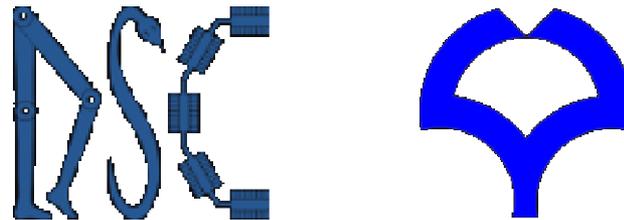


F-REI 先端的ロボットに関する調査報告書 ロボティクスの最先端と未来への布石

日本ロボット学会 特命委員会/F-REI調査事業推進委員会 委員長
大阪大学 大学院工学研究科機械工学専攻 教授
大須賀 公一



Dynamical Systems Control
Osaka University, Japan

F-REI 先端的ロボットに関する調査報告書 ロボティクスの最先端と未来への布石

日本ロボット学会 特命委員会/F-REI調査事業推進委員会 委員長
大阪大学 大学院工学研究科機械工学専攻 教授

大須賀 公一

1. はじめに
2. 本報告書の考え方
3. 先端ロボット技術
4. おわりに

1. はじめに

有史以来，世界中で大災害が発生している・・・



関東大震災1923



鳥取地震1943



兵庫県南部地震1995



東日本大震災2011



福島原発爆発2011



2023トルコ大地震

・ ・ 都市のみならず山岳地帯でも

1. はじめに

例えば

河道閉塞



- その1) 状況（環境）が行って... かわからない
- その2) 環境が時々刻々... じしれない
- その3) 地面が... じしれない
- その4) 現場... 道路が寸断されているかもしれない

「無限定環境」

河道閉塞が起こった時につくられる
「堰き止め湖」の水を速やかに流す
 必要がある。

X 日経クロステック
天然ダムの決壊

△ 国土交通省 国土技術政策総合研究所 (... 河道閉塞等の大規模土砂災害発生時...
 防炎ニッポン - 読売新聞オンライン 土砂ダムも土砂崩れもなくしたい! 奈良...
 国土交通省近畿地方整備局 紀伊山地における大規模河道閉塞対策 ...
 www.jscekc.civilnet.or.jp 栗平地区河道閉塞に対する仮排水路...

1. はじめに

本講では . . .

- ・ 「様々な災害対応に資するロボット技術（災害対応ロボットと呼んでおこう）を開発する際の示唆やヒントになる」さまざまな話題を提供したい.
- ・ ただし、現状技術のサーベイではなく、たとえ今すぐに役に立たないように見えても、できるだけ尖った研究を主軸に、さまざまな先端的なロボット研究を紹介する.
- ・ そのココロは、「10の定常能力は100のチャンピオン能力あってこそ！」という考え方と「機巧図彙（からくりずい）の叙」から示唆される思想である.

F-REI 先端的ロボットに関する調査報告書 ロボティクスの最先端と未来への布石

日本ロボット学会 特命委員会/F-REI調査事業推進委員会 委員長
大阪大学 大学院工学研究科機械工学専攻 教授

大須賀 公一

1. はじめに
2. **本報告書の考え方**
3. 先端ロボット技術
4. おわりに

2. 本報告書の考え方

計測自動制御学会

「ロボットの利用現場（横軸）からの目線で主にシステムインテグレーションを軸」

日本ロボット学会

「ロボットの先端技術（縦軸）からの目線で主にロボット技術の最先端をサーベイすることを軸」

2. 本報告書の考え方

日本ロボット学会の視座
(ロボットテクノロジー)

計測自動制御学会の視座
(システムインテグレーション)

