

# ポストコロナ社会の システム・シンセシスとしての ロボット技術

東京大学大学院工学系研究科  
精密工学専攻／人工物工学研究センター  
(i-Constructionシステム学寄付講座)

浅間 一

<http://www.robot.t.u-tokyo.ac.jp/asamalab/>  
[asama@robot.t.u-tokyo.ac.jp](mailto:asama@robot.t.u-tokyo.ac.jp)

## 第6期科学技術・イノベーション基本計画(概要)

- コロナ禍が国内外の情勢変化（米中対立、気候変動等の脅威、GAFAt台頭の弊害 等）を加速
- 基本計画では、①イノベーション力の強化、②研究力の強化、③教育・人材育成 の3本を柱とする
- 5年間で、政府の研究開発投資の総額 約30兆円、官民の研究開発投資の総額 約120兆円 を目指す

### 科学技術・イノベーション政策の3本柱

#### イノベーション力の強化

- 社会のデジタル化、カーボンニュートラルの実現
- レジリエントで安全・安心な社会の構築
- 社会実装による課題解決

持続可能で強靱な  
社会への変革

#### 目指す社会像

国民の安全・安心が  
確保された社会

#### 研究力の強化

- 博士課程学生や若手・女性研究者の支援強化
- 基礎研究・学術研究、人文・社会科学の振興
- 大学改革(経営体への転換)、10兆円規模の大学ファンド

「知」の創造

一人ひとりの多様な幸せが  
実現できる社会

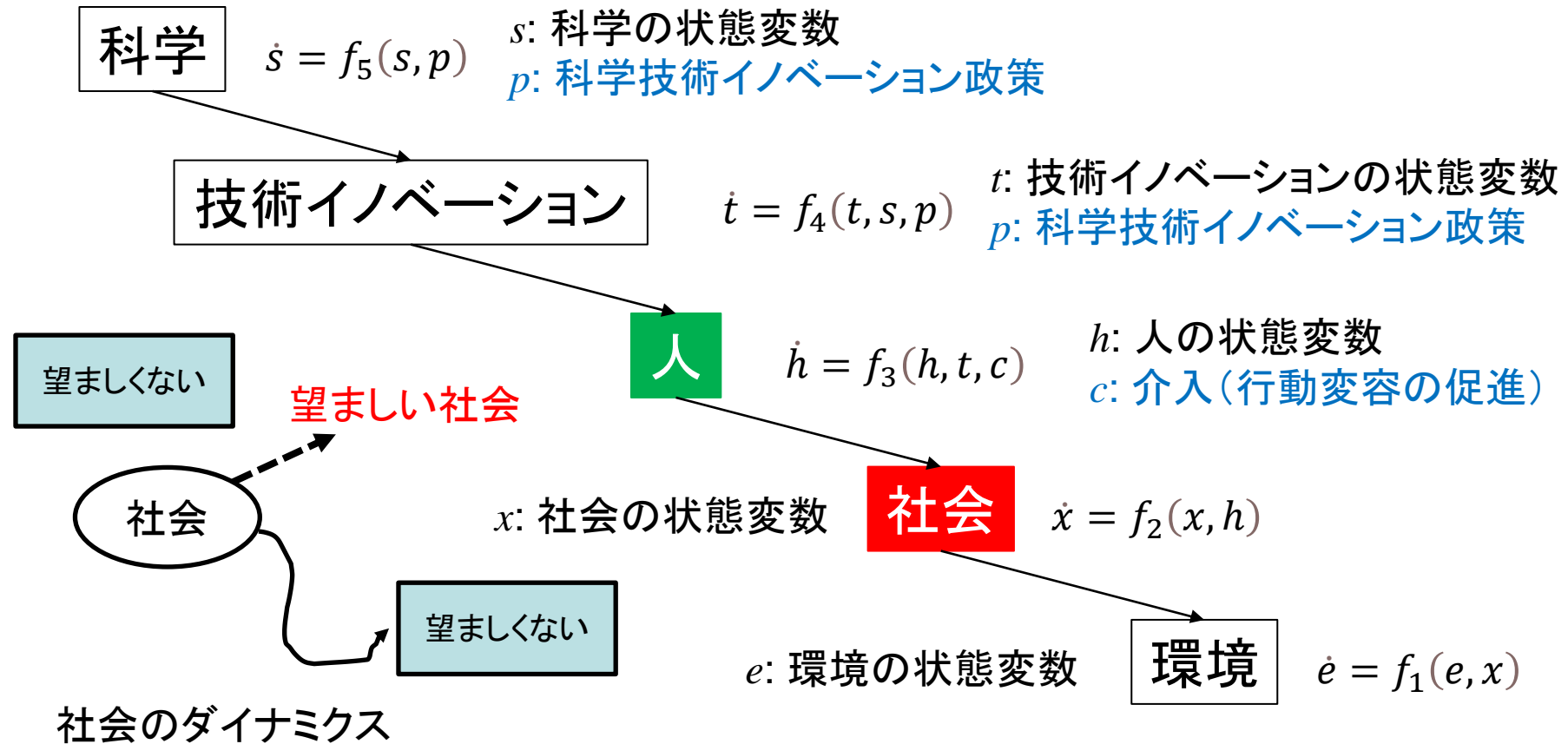
#### 教育・人材育成

- 初等中等教育段階からのSTEAM教育\*やGIGAスクール構想の推進
- リカレント教育を促進する環境・文化の醸成

\*理数及び創造的教育手法 (Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics)

新たな社会への  
対応

# リニアモデル



# Society 5.0

狩猟社会→農耕社会→工業社会→情報社会→**新たな社会？**

- サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させた**システム**により、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会（Society）

# Society 5.0

狩猟社会→農耕社会→工業社会→情報社会→**新たな社会？**

- サイバー空間(仮想空間)とフィジカル空間(現実空間)を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会(Society)
  - どのようにつなげるのか, つなげるだけでよいのか

# Society 5.0

狩猟社会→農耕社会→工業社会→情報社会→**新たな社会？**

- サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより、**経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会（Society）**
  - どのようにつなげるのか，つなげるだけでよいのか
  - **経済発展（産業競争力）と社会的課題の解決は両立するのか**

# Society 5.0

狩猟社会→農耕社会→工業社会→情報社会→**新たな社会？**

- サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、**人間中心の社会**（Society）
  - どのようにつなげるのか，つなげるだけでよいのか
  - 経済発展（産業競争力）と社会的課題の解決は両立するのか
  - 人間中心（矛盾内包）で問題は解決できるのか

# 間違っていること

1. いつでもどこでもDX
2. 人間中心
3. 選択と集中



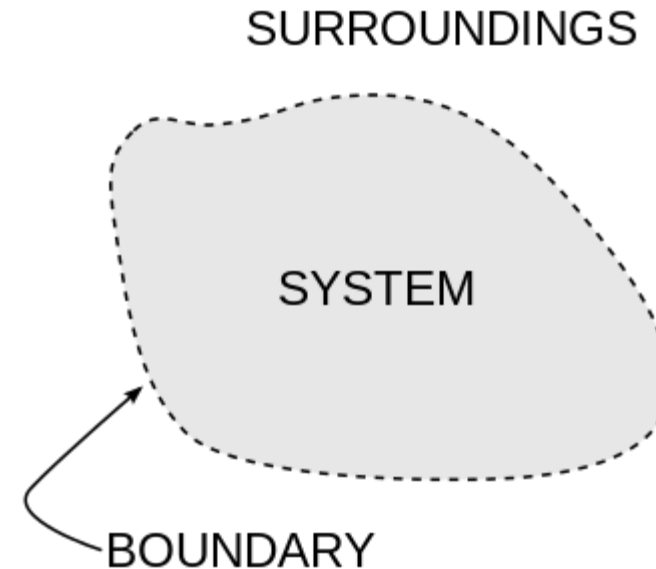
# Society 5.0

狩猟社会→農耕社会→工業社会→情報社会→**新たな社会？**

- サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させた**システム**により、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会（Society）

# システムとは (Wikipedia)

相互に影響を及ぼしあう**要素**から構成される、まとまりや仕組みの全体。一般性の高い概念であるため、文脈に応じて**系**、**体系**、**制度**、**方式**、**機構**、**組織**といった**多種の言葉**に該当する。**系 (自然科学)** の記事も参照。



## システムの分類

- 開かれたシステム／閉じたシステム
- 決定的システム／非決定的システム
- **集中システム／階層システム／自律分散システム／創発システム**

# AnalysisとSynthesis

## Analysis(分析, 解析)

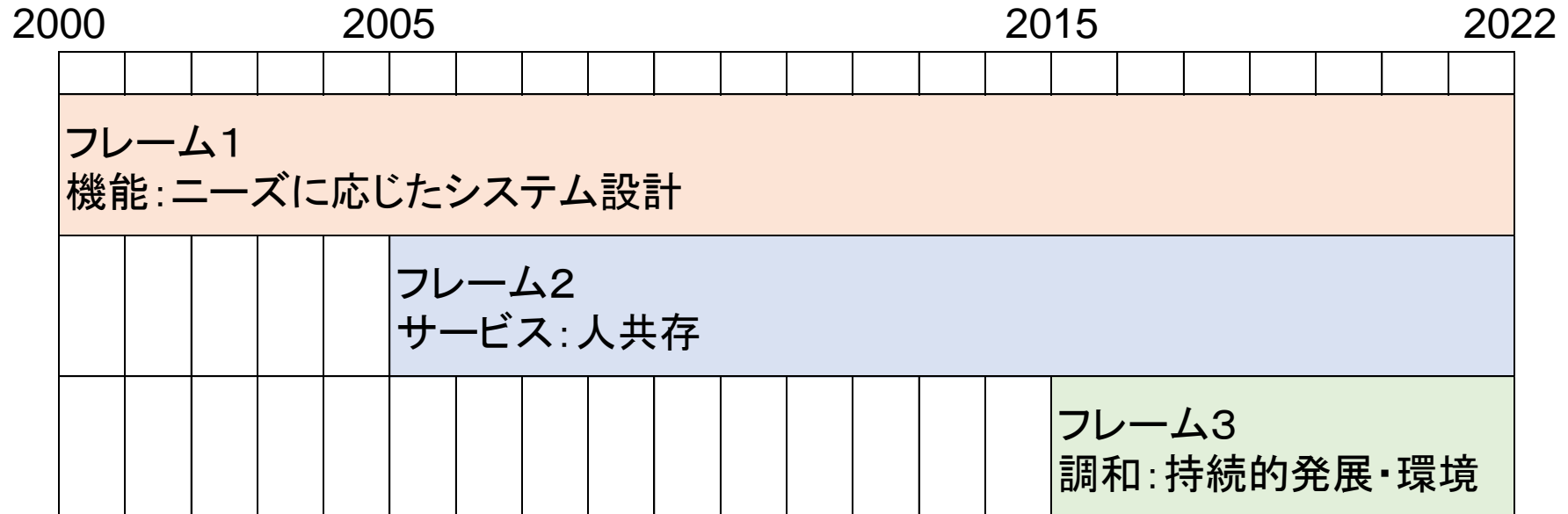
何か(実体)が存在し, 現象が存在するときに, それがどう  
いう存在で, どのようなメカニズムで現象が発現するのかを  
解明する

## Synthesis(総合, 合成)

ある機能を持つもの(実体—人工物)を実現しようとする際  
に, どのようなメカニズムとどのような属性を具備させるべき  
かを決定する

## System Synthesis (SS)

# システム・シンセシス(SS)の歩み



# SS フレーム1

機能: ニーズに応じたシステム設計(2000~)

- ニーズに応じた設計
  - 要求仕様が, **機能や動作環境**(制約条件, 境界条件, 拘束条件)として与えられる
- 不良設定問題
  - 機能や動作環境があいまいである場合がある. **外乱**✓  
**ノイズ**としてだけでは扱えない**未知環境, 無限定環境**
  - **頑健性**→**適応性**
- 設計するシステムの構造
  - 集中システム, 階層システム, **自律分散システム, 創発システム**

# 自律分散システム研究の展開

## 自律分散システム

(領域代表: 伊藤正美 (名大), 平成2 ~ 4年度)  
自律分散システムの適応機能の分析・記述

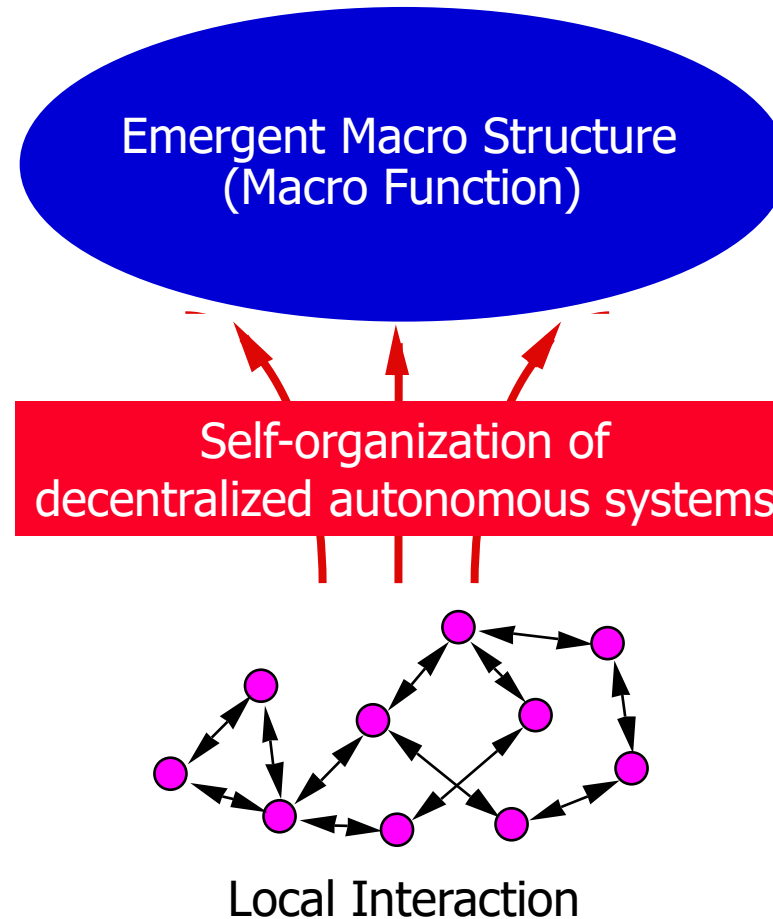


# 自律分散システム

システムを構成する個々の要素に自律性を持たせ、システムの機能の実現は要素の相互作用を通じて達成するようなシステム

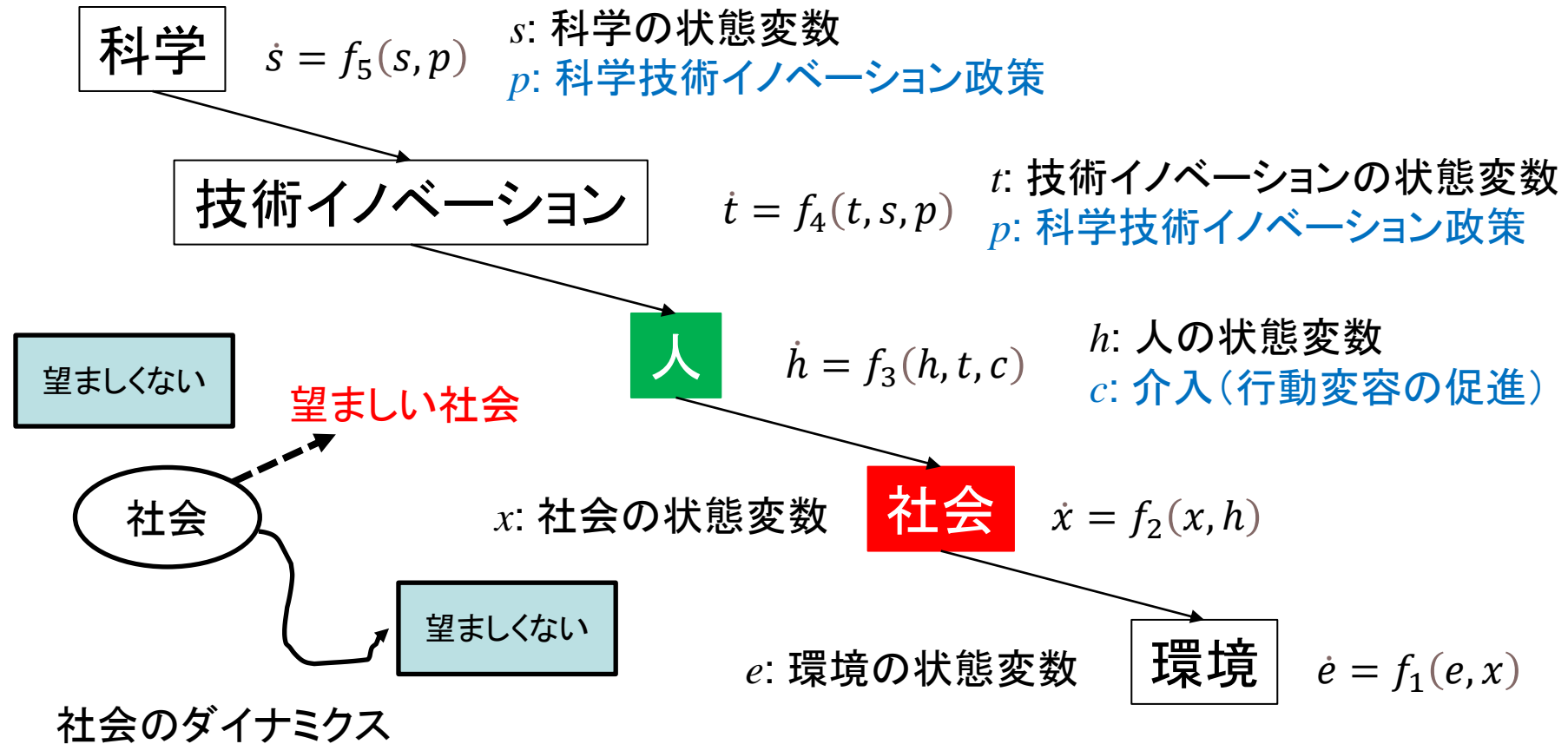
(日立製作所)

