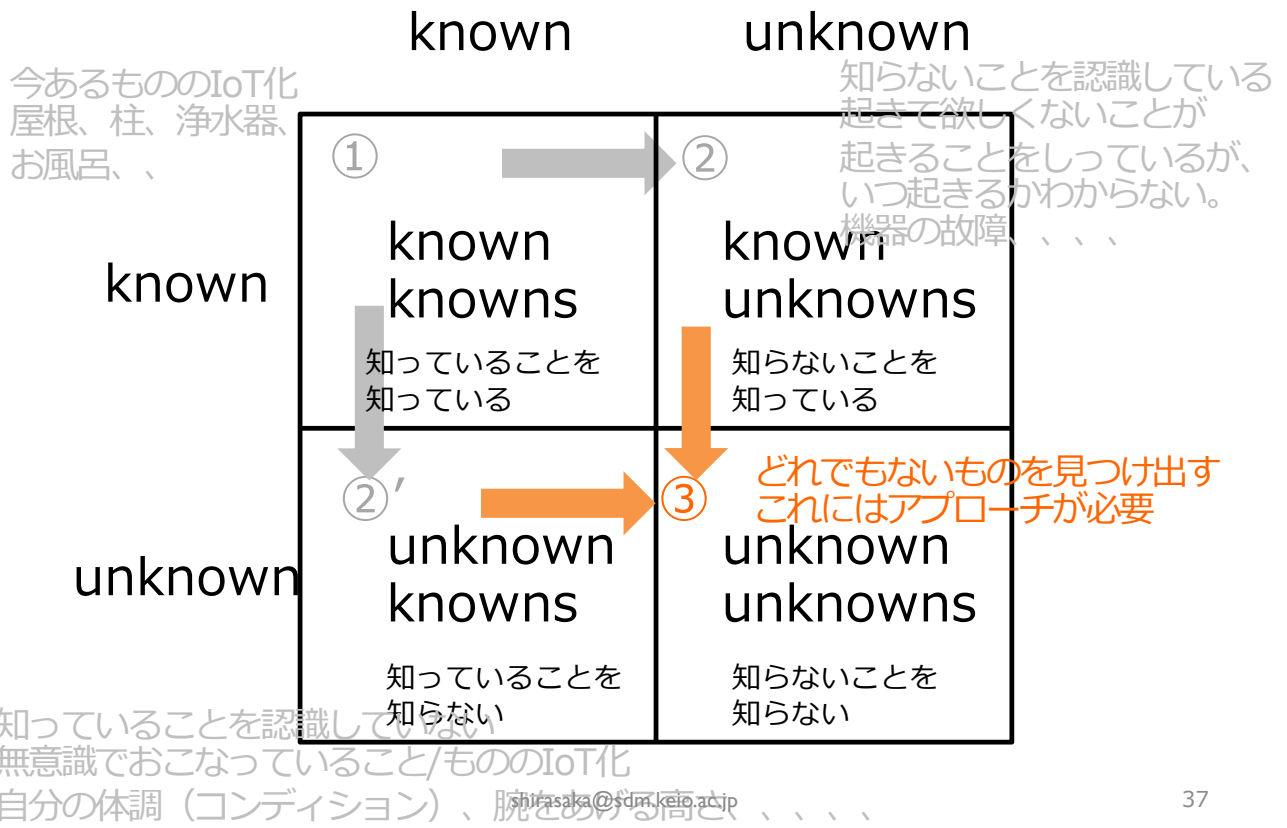
34

“無意識的なこと”をAI/IoT化によって、“意識できること”に変換するそれを活用した（つまりアーキテクチャの一部として含む）  
 新たな価値を提供するシステムを考える