先端ロボット
システム

先端ロボット
基盤技術

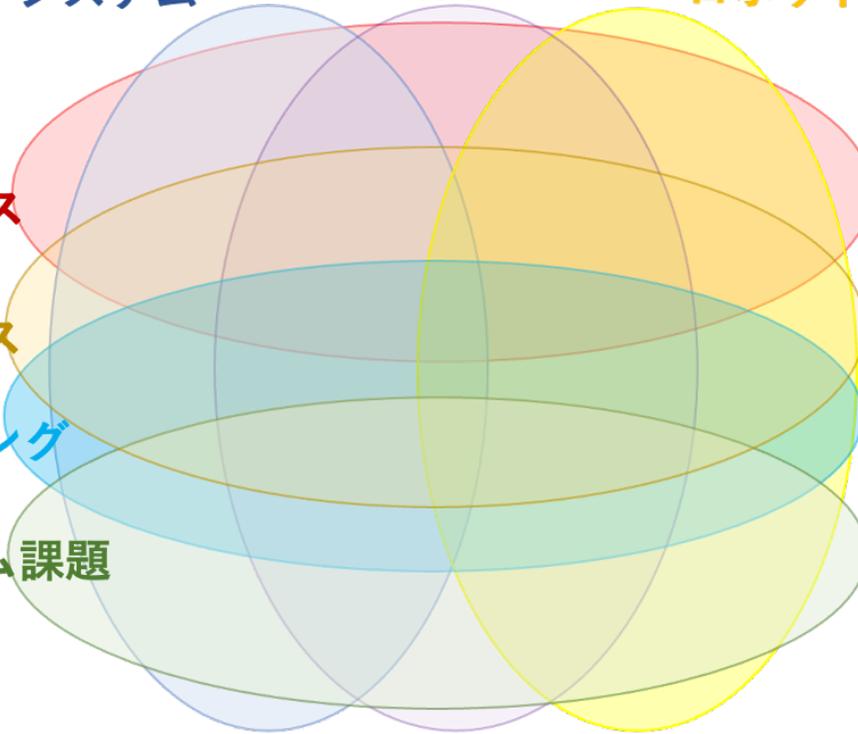
先端生物規範
ロボット

無限定環境
ロボティクス

フィールド
ロボティクス

先端センシング

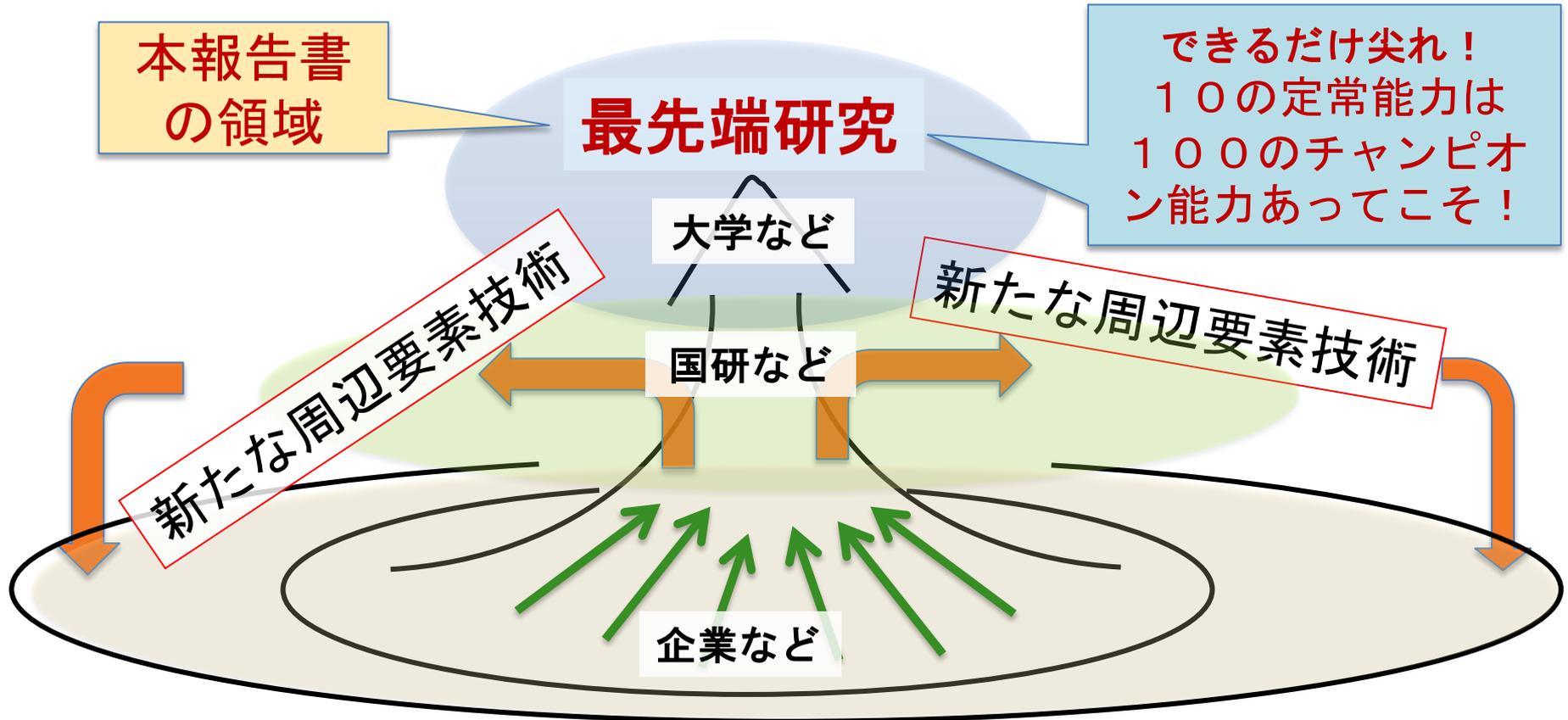
社会システム課題



ロボティクスのマトリクス

2. 本報告書の考え方

災害対応ロボティクス研究の実現モデル



最先端研究は周辺の要素技術を取り込み
新たな要素技術を生む

新たな市場を生む

F-REI 先端的ロボットに関する調査報告書 ロボティクスの最先端と未来への布石

日本ロボット学会 特命委員会/F-REI調査事業推進委員会 委員長
大阪大学 大学院工学研究科機械工学専攻 教授

大須賀 公一

1. はじめに
2. 本報告書の考え方
3. 先端ロボット技術
4. おわりに

目次 (約400ページ)

1. はじめに (大須賀公一)
2. 先端ロボット基盤術
 - 2.1 メカニズム (多田隈理一郎)
 - 2.2 アクチュエータ (鈴木康一)
 - 2.3 センサシステム (倉爪 亮)
 - 2.4 ビジョンシステム (並木明夫)
 - 2.5 無線ネットワーク (羽田靖史)
 - 2.6 知能システム (下田真吾)
3. 先端ロボットシステム
 - 3.1 ソフトロボットシステム (細田 耕)
 - 3.2 パワーアシストシステム (田中孝之)
 - 3.3 スワームシステム (藤澤隆介)
 - 3.4 遠隔操縦マニピュレーションシステム (金岡克弥)