# 自律分散システムの自己組織化モデル





# リニアモデル



# 自律分散型ロボットシステム (1988-)

# 集中型から自律分散型へ

## 従来のロボット工学のアプローチ

必要なすべての機能を1台のロボットに搭載

ロボット個体の知能化／高機能化

知能：集中型アーキテクチャ

典型的手本：人間

問題点：システムの複雑化・巨大化  
信頼性の低下  
非効率的

## 新しいロボット工学のアプローチ

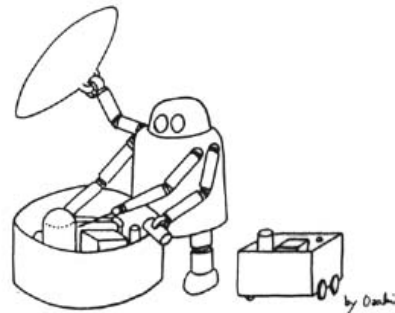
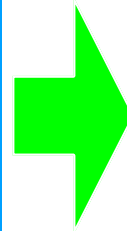
必要な機能を多数のロボットに分散化し、状況に応じて協調させる

ロボット群としての知能化  
システム全体の多機能化

知能：分散型アーキテクチャ

典型的手本：社会性昆虫（蟻）

特長：小型化・開発容易  
耐故障性  
並列処理による効率化



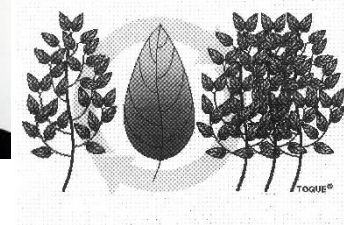
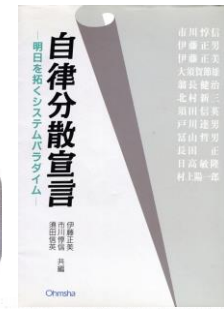
# 自律分散システム研究の展開

## 自律分散システム

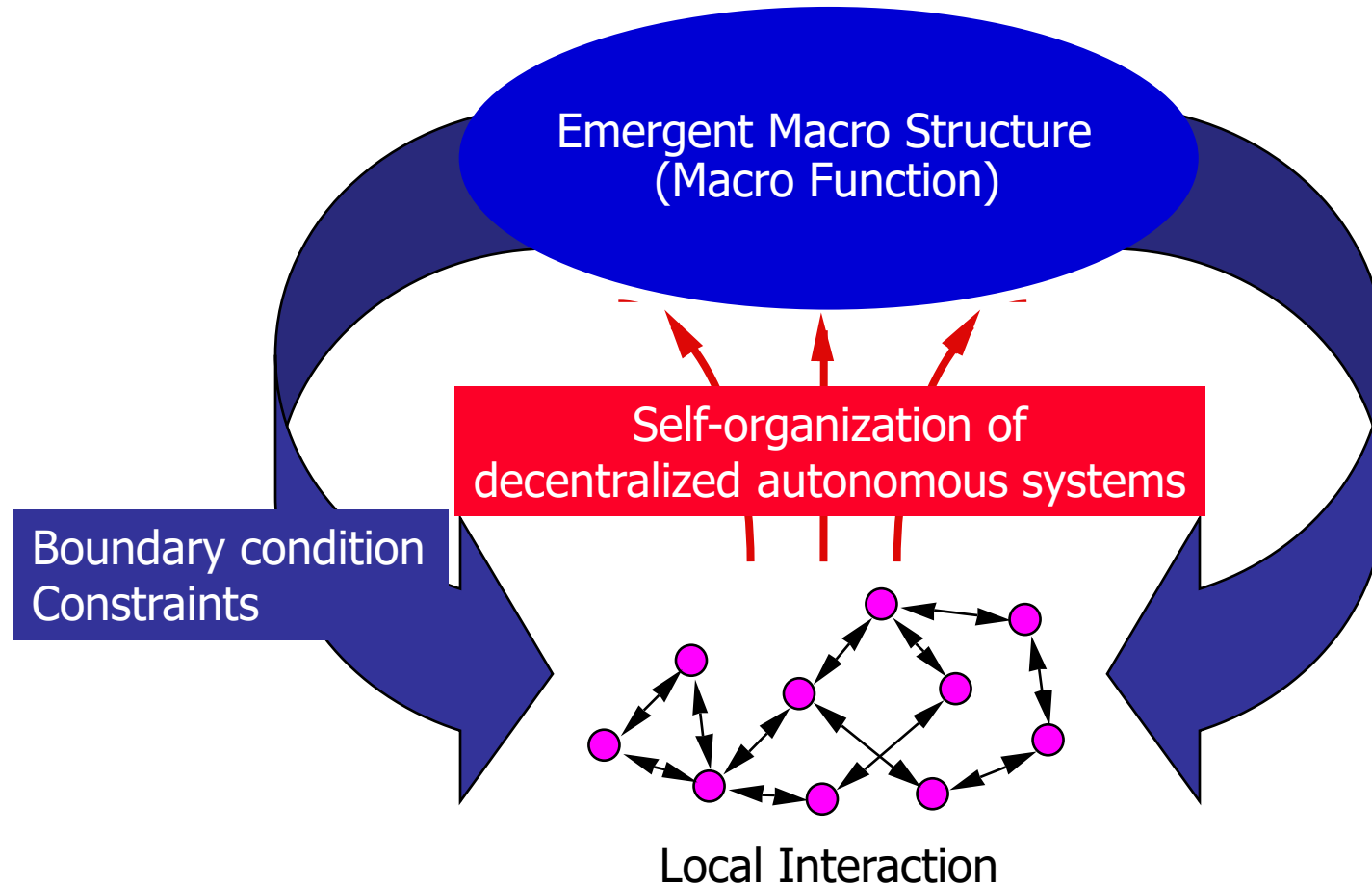
(領域代表: 伊藤正美(名大), 平成2~4年度)  
自律分散システムの適応機能の分析・記述

## 創発的機能形成のシステム理論

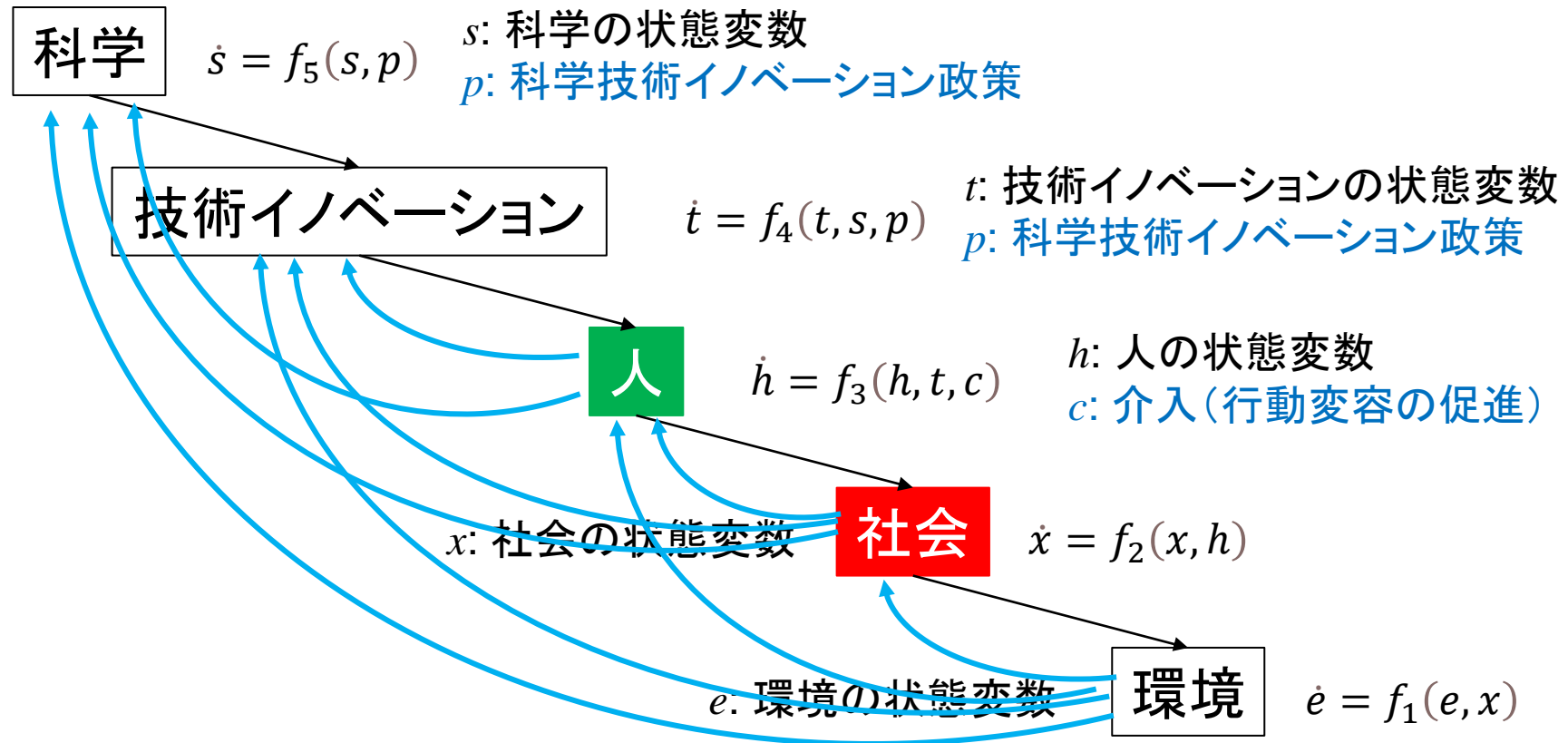
(領域代表: 北村新三(神戸大), 平成7~9年度)  
適応的設計手法



# 創発システムのモデル



# リニアモデル



# 自律分散／創発システムの設計論

- Bottom-upに拡大／拡張
  - SoS (System of Systems)
  - 相互接続・統合, 連携・制御・管理
  - 大局から局所へのフィードバック
- Top-downな設計
  - 負荷分散, 機能分散(役割分担), 空間分散
  - バランスの力学
  - 黄金比率
  - 自己学習

# 自律分散システム研究の展開

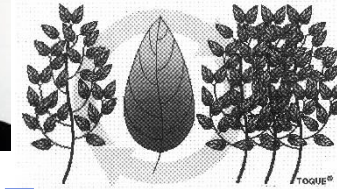
## 自律分散システム

(領域代表: 伊藤正美(名大), 平成2~4年度)  
自律分散システムの適応機能の分析・記述



## 創発的機能形成のシステム理論

(領域代表: 北村新三(神戸大), 平成7~9年度)  
適応的設計手法



## 身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現

### — 移動知の構成論的理解 —

(領域代表: 浅間 一(東大), 平成17~21年度)  
適応的運動／行動の発現メカニズムの解明







文部科学省科学研究費補助金 特定領域研究 (領域番号454)

移動知

| JAPANESE | ENGLISH |

■ ホーム

□ 移動知とは

→ 本領域の概要

→ アプローチ

→ 期待される成果

□ シンポジウム・OS・

チュートリアル等のご案内

□ 研究組織

→ 総括班

→ A 班(環境適応)

→ B 班(身体適応)

→ C 班(社会適応)

→ D 班(共通原理)

→ メンバーリスト

□ 活動

→ 活動実績

→ 研究成果

□ 求人・公募

□ リンク

□ 内部連絡



| サイトマップ | お問い合わせ |

文部科学省科学研究費補助金 特定領域研究 (領域番号454)

身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現  
- 移動知の構成論的理解 -

Emergence of Adaptive Motor Function through  
Interaction among the Body, Brain and Environment:  
A Constructive Approach to the Understanding of Mobiligence



ポスドク研究員募集中: 東京工業大学伊藤宏司研究室[求人・公募]

ポスドク研究員募集中: 東京工業大学倉林研究室[求人・公募]