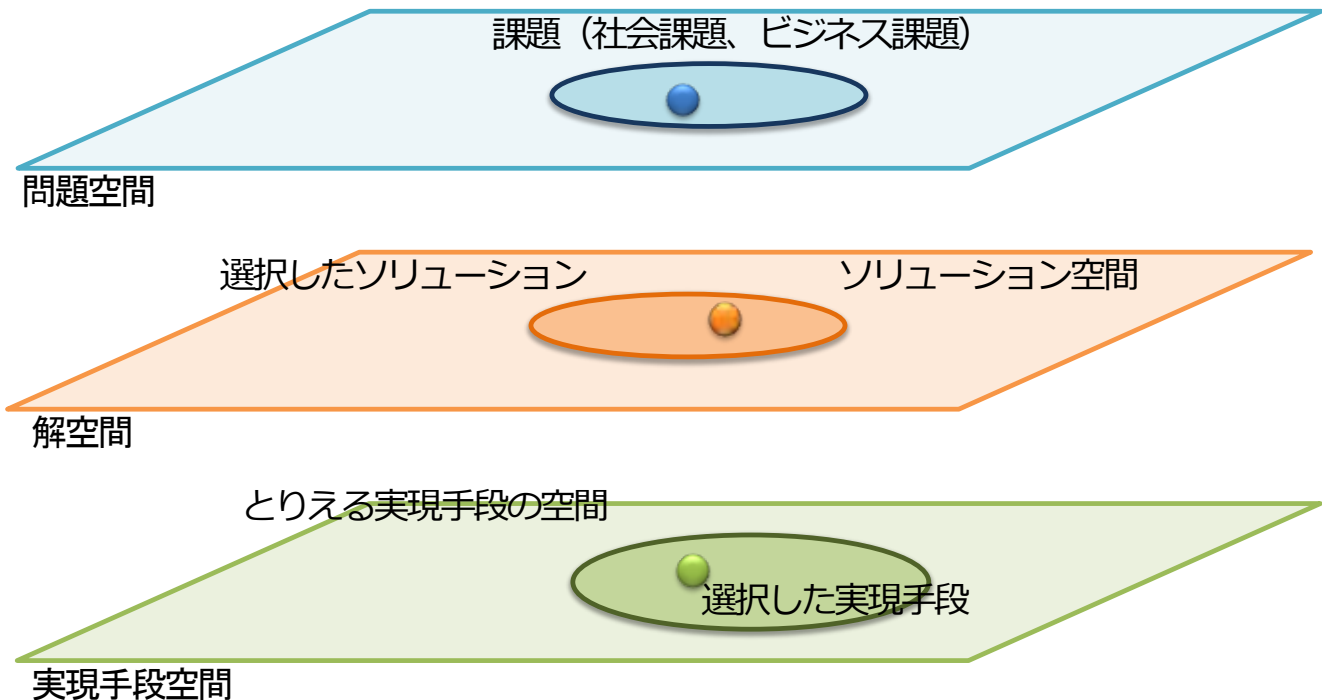


## ボトムアップ&トップダウン型ソリューション創出



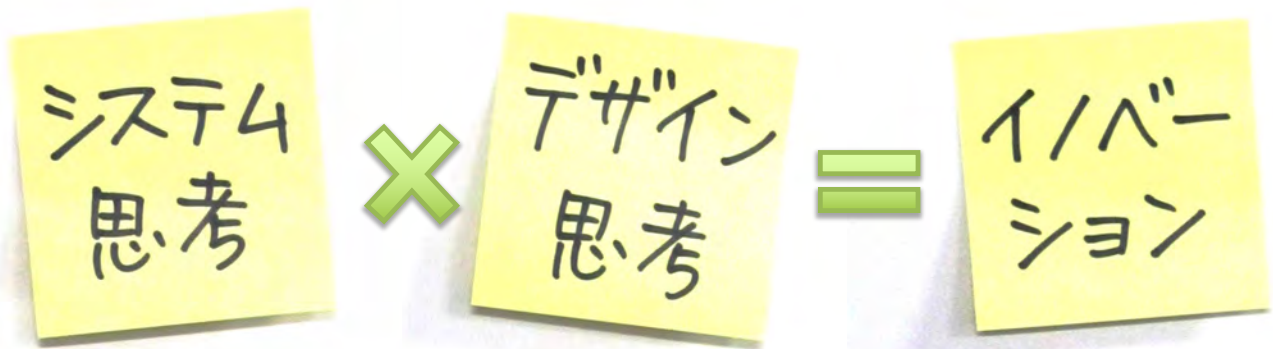


## どこからスタートするかわからない型 ソリューション創出



# 「システムxデザイン」思考

多様な人々で集まり、「システムズエンジニアリング」を基盤としながら「デザインシンキング」により創造的に思考することで、創造的にデザイン



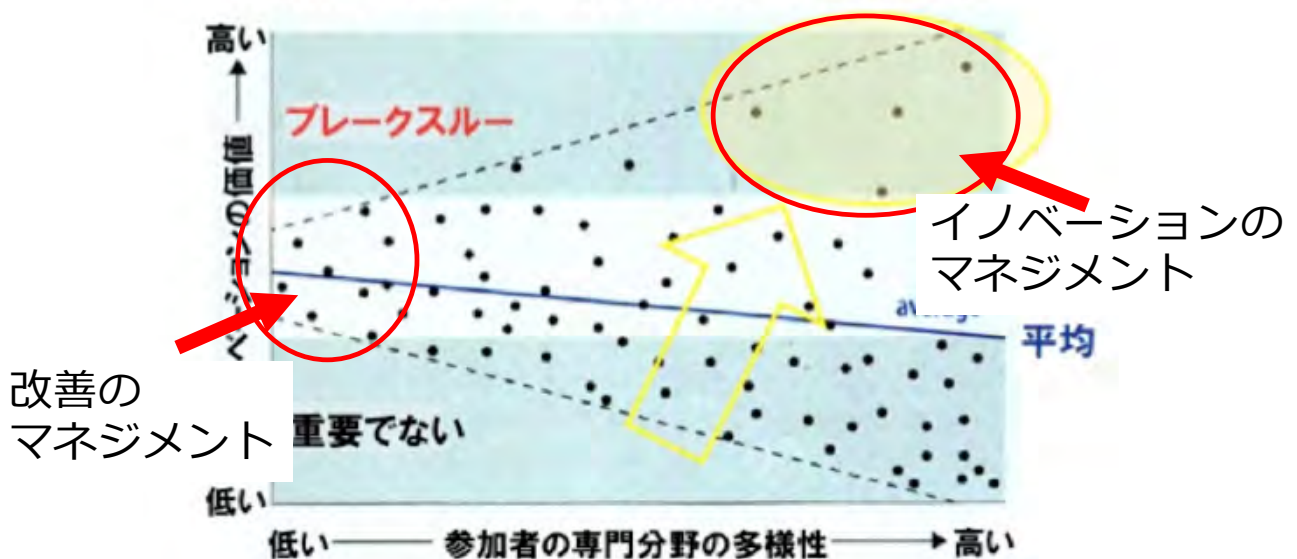
偶然、思いつくのではなく、  
狙って、イノベティブに考える

shirasaka@sdm.keio.ac.jp

39

## 多様性はイノベーションの価値を高める

多様なチームの成果の一部はイノベティブ  
(ただしパフォーマンスの平均値は均一な集団に劣る)



Fleming, Lee. "Perfecting Cross-Pollination." *Harvard Business Review* vol.82, no. 9 (2004): 22-24.

多様性の活かし方、集合知の出し方・  
原理を理解して、狙って行う

shirasaka@sdm.keio.ac.jp

40

# 「システム×デザイン」思考

多様な人々で集まり、「システムズエンジニアリング」を基盤としながら「デザインシンキング」により創造的に思考することで、革新を生み出す



shirasaka@sdm.keio.ac.jp

41

## デザイン思考とは？



“Design Thinking is a **mindset**.”

**It's Human-Centered.**  
**It's Collaborative.**  
**It's Optimistic.**  
**It's Experimental.**

引用元：Design Thinking for Educators Toolkit, IDEO, 2011

5つのMode

Empathize：共感

Define：問題定義

Ideate：創造

Prototype：プロトタイプ

Test：テスト