2006年2月16日、ホームページをリニューアルしました

# 本領域の目指すもの



移動知



# 移動知本

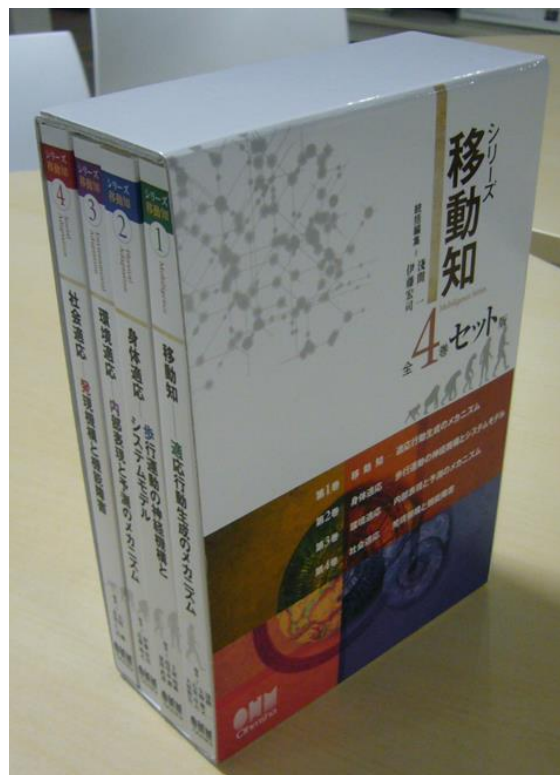
# シリーズ 移動知

統括編集: 浅間 一, 伊藤宏司

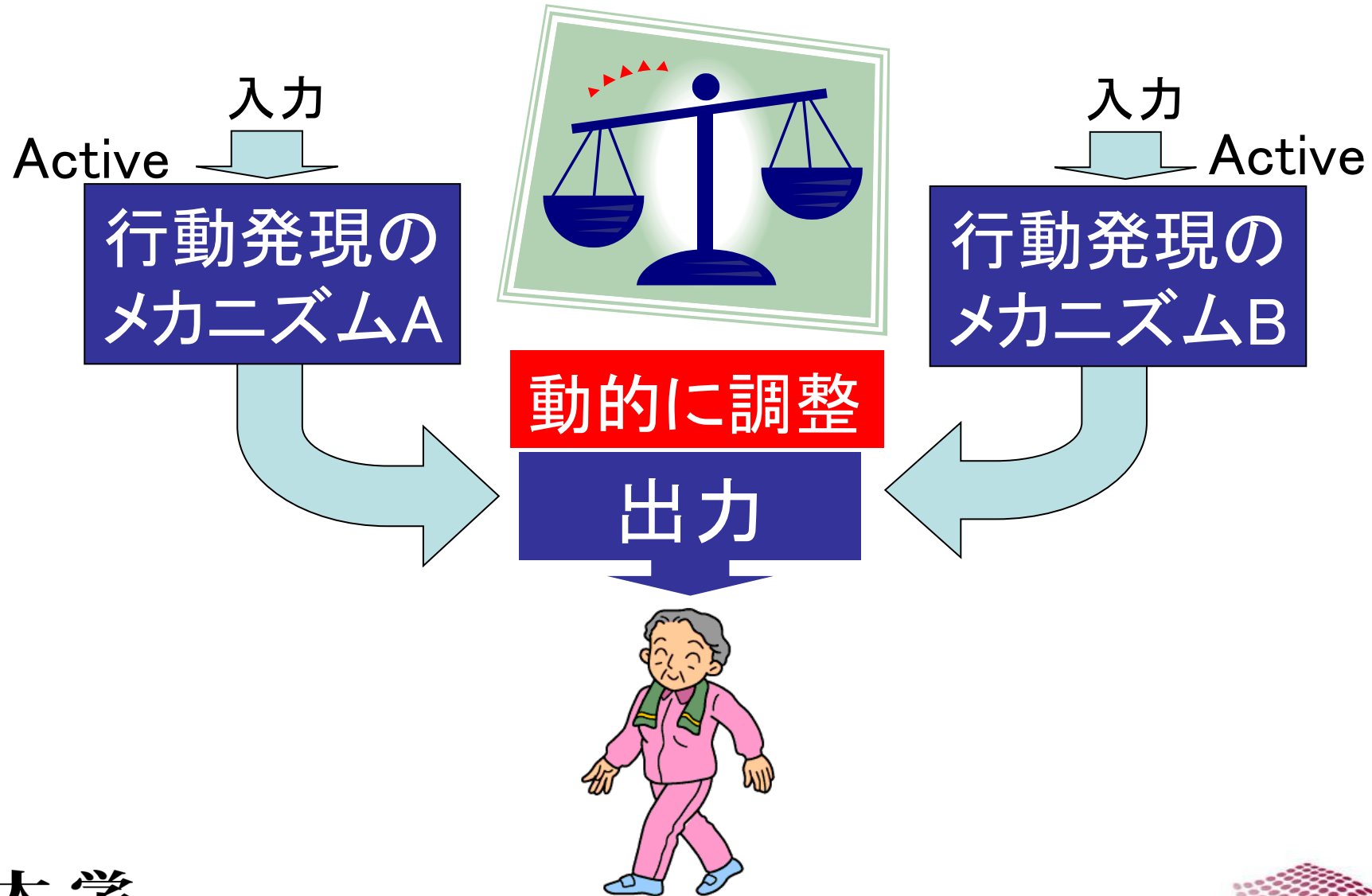
- 第1巻 移動知-適応行動生成のメカニズム
- 第2巻 身体適応-歩行運動の神経機構とシステムモデル
- 第3巻 環境適応-内部表現と予測のメカニズム
- 第4巻 社会適応-発現機構と機能障害

上製・各巻定価5,040円(税込)

(箱入セット) シリーズ移動知: 身体・環境・社会適応  
定価18,900円(税込)



# バランスの力学の概念



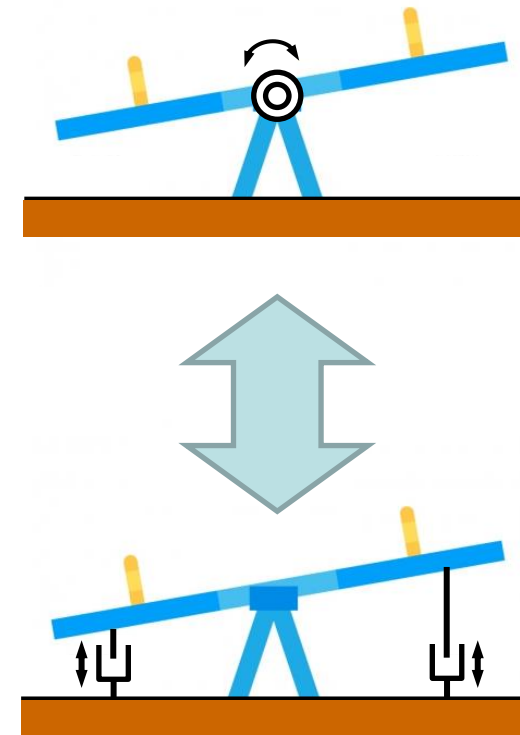
# バランスの力学

二つの力学のバランス(二元性—原論, 冗長性, トレードオフ)

- 屈筋と伸筋
- 神経回路網の興奮性と抑制性
- 応答と安定性
- 競争と協調
- 最適化と探索
- 効率とリスク回避
- 位置(速度)制御と力制御
- Feed backとFeed forward

バランスの力学の数理の必要性

- 平衡論?



# 黄金比率

## アリ(2:8, 8:2, 2:6:2)

パレートの法則:

組織全体の2割程の要人が大部分の利益をもたらしており、そしてその2割の要人が間引かれると、残り8割の中の2割がまた大部分の利益をもたらすようになる。

働きアリの法則(はたらきアリのほうそく)とは、働きアリに関する法則:  
よく働くアリ:普通に働くアリ(時々さぼる):ずっとさぼっているアリ=2:6:2

## シロアリ(9:1)

働きアリ:兵隊アリ=9:1

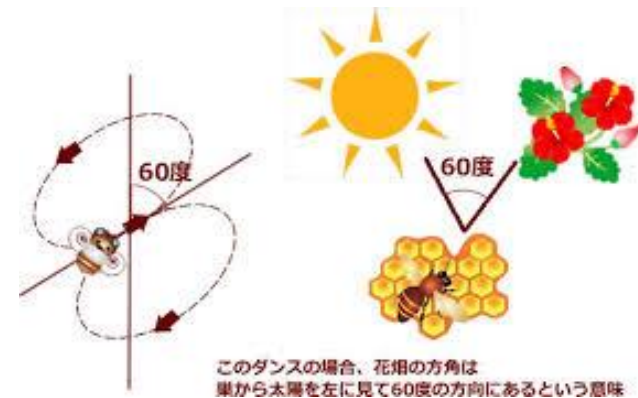


## ミツバチ(7:3) (藍 浩之先生(福岡大学))

コミュニケーションに基づく採餌

- リクルータ:7割
- スカウト:3割

多様性の維持



# ムーンショット型研究開発事業

我が国発の破壊的イノベーションの創出を目指し、従来技術の延長にない、より大胆な発想に基づく挑戦的な研究開発(ムーンショット)を推進する新たな制度

ムーンショット目標3 (PD:福田敏男先生)

- 2050年までに、AIとロボットの共進化により、自ら学習・行動し人と共生するロボットを実現
- 多様な環境に適応しインフラ構築を革新する協働AIロボット (PM: 永谷圭司先生)
- 動的協働技術



# 動的協働技術（月面インフラ構築／自然災害対応）

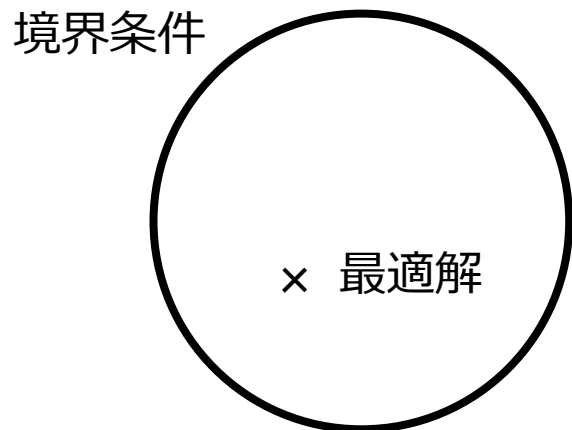
- ・ オープン自己組織化
- ・ Domain-free Physical AI
- ・ 群協働操作





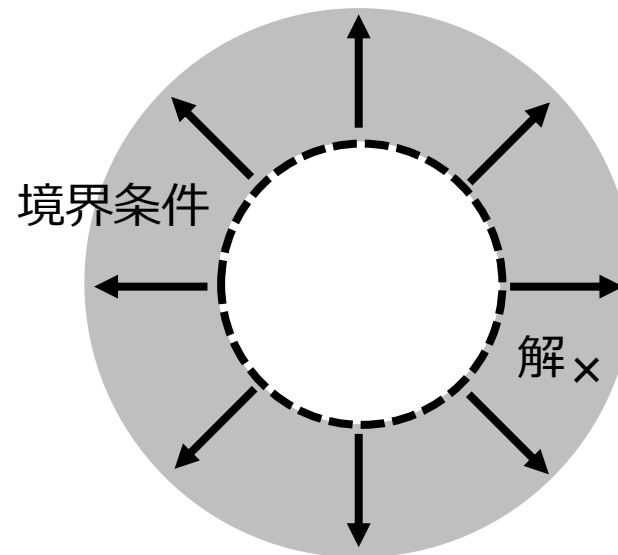
# 最適化と自己組織化

## 最適化

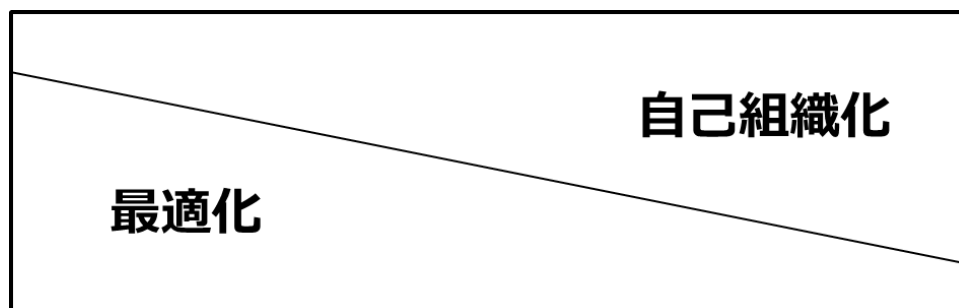


境界条件の設定 (仮設)  
(境界条件内部の探索)

## 自己組織化



境界条件の解除  
(境界条件外部の探索)



小 ← 複雑さ (環境・タスク) → 大

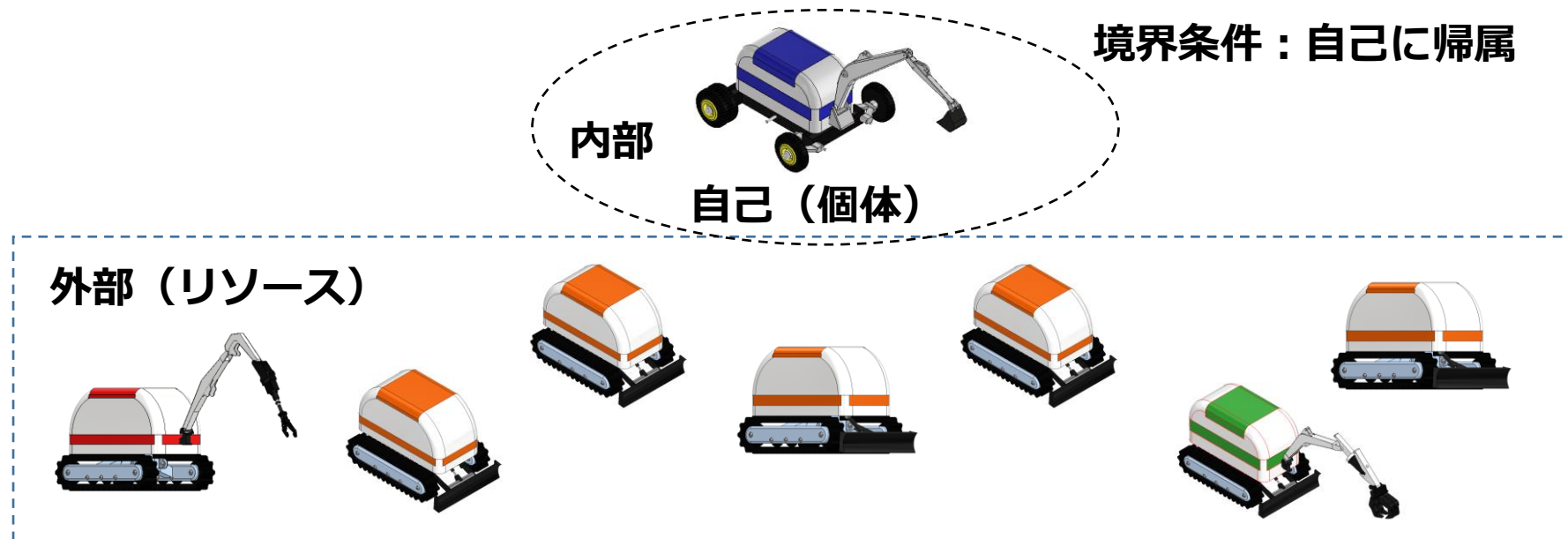
# 動的協働での基本的戦略

- **下位レベルの行動（最適化）**：自分（達）で頑張る
  - 境界条件（自己（チーム）という枠）の設定と境界条件内における行動計画・探索
  - 変動要因（環境，タスク，自己の状態）→適応
- **上位レベルの行動（自己組織化）**：外部リソースの獲得
  - 境界条件（自己（チーム）という枠）の解除・境界条件外の探索
  - **無限定要因**（環境，タスク，自己の状態）→自己組織化
    - **環境**：未知環境要因：新たな発見，想定外の環境変化（地盤形状変化）
      - 既知パラメータ：移動する盛土の位置／量，放土場の位置，建機の数
      - 未知パラメータ（作業実行に伴い入手可能な情報）：搬送する土の性質，走行する土の性質，状態の変化（柔らかい土→固い土，土→石）...
    - **ヒト**：共働・共存対象（内部状態を持つ）
    - **タスク**：新たなタスクの発生・追加
    - **自己の状態**：劣化・故障による機能低下
    - **他のロボット**：競合，コミュニケーションによる相互作用，自己拡大・縮小



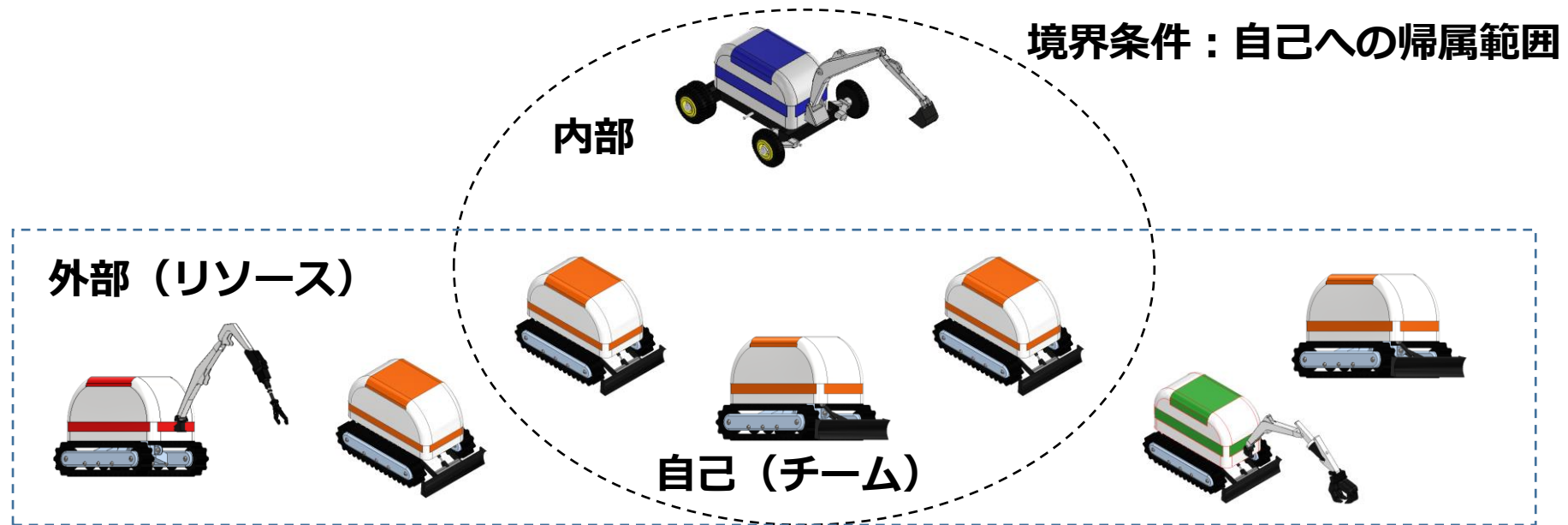
# 境界条件としての自己

- **境界条件**
  - 自己に帰属している自由度
  - 拡自行動（チームの組織化）による外部リソースの自由度の取り込み（拡大）
- **自由度が変化する数理の必要性**

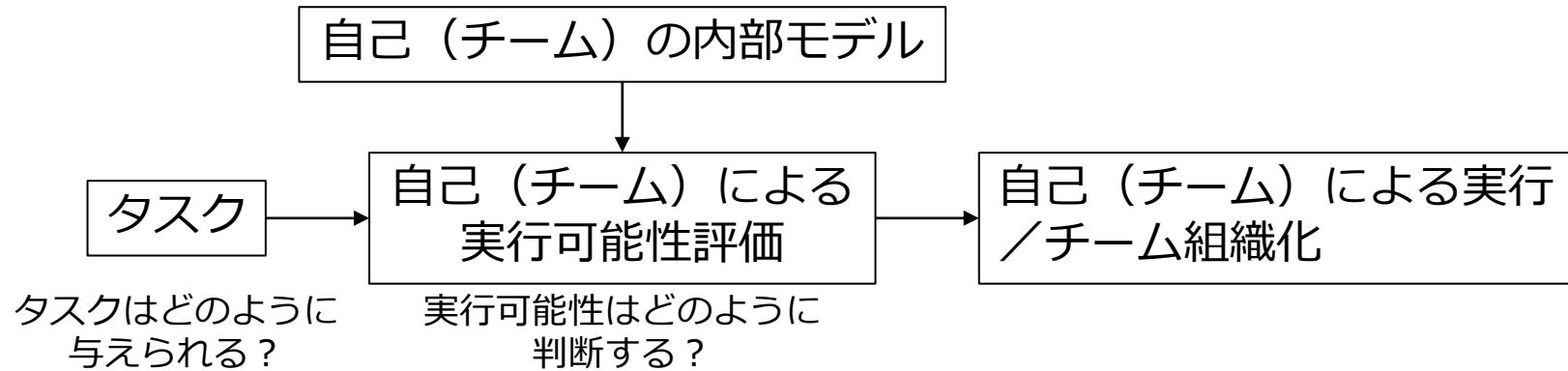


# 境界条件としての自己

- **境界条件**
  - 自己に帰属している自由度
  - 拡自行動（チームの組織化）による外部リソースの自由度の取り込み（拡大）
- **自由度が変化する数理の必要性**



- 自分（のチーム）の**能力の認知**／学習  
（自己の内部モデルの獲得）



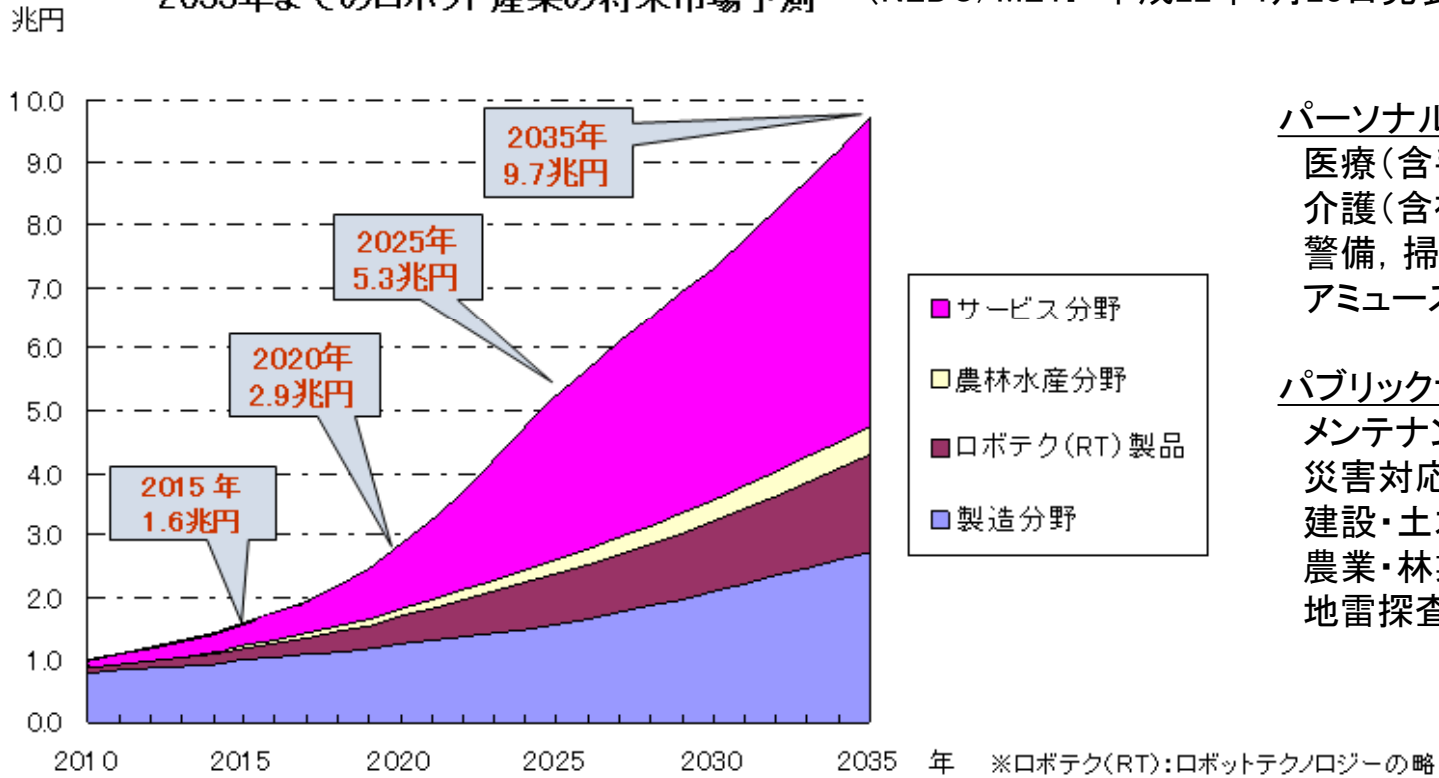
# SS フレーム2

## サービス: 人共存 (2005~)

- サービス創造
  - 適応, 誘導 (教育), 実感
- 安全・安心
- 人間道スイッチ

# 2035年に向けたロボット産業の将来市場予測

2035年までのロボット産業の将来市場予測 (NEDO/METI 平成22年4月23日発表)



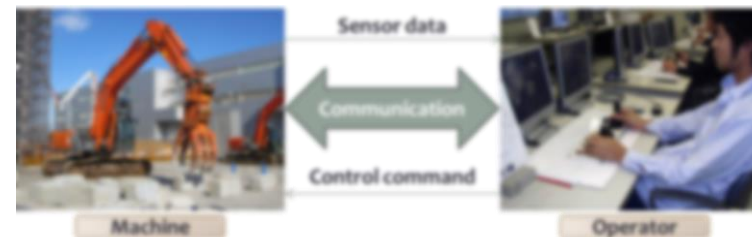
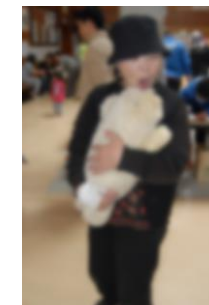
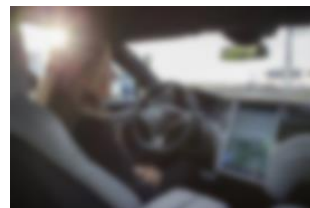
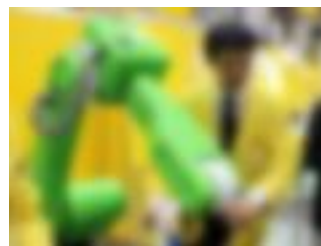
**パーソナルサービス**  
 医療(含手術, セラピー),  
 介護(含福祉用),  
 警備, 掃除, 案内, 教育,  
 アミューズメント, 娯楽, 等

**パブリックサービス**  
 メンテナンス,  
 災害対応,  
 建設・土木,  
 農業・林業,  
 地雷探査・除去, 等

製造業を始めとした現在市場が形成されている分野の成長に加え、サービス分野を始めとした新たな分野へのロボットの普及により、2035年に9.7兆円まで市場拡大し得る。

# 人共存ロボティクスが求められる場面 (開発者やユーザとのインタラクション)

- 協働ロボット
- アシストスーツ
- 手術ロボット
- 介護支援(介護者, 被介護者)
- セラピーロボット
- 遠隔操作
- 自動運転
- サービスロボット
- VR, 他



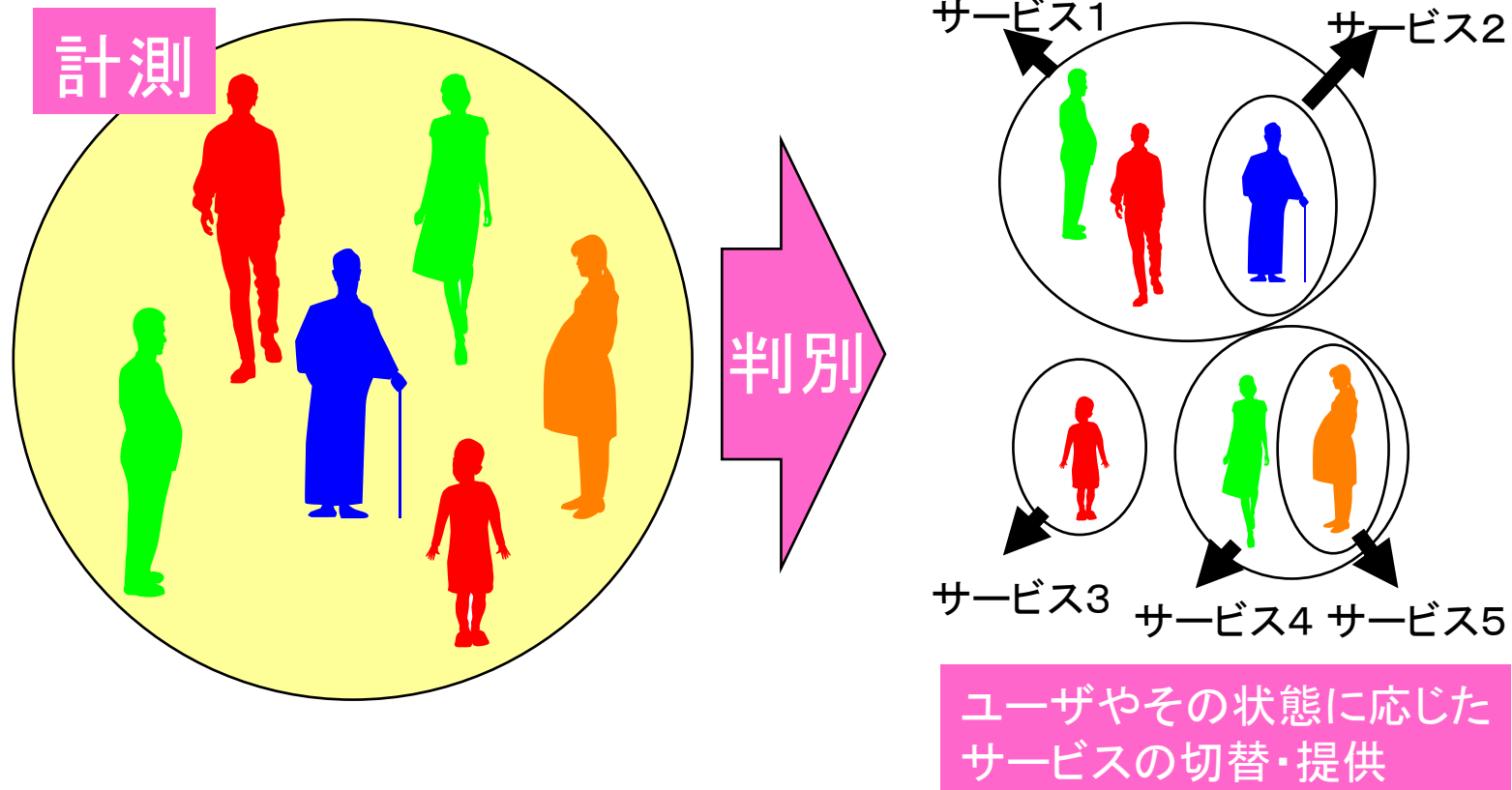


# サービス工学に求められる技術

- 適応
- 誘導(教育)
- 実感

# 人に適応したサービス提供

- 人が満足するサービスを提供するには、人が何を求めているかを知る必要がある
- しかし、人の意図を直接把握することは困難
- 意図は行動に表われると仮定する
- 行動を計測すれば、意図を推定することが可能



# サービス工学に求められる技術

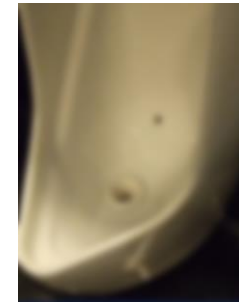
- 適応
- 誘導(教育)
- 実感

# 誘導(Induction)

- 置かれた環境によって影響を受けるヒトの価値観
- 価値観を誘導する環境設計
  - 店頭販売員, テレビショッピング, 等
- ビジネスにおけるマーケティング
  - 経験的, 事例叙述的
  - 体系化の必要性

# Affordance (Wikipedia)

- 環境が動物に対して与える「意味」のこと (James Jerome Gibson)
  - 動物と物の間に存在する行為についての関係性そのもの
    - このダンスと私には引いて開けるというアフォーダンスが存在する
    - このダンスが引いて開けるという行為をアフォードする
- 行為の可能性 (Donald Arthur Norman)
  - ユーザーインターフェース／デザイン
    - 人と物との関係性 (本来の意味でのアフォーダンス) をユーザに伝達する事
    - 人をある行為に誘導するためのヒントを示す事
  - ナッジ(nudge)
    - ひじで軽く突く, そっと後押しする
    - 消費者を特定の選択肢に誘導させる

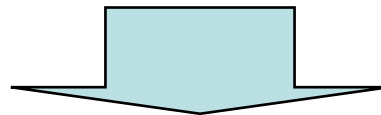


# サービス工学に求められる技術

- 適応
- 誘導(教育)
- 実感

# 実感(Realism)

- 満足を与えることを考慮するだけでは不十分
- サービスシステムがもたらし得る負の側面の低減
  - ヒューマンエラー, 倫理的に間違った判断
- 好ましくない状況の発生を防止
  - インターネットや携帯電話などの人工環境が, 子ども与える悪影響
    - 発達障害や社会適応障害
  - 仮想環境を利用したコミュニケーションにおける意思・意図の誤解
  - ブログなどでの書き込みによる心理的な負荷, 不安定な感情の起伏
  - 若者のコミュニケーション能力の低下
- 実感の欠落