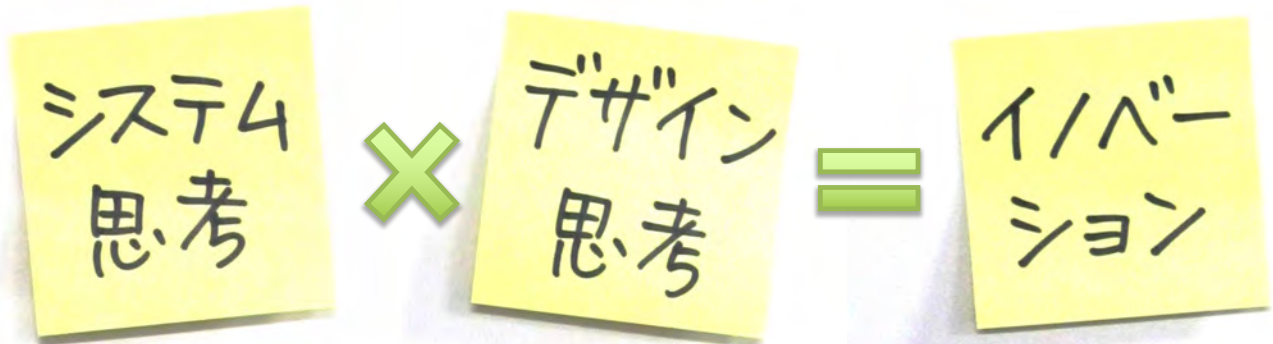
もともとスタンフォード大学の学生たちに足りないところを追加するためのアプローチ

shirasaka@sdm.keio.ac.jp

42

# 「システムxデザイン」思考

多様な人々で集まり、「システムズエンジニアリング」を基盤としながら「デザインシンキング」により創造的に思考することで、創造的にデザイン



shirasaka@sdm.keio.ac.jp

43

## システム思考とは？

- **多様性**を活かす
  - 多様な専門性を統合するための仕組み
- **Goal Oriented** (目的指向)
  - 思考の流れをデザイン (思考過程のアーキテクチャデザイン) して、狙ってイノベティブに考える
  - デザイン思考も思考の流れの一要素
- **Systemic** (俯瞰的) & **Systematic** (系統的)
  - 思考の枠を超えて広くとらえる
  - 部分最適にならない
  - 仕組みとして価値を創造 (AI、IoT、ビッグデータなどを強みや技術を活用して価値につなげる)

shirasaka@sdm.keio.ac.jp

44

# IoT/AI等を活用したデザインアプローチ

- 既存の価値を“改善する”ための活用
- 新しい価値を創造するための活用

	known	unknown
known	known knowns 知っていることを 知っている	known unknowns 知らないことを 知っている
unknown	unknown knowns 知っていることを 知らない	unknown unknowns 知らないことを 知らない

United States Secretary of Defense Donald Rumsfeld (2012)

shirasaka@sdm.keio.ac.jp

45

## まとめ

- システムズエンジニアリングとは、目的を実現するための、アプローチと用語を提供
- IoT/AIを活用してシステムとしての価値を生み出すためには、システムアーキテクチャをデザインする必要がある
- IoT/AIを活用したデザインのためには、既存価値の改善と、新価値の創造がある
  - 思考過程のアーキテクチャのデザインが有効