サービスシステムに実感を具備させる

# 新型コロナウイルス対策のための ロボット技術のニーズと導入事例



# 感染を予防するために制約されていること

- 人同士の**接触**
- 3密
  - 密閉空間
  - **密集**場所
  - **密接**場面



ロボット技術のニーズ

新型コロナウイルスの集団発生防止にご協力をお願いします

## 3つの**密**を避けましょう!

①換気の悪い**密閉空間**    ②多数が集まる**密集場所**    ③間近で会話や発声をする**密接場面**

新型コロナウイルスへの対策として、**クラスター(集団)の発生を防止することが重要です。**  
日頃の生活の中で3つの「密」が重ならないよう工夫しましょう。

3つの条件がそろう場所が**クラスター(集団)発生のリスクが高い!**

※3つの条件のほか、**共同で使う物品**には消毒などを行ってください。

首相官邸 Prime Minister's Office of Japan    厚生労働省    厚労省 コロナ 検索

# ロボット技術のニーズ

人同士が接触せずにサービスを提供する

- 直接的ニーズ(医療)

- 延命措置, 治療
- 検査
- 患者の搬送: モニタリング・見守り
- 消毒・洗浄・汚染物処理・廃棄
- 搬送(食事, 薬)

- 間接的ニーズ

- 配達・配膳・配達・運搬・搬送(食事・薬)
- 遠隔コミュニケーション(含接客, 見守り)
- 消毒
- 検温

# 導入／実証試験の事例

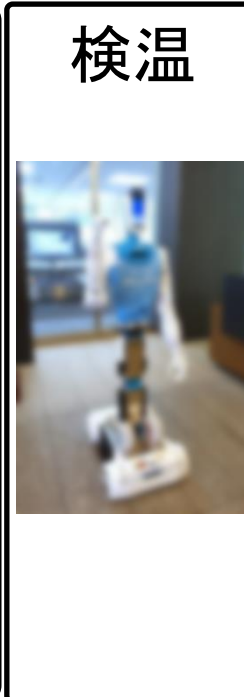
## 消毒・清掃



## 配送・配膳・陳列・搬送



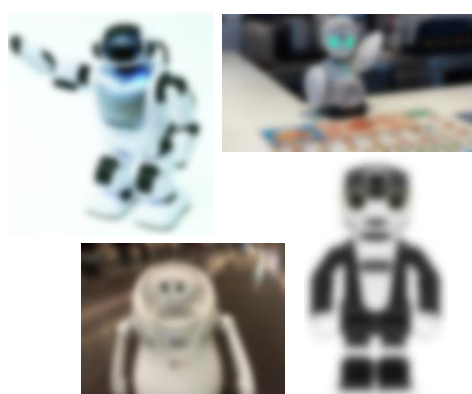
## 検温



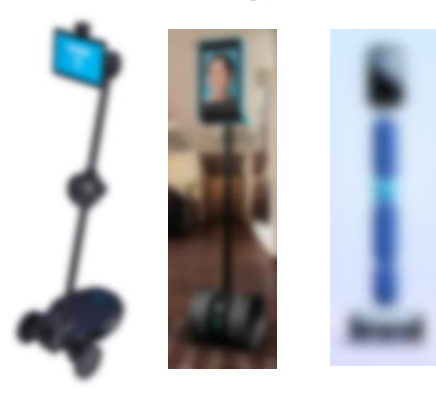
## 検査



## コミュニケーション



## 受付・接客

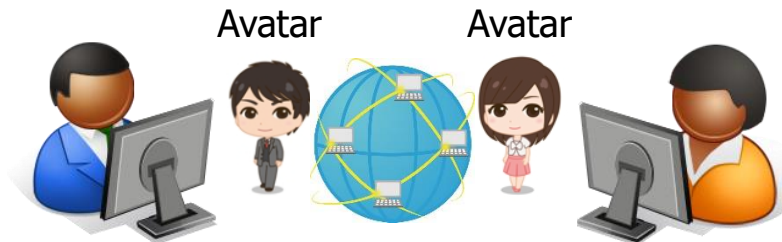


## 見守り



# 人機械共存システムで考慮すべきこと

- ヒトとシステムの関係や, ヒューマンインタフェース
- ヒトとヒトをつなぐ道具としての技術
- 誰でもどこでもつながってしまうリスク
  - 多様性の喪失
  - Open-Close: セキュリティ, プライバシー
  - メンタルヘルス
    - メンタルストレスの主要因は対人関係
    - 秋葉原通り魔事件, 木村花さんの自殺



# 人間の不完全性

- 不完全・弱点・欠点 (ヒューマンエラー, ミス)
- 欲望・本能, 攻撃・争い, 犯罪・殺人
- 矛盾した存在

# 人間道スイッチ(バルブ)

- つなぐことだけでなく切り離せることの重要性
- 接続の可制御性 (Controllability of Boundarization)
  - ネットワークから切り離せる, 隔離できる
  - 閉じこまれる(自己防衛の確保)



東京大学工学系研究科人工物工学研究センター社会連携講座

# サステイナブルなヒューマンセントリック 次世代ものづくり

- エンジニア／ワーカーのネガティブ要因
  - 肉体的ストレス
  - 精神的ストレス
- エンジニア／ワーカーのポジティブ要因
  - やる気／達成感／満足感

# SS フレーム3

## 調和：持続的発展・環境（2015～）

- 持続可能な開発目標（SDGs）
  - 2015年国連サミットで採択
  - 環境問題・温暖化対策（Carbon neutrality）
- 社会受容性
  - 安全安心
  - ELSI





# ポストコロナ社会 (With/After/Post Corona)

# 新型コロナウイルスが社会にもたらした功罪

## 功

- デジタル化 (ICT (ネットワーク) による接続)
- On-line化, On-demand化によるサービス
- 働き方改革, Diversity & Inclusion

## 罪

- 物理的・情動的インタラクションの制約
- 様々な機会 (サービスを含む) の喪失
- 健康への影響
- 多忙

# With/After/Post コロナ社会の制約

- 情動的インタラクション→一部可能, 一部制約  
→ICT(5G), デジタル技術, AIである程度は可能  
対面コミュニケーションと同等とは言えない

## 失うもの

- 場の雰囲気→コミュニケーションの手がかり
- 視線の共有→共同注意

# ノンバーバル・コミュニケーション

ジェスチャーや目の表情などが言語と同時に、何かを伝達するための手段となっている。人と人が直接かかわりあい、情報、感情などをコミュニケーションする時、ジェスチャーなどの非言語行動に負うところが多い。

この分野は言語学、文化人類学、動物行動学、心理学、コミュニケーション学、社会学などにかかわる学際的アプローチによって開拓されつつある。

## 身体の動きや顔の表情の研究

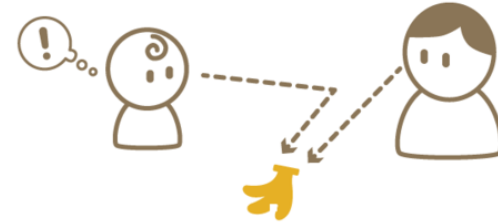
- (1) 表象(エンブレム)(yes/no, 静かに!)
- (2) 身体操作(ボディ・マニピュレーション)
- (3) 例示的動作(イラストレーター)
- (4) 情動表出
- (5) 規制的動作(レギュレータ)



W.フォン・ラフラーエンゲル:ノンバーバル・コミュニケーション(本名信行、他訳)、大修館書店、1994

照れ隠しに頭を掻く(今時、誰もしないか)、何か気が付いたとき指をパチンと鳴らすか、手の平を拳で打つ、電話をしながらしきりにおじぎをする

# 共同注意 (Joint attention)



- 共同注意とは、他者の注意の所在を理解しその対象に対する他者の態度を共有することや、自分の注意の所在を他者に理解させその対象に対する自分の態度を他者に共有してもらう行動を指す。
- ヒトにおいて、狭義の共同注意に関する行動はだいたい生後9か月頃から出現すると言われている。それは、大人がいる時に乳児が見てほしいものを指さす(指さし行動)、大人がある対象物を見てそれを乳児も見る(視線追従)、乳児がある対象に対する評価を大人の表情などを見ることで参考にする(社会的参照)などである。
- この狭義の共同注意では、乳児は、大人の行動の意図をある程度理解し、注意対象に対する態度(例:それは危ないから近づいてはいけない)を共有していると考えられている。ただし、最近では、他者の意図理解の伴わない乳児の視線の移動など、3・4か月頃に見られる、より単純な行動も広義の共同注意とされ研究されている。類似の概念として、自己と他者とその注意共有対象となるものの三者の関係を表す三項関係があり、三項関係において共同注意は達成されているとする。一方、三項関係以前の、注意共有対象を含まない自己と他者だけの1対1のやりとりは二項関係と呼ばれ、三項関係とは区別される。

# With/After/Post コロナ社会の制約

- 物理的インタラクション→制約

ロボット技術によって一部可能になると思われるが、技術的にまだほとんど不可能

## 失うもの

- 物理的接触→体性感覚
- 反応時間・間→実時間性

# フィジカル・インタラクション

- 体性感覚

**体性感覚**とは触覚、温度感覚、痛覚の**皮膚感覚**と、筋や腱、関節などに起こる**深部感覚**から成り、内臓感覚は含まない。皮膚感覚が皮膚表面における感覚であるのに対し、深部感覚とは身体内部の感覚を意味する。後者は**固有感覚**または**自己受容感覚**とも呼ばれ、筋受容器からの伸縮の情報により、身体部位の位置の情報が得られる。

[体性感覚 - 脳科学辞典 \(neuroinf.jp\)](http://neuroinf.jp)



川平法(促通反復療法)(川平和美先生: 感覚フィードバックを返すことによるリハビリ(脳機能の回復))



## No lifting Policy-持ち上げない看護・抱えあげない介護- 介護や看護の腰痛予防対策を！！

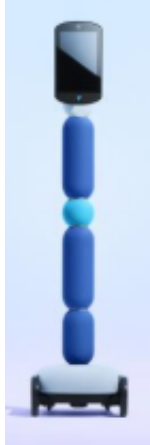
ノーリフト®とは、オーストラリア看護連盟(ビクトリア州)が看護師の腰痛予防対策のために1998年頃から提言したもので、危険や苦痛の伴う、人力のみの移乗を禁止し、患者さんの自立度を考慮した福祉用具使用による移乗介護を義務付けています。これが「ノーリフティングポリシー」です。しかし、看護や介護現場で提唱していくのに“ノーリフティングポリシー”と言うのがながったため次第に「ノーリフト」が合言葉となっていきました。

日本でも看護師・介護労働者の腰痛が多発しています。2012年に日本ノーリフト協会が行った調査においても看護や介護についてから腰痛を経験している人が72%以上となっていました。

安全で安心な看護・介護を提供するには、病院や施設で患者さんの状態に合わせて福祉用具を有効に活用し、介助者の腰痛予防にも取り組むことが不可欠です。



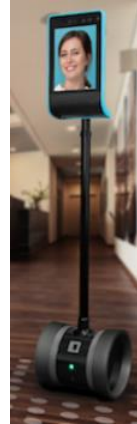
# アバターロボット



Newme  
(avatarin)



オムニロボ  
(ISO総合研究所)



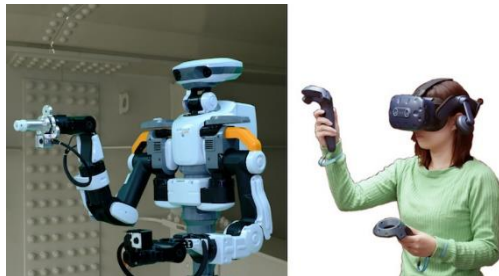
Double 3  
(テックファームHD)



Ugo  
(Mira Robotics)



Temi  
(hapi-robot)



アバターロボット  
(川田テクノロジー)



JET  
(日本航空)



ホンダ  
(アバターロボット)

# サイバネティックアバター

2050年までに、人が身体、脳、空間、時間の制約から解放された社会を実現



# フィジカル・インタラクション

- 体性感覚
- ボディ・タッチ



ボディタッチは相手との距離感を縮める方法

<https://successbeginstoday.org/topics/32/>



川平法(促通反復療法)(川平和美先生: 感覚フィードバックを返すことによるリハビリ(脳機能の回復))

# オキシトシン

## (愛情ホルモン／癒しホルモン)

人と人との肉体的な接触や、簡単なボディタッチでも分泌されるというこのオキシトシン。IT革命の副作用で、「現実(リアル)=オフライン」での触れ合いの機会がどんどん減少して、触るものといえば「キーボードかスマホ画面」という、21世紀ニュータイプなわれわれ現代人は、明らかに「オキシトシン不足」になりやすい状況にあります。



NHK ガッテン！「痛み & 認知症に効く！「癒やしホルモン」の驚きパワー」2016年6月1日  
<https://www9.nhk.or.jp/gatten/articles/20160601/index.html>

# 反応時間・間 実時間性

# 身体意識

## 運動主体感

Sense of Agency (SoA)

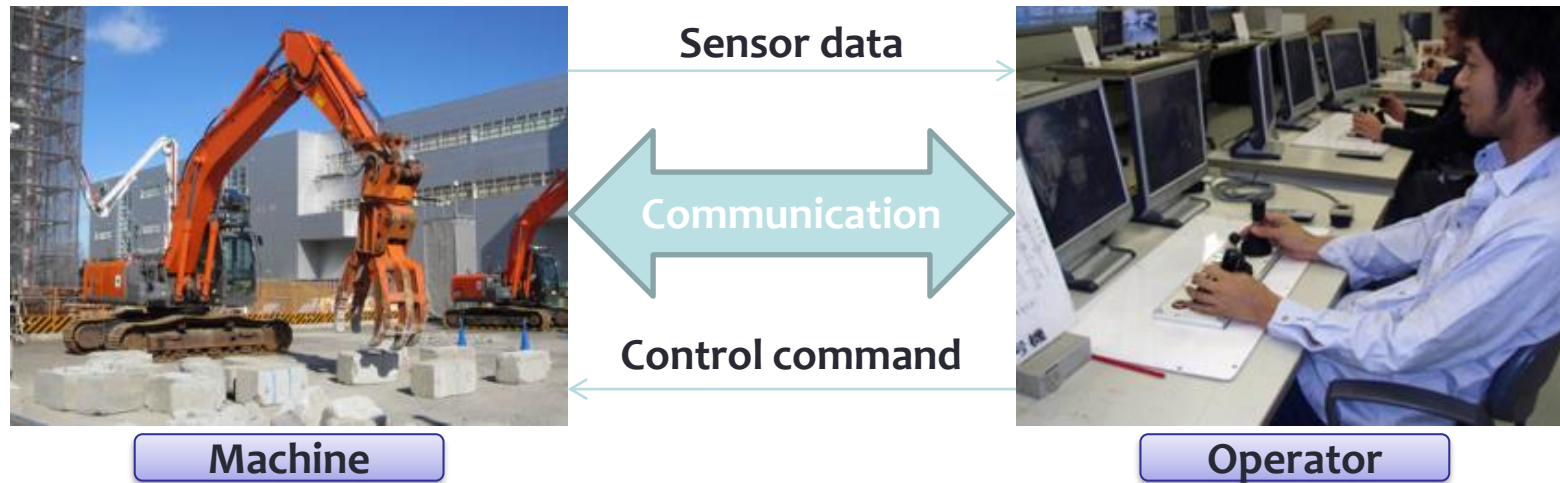
自己の身体運動の主体が自分であるという感覚

## 身体保有(保持)感

Sense of (Body) Ownership (SoO)

自己の身体が自分のものだという感覚

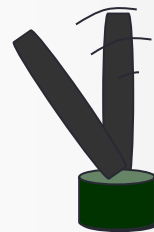
# 遠隔操作における時間遅れ



# 運動主体感 (SoA: Sense of Agency)

- 自己の身体運動の主体が自分であるという感覚
  - 脳内で生起
  - 主体の能動的運動に関連

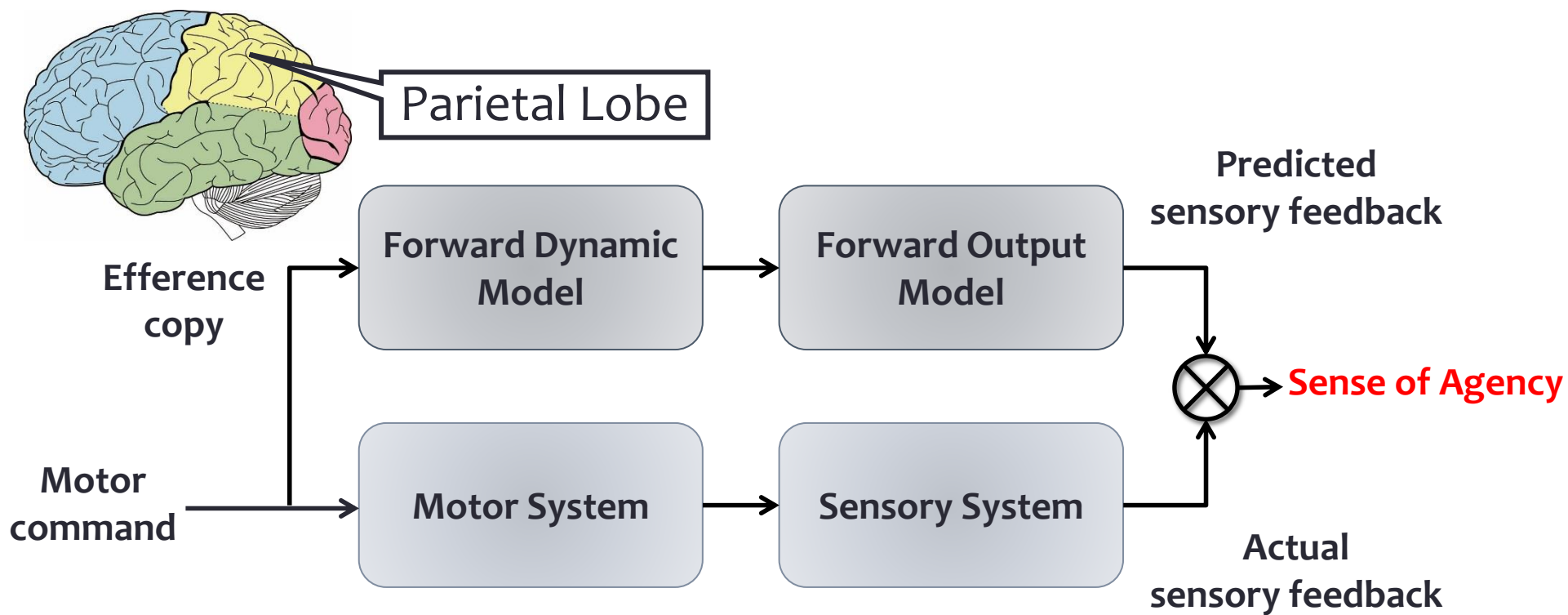
[Farrer 2002]



動かしたのは  
自分じゃない



# コンパレータ(フォワード)・モデル

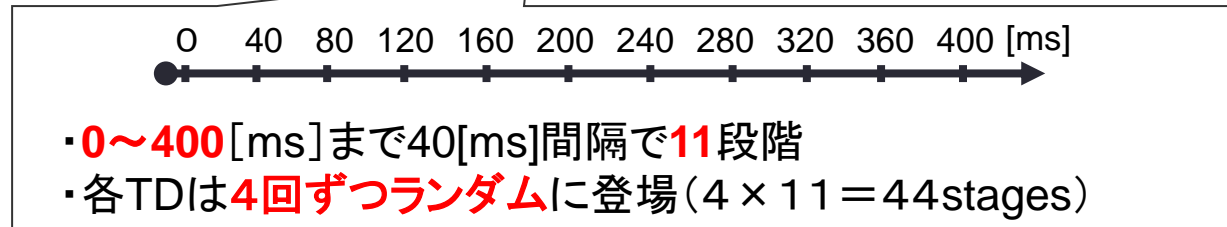
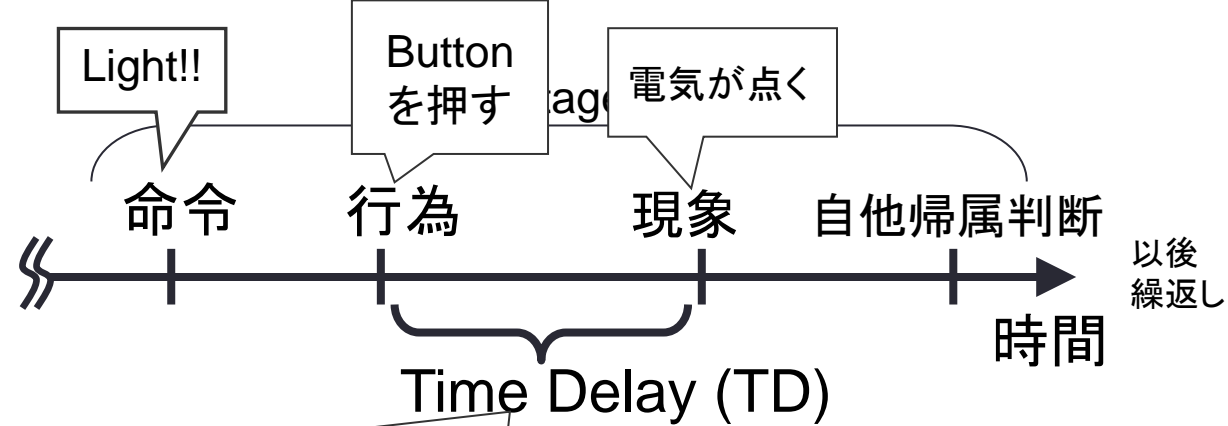
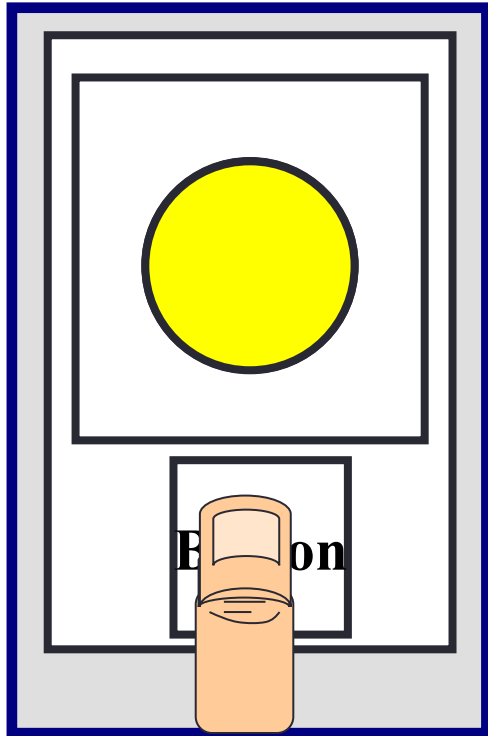


(Blakemore, 2003)

Difference is small: Motion is attributed to “self”  
Difference is large: Motion is attributed to “others”

# 実験方法

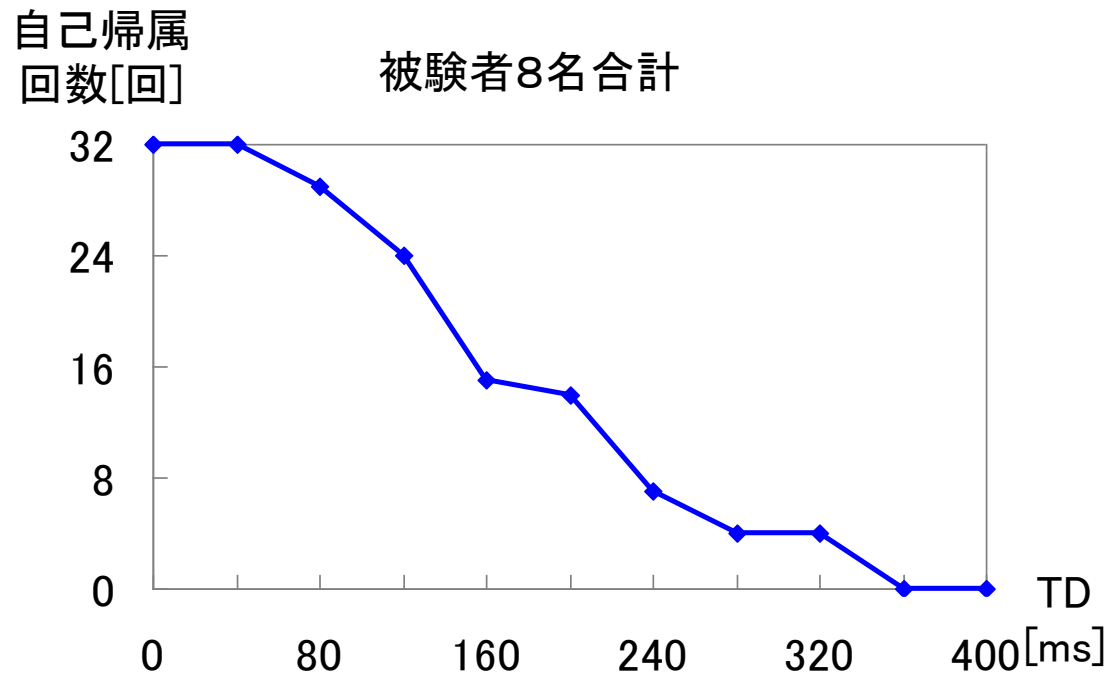
## 時間遅れと自他帰属性の関係を調べる実験



自他帰属の判断:

- 自分が光を点けたと感じたか
- 自分で光を点けた感覚がないか

# 実験結果



- ・TDが大きくなるほど自己帰属回数は下がる
- ・0から400[ms]の間でロジスティックな形(逆S字型)になる

# 新型コロナウイルス対策ロボット技術

- 課題
  - 技術的課題
  - 社会的課題
  - 科学的課題

# 新型コロナウイルス対策ロボット技術

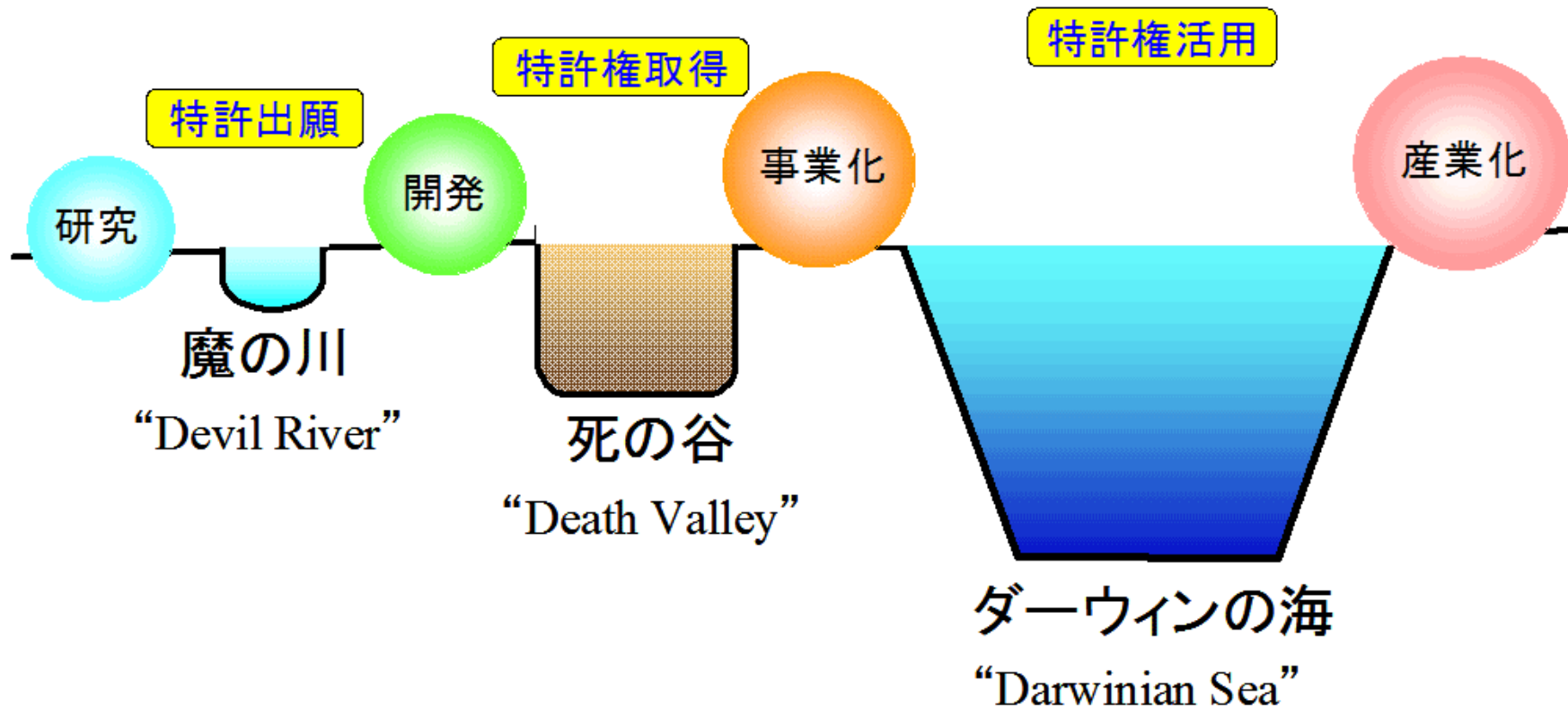
- 課題
  - 技術的課題
    - 人とのインタラクション
    - 遠隔操作性と自律性
  - 社会的課題
  - 科学的課題

# 新型コロナウイルス対策ロボット技術

- 課題
  - 技術的課題
  - 社会的課題
    - 実用化・事業化
    - 安全安心
    - ELSI
  - 科学的課題

# 研究開発から社会普及まで

## 魔の川 死の谷 ダーウィンの海



[http://www.sangaku.nagoya-u.ac.jp/ipo/04\\_kiso/jittai.html](http://www.sangaku.nagoya-u.ac.jp/ipo/04_kiso/jittai.html)

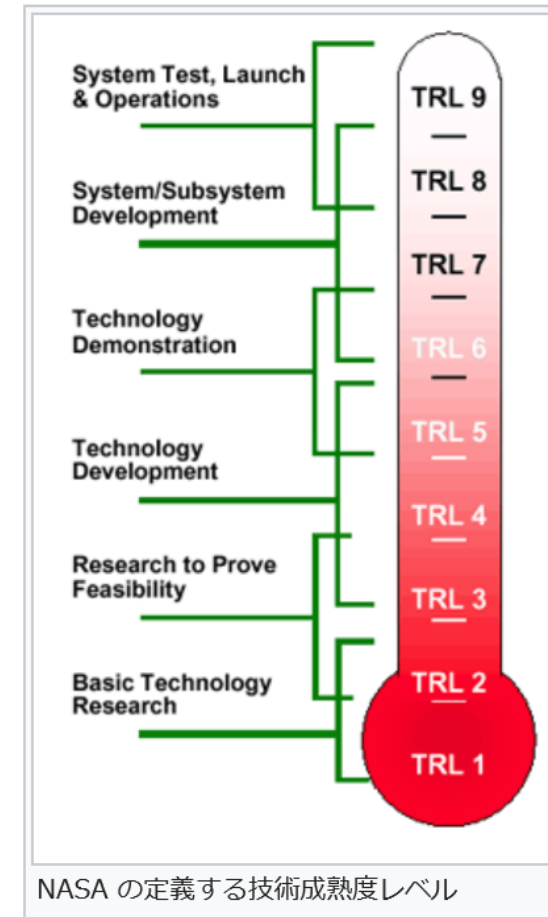
# 技術成熟度レベル

## TRL: Technology readiness levels

(Wikipedia)

### NASAによるTRLの定義

- Level 1 基礎理論の着想段階
- Level 2 技術要素の適応、応用範囲の明確化
- Level 3 技術実証のデモンストレーション(Proof of Concept)この段階から、実証試験等を行い検証を始めていく
- Level 4 ラボレベルでの実証
- Level 5 シミュレート及び実空間での実証
- Level 6 地上でのシステムとしての技術成立性の確認
- Level 7 宇宙空間でのシステムとしての技術成立性の確認
- Level 8 システムの運用テスト、認証試験
- Level 9 最終段階、実運用

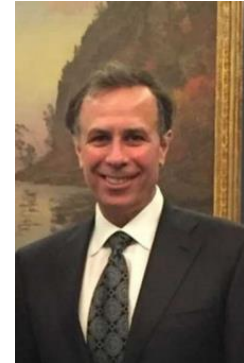




# Eco-system

ムーンショット目標1&目標3 国際シンポジウム

Dimitri Kusnezov (US Department of Energy,  
Office of Science)



- 利用者は誰か
- 産業界との連携
- Co-design
  - Co-creation, Inclusive, Narrative, DevOps

# 新型コロナウイルス対策ロボット技術

- 課題
  - 技術的課題
  - 社会的課題
    - 実用化・事業化(ヒトの理解)
    - 安全安心
    - ELSI
  - 科学的課題

# 安全・安心とは

安全

もの:技術 ?

安心

人:心理

受容できないリスクがないこと

[ISO/IEC Guide 51 : 1999]

報告:工学システムに対する社会安全目標の基本と各分野への適用  
(日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会合同工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会)

受容するのは, 人 / 社会

認知心理学 / 社会心理学的アプローチも重要

# ALARPの考え方

## As Low As Reasonably Practicable

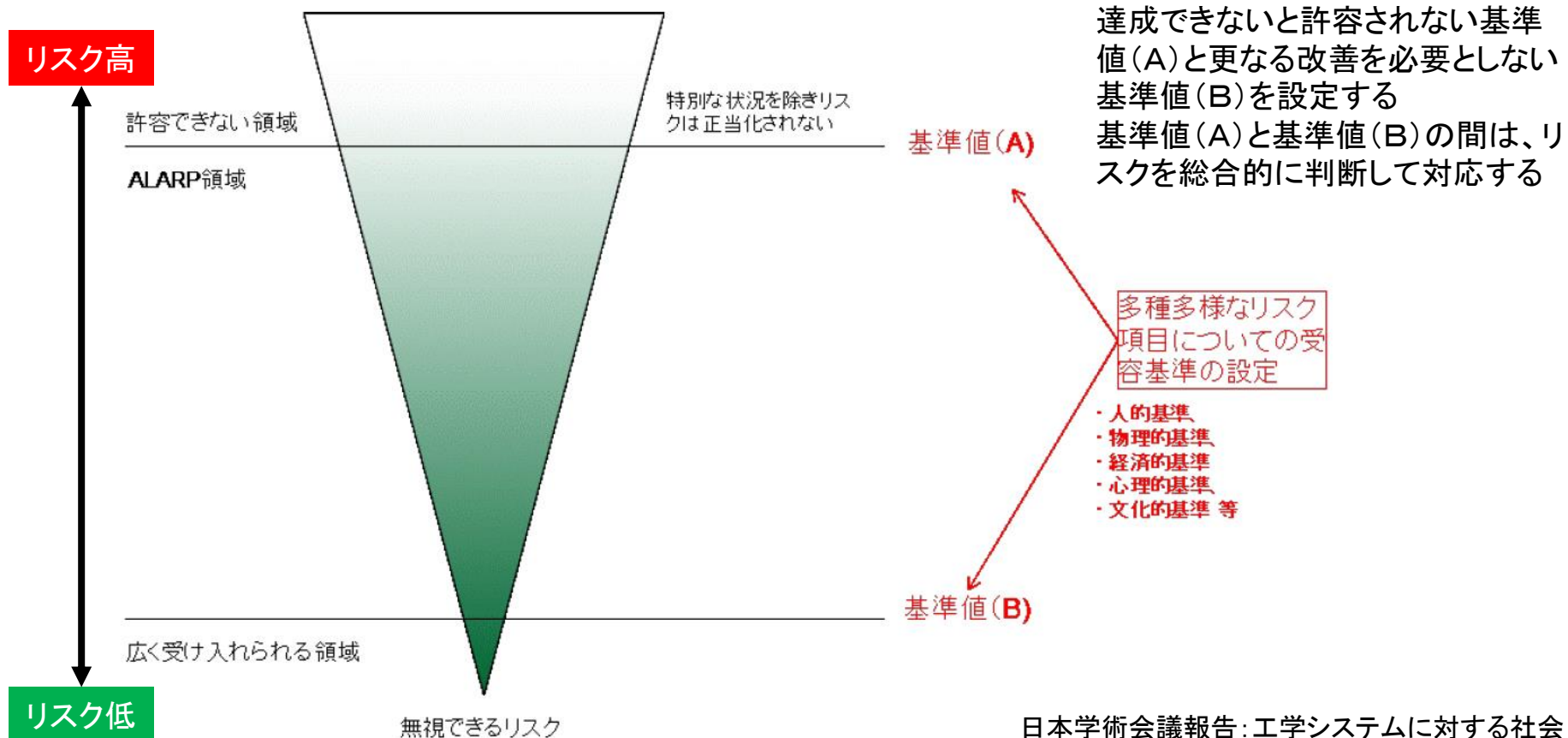


図1 安全目標の基本概念

日本学術会議報告:工学システムに対する社会安全目標の基本と各分野への適用, 2017

# 新型コロナウイルス対策ロボット技術

- 課題
  - 技術的課題
  - 社会的課題
    - 実用化・事業化(ヒトの理解)
    - 安全安心
    - ELSI
  - 科学的課題

# 倫理

- 人道的視点・人権・平和
- セキュリティ
- プライバシー
- デュアルユース, 安全保障

# ロボット倫理学Roboethics (Wikipedia)

- ロボット倫理学(ろぼっとりんりがく)とは、ロボットに関する倫理的問題を扱う、応用倫理学の一分野である。英語ではrobot ethicsまたはroboethicsと呼ばれる。「ロボット」という言葉で指される対象の範囲は明確ではないが、ロボット倫理学においては自律的機械の他にも、ドローンなどの遠隔操作される機械、いわゆる「ボット」のようなソフトウェアエージェント、パワードスーツなども議論の対象にされている。
- 現在、ロボット技術の高度な発展に伴い、医療ロボットや軍事ロボットのように人の生死に直接的に関わるロボット、家事ロボットやペットロボットのように一般市民の生活に密着したロボットが多く現れており、ロボットが人間や社会と関わる場面、そして与える影響は大きくなっている。こうした状況を背景にロボット倫理学は、ロボットとロボット工学に特有の倫理的な問題を扱う応用倫理学の一分野として誕生し、発展してきた。
- 最初にroboethicsという言葉を使ったのは、イタリアのロボット工学者ジャンマルコ・ヴェルジオ(Gianmarco Veruggio)である。彼は2000年にロボット工学と社会との関わりについて研究するためにScuola di Roboticaという協会を設立し、2002年に「ロボット倫理学Roboethics」という言葉を作り、その推進を提唱した[1]。2004年には彼が議長となりイタリアのサンレモでロボット倫理学の最初の国際会議First International Symposium on Roboethicsが行われた。
- ロボット倫理学が扱う話題は戦争における無人機や自律型兵器の使用の是非、コンパニオンロボットが人間の心理や人間同士の関係に与える影響、ロボットによる情報の収集とプライバシーの問題などがある[2]。特に戦争におけるロボット兵器の使用は、遠隔操作される無人爆撃機がアフガニスタンやイラクで使用され、多くの付随的損害を生み出していることや、アメリカ・イスラエル・イギリス・韓国などがさらに人間の監督・操作を要しない自律的なロボット兵器の開発を進めていることもあり、多くの関心を引いている[3]。

# その他のロボット倫理に関する議論

- ・ 日本工学アカデミー
  - 人と機械の共生社会のデザイン（リーダー：萩田紀博先生）
- ・ 内閣府ムーンショット型研究開発制度
  - ELSI分科会（分野横断）
- ・ 科研費新学術領域研究「人間機械共生社会を目指した対話知能システム学」（代表：石黒浩先生）
  - A04班人間機械社会規範研究グループ「対話知能システムの研究開発及び社会実装のための法社会規範の研究」



# SFプロトタイピング

- SFを通じた未来予測を行い、未来に向けたビジョンを探究する手法
- 現実の科学技術をベースとしながら、虚構であるSFの発想で未来シナリオを予測する

<https://adv.asahi.com/keyword/13672815.html>

# クララとお日さま (カズオ・イシグロ)

- 社会はディストピア
- AF (Artificial Friend): 善
- 人間: 欠点のある存在



# アフター・ヤン (SF映画)

監督 : Kogonada

人型ロボットがベビーシッターを務めるのが当たり前になった世界。ジェイクもまた娘(ミカ)の子守をロボット(ヤン)に任せていた。ところが、そんなある日、ヤンが突然動かなくなってしまった。もはや家族同然の存在となっていたヤンを救うべく、ジェイクは様々なアプローチを試みるが、その過程で「人間とは何か。人間と機械の違いはどこにあるのか」という問題に直面する。

<https://ja.wikipedia.org/wiki/アフター・ヤン>



# 法規制

- 規制緩和, 特区
- 規制強化(市場創出)
- 認証(安全認証等)
- 安全保障

# ロボット新戦略

## アクションプランー分野横断的事項④ ロボット関連規制改革の実行

- ◇ ロボットの活用を前提とした規制緩和及びルール整備の両面からバランスのとれた規制改革を推進。
- ◇ **ロボット革命イニシアティブ協議会を中心に随時、課題を整理**。政府の規制改革会議とも連携し、関連する諸制度を俯瞰した総合的な改革を実行。**ロボットバリアフリー社会**を構築。

### ◆ ロボットの利活用を支える新たな電波利用システムの整備(電波法)

(遠隔操作や無人駆動ロボットで使用する電波の取扱い(既存無線システムとの周波数共用ルール等、簡素な手続き))

→**2016年度までに要求条件の整理及び技術的検討を実施した上で、必要な措置を順次実施。**

### ◆ 新医療機器の承認審査迅速化(医薬品医療機器等法)

(患者の負担軽減等が期待される手術支援ロボット等、ロボット技術を活用した新医療機器の取扱い)

→承認審査の迅速化を図り、新医療機器については、**標準的な総審査期間(優先審査品目では10カ月)に処理できる割合を、2018年度に8割へ引き上げ。**

### ◆ 介護関係諸制度の見直し

(**現行3年に1度**となっている介護保険対象機器の追加手続きの弾力化(技術革新に対応できる要望受付・検討等))

→2015年より、**介護保険の給付対象に関する要望の随時受付**や**新たな対象機器の追加を随時決定。**

### ◆ 道路交通法・道路運送車両法

(搭乗型移動支援ロボットの公道走行)

→これまでの道路運送車両法に基づく基準緩和制度の活用に加え、**2014年中実施予定の「構造改革特区評価・調査委員会」の評価結果を踏まえて、2014年に創設された「企業実証特例制度」の活用も含め、搭乗型移動支援ロボットの取扱いについて検討していく。**

### ◆ 無人飛行型ロボットのためのルール作り(航空法等)

(災害現場等での利用に期待が高まる無人飛行型ロボット(UAV)の具体的な運用ルール)

→大型無人機について、国際民間航空機関(ICAO)で**2019年以降に想定されている国際基準改定に参画しつつ、併せて国内ルール化。**小型無人機に関して運用実態を把握し、関係法令等の整備を検討。

### ◆ 公共インフラの維持・保守関係法令

(ロボットの効果的・効率的な活用方法(目視等の人間を前提とした点検作業におけるロボット活用に関するルール))

→**2016年度までに各種ロボットの現場検証・試行、評価**を通じて、ロボットの有効活用方策を検討。その結果に基づきロボット活用を進める分野において、順次適用。

# ロボット法研究会

- 組織
  - 情報ネットワーク学会
  - 主催者 新保史生(慶應義塾大学教授)
- 時期
  - 2016年5月発足, 5-6月で3回のシンポジウム開催
- 内容
  - ロボット法原則
    - 人間第一の原則, 命令服従の原則, 秘密保持の原則, 利用制限の原則, 安全保護の原則, 公開・透明性の原則, 責任の原則

内閣府:人工知能と人間社会に関する検討の国内外の動向, 人工知能と人間社会に関する懇談会, 2016

36

# 影(社会への悪影響)

# 科学技術と社会

## 日本学術会議

- 科学と社会委員会
- 科学技術の光と影

STS (Science and Technology in Society) Forum

JST RISTEX (社会技術研究開発センター)

JST CRDS (研究開発戦略センター)

- 戦略イニシアティブ. 全体観察による社会的期待の  
発見研究



# 人工知能と人間社会に関する検討の国内外の動向俯瞰

## 国外の関連する取組み

### AI100

- ・スタンフォード大
- ・長期的にAIが社会にもたらす影響の調査
- ・2014~

### Future of Humanity Institute (FHI)

- ・オックスフォード大
- ・AIや気候変動等の人類存続のリスクを扱う、哲学者や倫理学者から成る組織。
- ・2005~

### Centre for the Study of Existential Risks (CSER)

- ・ケンブリッジ大
- ・AIや気候変動等の人類存続のリスクを扱う、哲学者、物理学者、コンピュータ科学者等から成る組織。
- ・2012~

### 米国の取組み

- ・米国政府（科学技術政策局）
- ・AIがもたらす利益とリスクに関する4つのワークショップの開催と、AIによる公共サービス改善のための政府機関横断型ワーキンググループの発足。
- ・2016~

### RoboLaw

- ・EU
- ・欧州での新興ロボット技術の規制
- ・2012~2014

### Future of Life Institute (FLI)

- ・NPO（米国）
- ・AI, バイオナノテクノロジー, 核兵器, 気候変動の危険性を扱い、研究助成や啓蒙活動等を行う。
- ・2014~

### Google AI ethics board

- ・Google
- ・AlphaGoを開発したDeepMind買収時に、DeepMind側から、AIの暴走や悪用を阻止するための倫理委員会の設置を要求され、Googleが応じた。
- ・2014~

### Machine Intelligence Research Institute (MIRI)

- ・NPO（米国）
- ・Strong AI（汎用AI）の開発における安全性に関する研究
- ・2000~

### OpenAI

- ・NPO
- ・人類に利益をもたらすAIオープンソースの開発・促進。イーロン・マスクが共同代表を務める。金銭的見返りではなく、人類全体の利益を追求。
- ・2015~

### Digital Economy Policy

- ・OECD
- ・社会のデジタル化への対応
- ・2017~2018

## 国内の関連する取組み

### 人工知能学会倫理委員会

- ・人工知能学会
- ・人工知能技術と社会との関わりを広く捉えて議論し、社会に適切に発信
- ・2014~

### 社会におけるAI研究会

- ・人工知能学会の分科会
- ・AIの研究成果の社会実装促進、安全性や生活の利便性向上を議論
- ・2006~

### Acceptable Intelligence with Responsibility (AIR)

- ・有志による活動
- ・人間・AI融合時代の社会の制度や倫理等について議論
- ・2014~

### AI社会論研究会

- ・有志による活動
- ・人工知能が社会に与える影響について議論
- ・2015~

### ロボット法研究会

- ・情報ネットワーク法学会
- ・「ロボットをとりまく人間の保護と責任」として法的課題を概観
- ・2016年5月~

### AIネットワーク化検討会議

- ・総務省
- ・AI研究開発原則、倫理・法律、プライバシー、共存の在り方を検討
- ・2015~

### 次世代人工知能技術社会実装ビジョン

- ・NEDO
- ・AI関連技術・社会実装の予測。5年後、15年後、20年後を予測
- ・2015

### CPSによるデータ駆動型社会の到来を見据えた変革

- ・経済産業省
- ・サイバーフィジカルシステムの課題
- ・2015年

### 知のコンピューティングとELSI/SSH

- ・JST CRDS
- ・「知のコンピューティング」のELSIに関するワークショップ。
- ・2014年9月8日開催。

### 人工知能の近未来

- ・NIRA（総合研究開発機構）
- ・進化を続けるAIに人間はどう向き合えばよいのか議論。
- ・「わたしの構想」No.14. 2015年8月。

## 関連する学術分野

### 科学技術社会論

- ・科学的・技術的な革新と社会、科学技術の向かう方向等議論

### ロボット倫理学

- ・ロボットに関する倫理的問題を扱う、応用倫理学

### 情報倫理学

- ・広義の情報と、いかに関わるべきかを、その根拠や妥当性を含めて問題にして議論

内閣府：人工知能と人間社会に関する検討の国内外の動向，人工知能と人間社会に関する懇談会，2016

2

# 受容性とはする人・社会とは

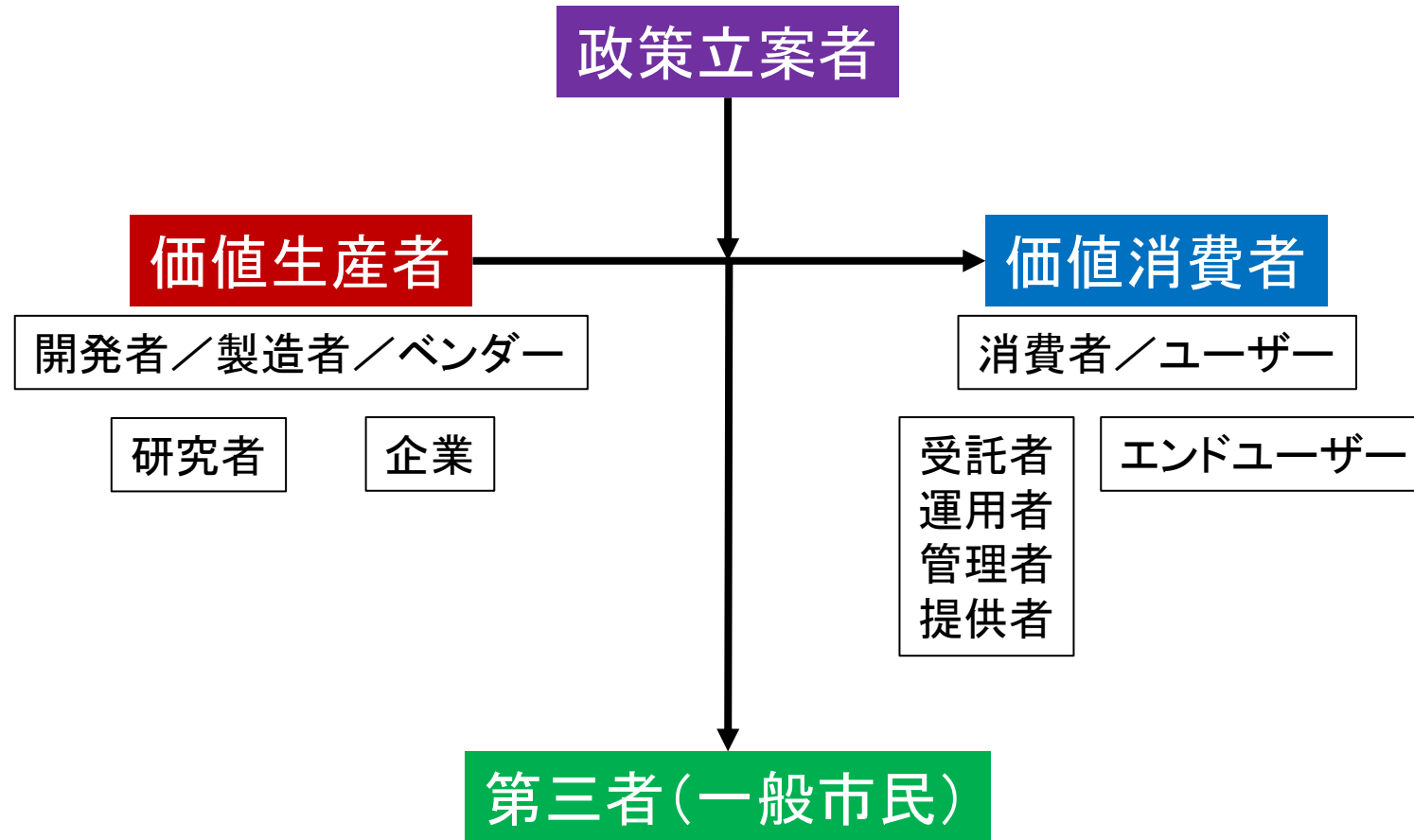
- 社会とは人の集合, ただし人が組織やコミュニティなどを形成すると複雑になる
- 個人としての価値観や考え方だけでなく, 組織やコミュニティの一員としての価値観や考え方が創発する.

自律分散システムにおける創発

# 自律分散創発系としての個人の階層

- **細胞**  
細胞としての振舞
- 
- **個人**  
個人としての価値観・考え方
- **器官**  
器官の1細胞としての振舞
- 
- **コミュニティ／組織**  
コミュニティ／組織の一員としての  
価値観・考え方
- **個体**  
個体の1細胞としての振舞
- 
- **社会**  
社会の一員としての価値観・考え方

# 製品・サービスの社会実装における ステークホルダー



# その他の社会的変化と課題

- 価値観
- 技術
- SDGs
- Diversity & Inclusion
- Generation

# 多様性の重要性

- 適応的で幸福な社会を実現するには、多様性の維持・拡大が重要
- 持続可能性や環境（物理的・社会的・技術的）の変化への適応性の向上が求められている
  - 物理的環境の変化（地球的規模, 温暖化, 環境問題）
  - 社会的環境の変化（価値観（ELSI, プライバシー, セキュリティ）, 少子高齢化, グローバル化, 安全保障, 格差, 競争力）
  - 技術環境の変化（Internet, IoT, AI, VR/AR, Robotics）
- いろいろな課題に気付ける
- それを解決するための多様な英知を結集できる

# 新型コロナウイルス対策ロボット技術

- 課題
  - 技術的課題
  - 社会的課題
  - 科学的課題
    - 物理的知能

# 科学的課題

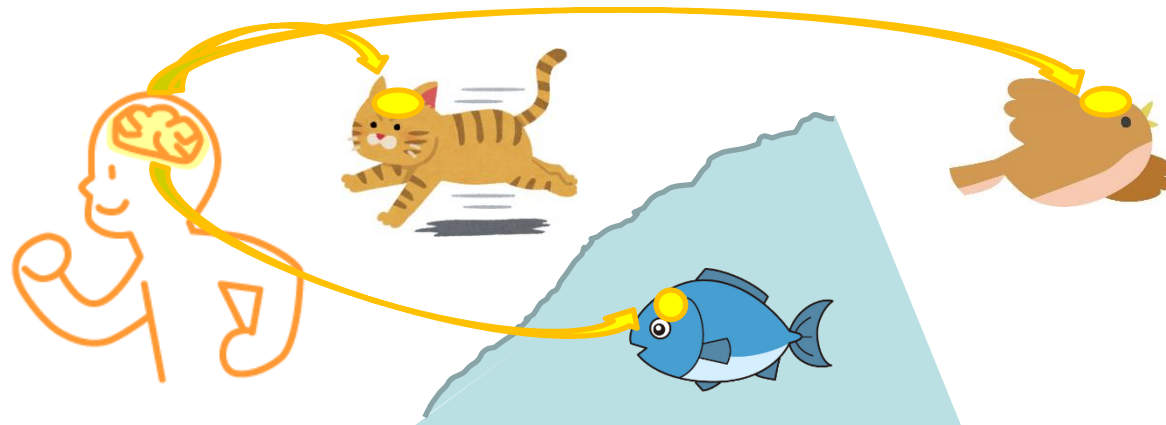


# ロボットに必要なとなる知能とは

- 多様な要求や無限定な環境での適応性
- ロボットに必要なとなる知能はロボットプラットフォームにAIを搭載すれば実現できるか？
  - Ill-defined, Ill-structured, 未知環境への適応的応答
  - ノイズ, 実時間性
  - ブラックボックス化, 説明可能性, 過学習

# AIを搭載したロボット？

- AI・深層学習・機械学習
  - データ駆動型(過去の経験に基づく学習)
  - いわゆる人間の認識や意思決定の計算機化(大脳皮質などの機能)
  - 人間の運動制御の機能(小脳, 基底核, 脳幹, 脊髄などの機能)？
- 運動制御に必要な知能＝身体あつての知能
  - 人間の脳を鳥や猫や魚に載せて機能するか



# 間違っていること

## 1. いつでもどこでもDX

- 局所性を考慮した接続・制御
- 制約条件(境界条件, 拘束条件)の設計

## 2. 人間中心

- 人間の矛盾や不完全性の補完, 支援

## 3. 選択と集中

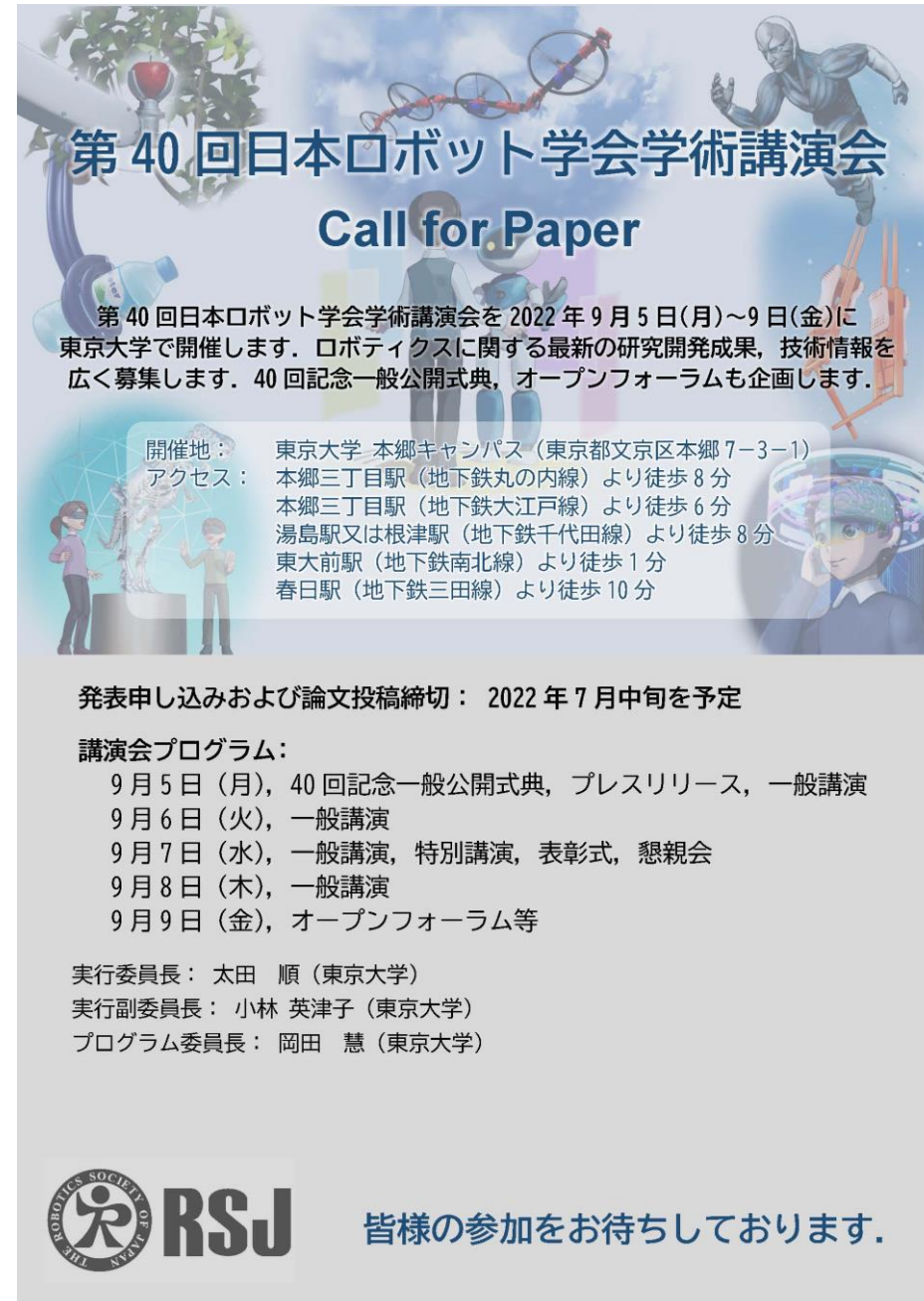
- 多様性の重要性
- バランスの力学
  - 境界条件の設定, 境界条件内の最適化
  - 境界条件の解除, 境界条件外の探索

# まとめ

- **ポストコロナ社会**
  - 想定外事象が頻発
  - 社会変革が加速
  - 望ましい方向性に制御できるか
    - 環境問題, 格差, 安全安心, 健康
    - Well-being(幸福, 健全性), 平和
- **必要なシステム・シンセシス**
  - 人も含めた創発システムとしての設計
    - システム論
    - 人間の理解(人文社会系との連携)
    - 社会, 地球環境, 人の心身の健全性, 幸福度(Well-being)の計測・評価・見える化・フィードバック→行動変容
    - 適応的で持続的なシステムの実現

# 日本ロボット学会 学術講演会2022

2022年9月5日～9日  
於 東京大学



## 第40回日本ロボット学会学術講演会 Call for Paper


第40回日本ロボット学会学術講演会を2022年9月5日(月)～9日(金)に東京大学で開催します。ロボティクスに関する最新の研究開発成果、技術情報を広く募集します。40回記念一般公開式典、オープンフォーラムも企画します。

開催地： 東京大学 本郷キャンパス (東京都文京区本郷7-3-1)  
アクセス： 本郷三丁目駅 (地下鉄丸の内線) より徒歩8分  
本郷三丁目駅 (地下鉄大江戸線) より徒歩6分  
湯島駅又は根津駅 (地下鉄千代田線) より徒歩8分  
東大前駅 (地下鉄南北線) より徒歩1分  
春日駅 (地下鉄三田線) より徒歩10分

発表申し込みおよび論文投稿締切： 2022年7月中旬を予定

講演会プログラム：  
9月5日(月)、40回記念一般公開式典、プレスリリース、一般講演  
9月6日(火)、一般講演  
9月7日(水)、一般講演、特別講演、表彰式、懇親会  
9月8日(木)、一般講演  
9月9日(金)、オープンフォーラム等

実行委員長： 太田 順 (東京大学)  
実行副委員長： 小林 英津子 (東京大学)  
プログラム委員長： 岡田 慧 (東京大学)

 **RSJ** 皆様の参加をお待ちしております。

# IFAC 2023概要



会場: パシフィコ横浜

開催日: 2023年7月9日(日)~14日(金)

実行委員長: 井村順一(東京工業大学)

参加者数: 2500名

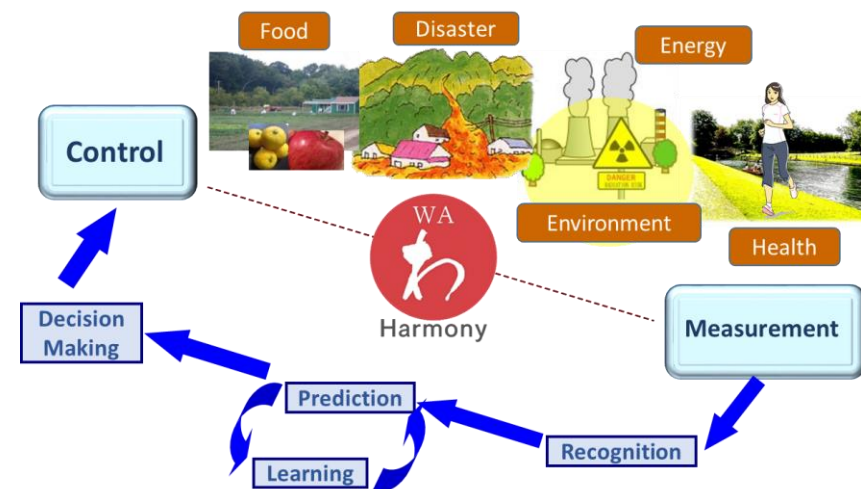
プログラム: 27パラレルセッション, フォーラム, 展示会, 競技会

ビジョン: 伝統文化と革新的技術の調和「わ」による社会的問題解決  
と価値創造のためのシステム制御分野の新しい展開

## Wa: Harmony of Traditional Culture and Innovative Technology



## Control for Solving Societal Problems and Creating Social Values



ご清聴ありがとうございました