 - 3.5 履帯・車輪ロボットシステム (石上玄也)
 - 3.6 水中ロボットシステム (中内 靖)
4. 先端生物規範型ロボット
 - 4.1 二脚型ロボット (森澤光晴)
 - 4.2 四脚型ロボット (土居隆宏)
 - 4.3 多足類型ロボット (石黒章夫)
 - 4.4 線状・放射状ロボット (中村太郎)
 - 4.5 飛翔・遊泳ロボット (劉 浩)
 - 4.6 昆虫型ロボット (佐藤裕崇)
5. ロボットの社会実装・実用化に向けて (川村貞夫, 安藤 健)
6. おわりに (大須賀公一)

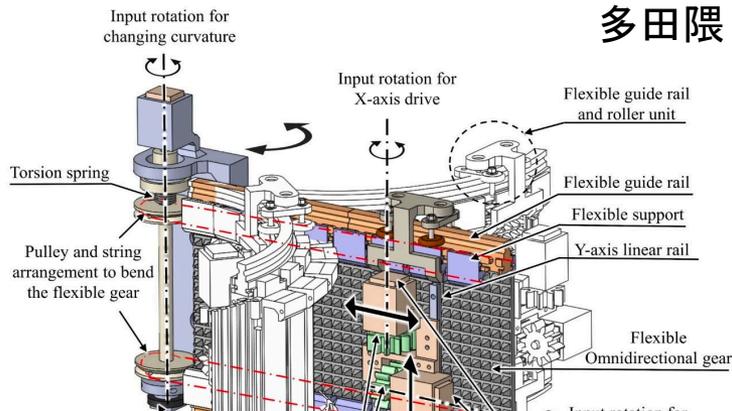
・ 実質四ヶ月！
・ ハンドブックではない！
・ 尖った著者たち！

目次（約400ページ）

1. はじめに（大須賀公一）
2. 先端ロボット基盤術
 - 2.1 メカニズム（多田隈理一郎）
 - 2.2 アクチュエータ（鈴森康一）
 - 2.3 センサシステム（倉爪 亮）
 - 2.4 ビジョンシステム（並木明夫）
 - 2.5 無線ネットワーク（羽田靖史）
 - 2.6 知能システム（下田真吾）
3. 先端ロボットシステム
 - 3.1 ソフトロボットシステム（細田 耕）
 - 3.2 パワーアシストシステム（田中孝之）
 - 3.3 スwarmシステム（藤澤隆介）
 - 3.4 遠隔操縦マニピュレーションシステム（金岡克弥）
 - 3.5 履帯・車輪ロボットシステム（石上玄也）
 - 3.6 水中ロボットシステム（中内 靖）
4. 先端生物規範型ロボット
 - 4.1 二脚型ロボット（森澤光晴）
 - 4.2 四脚型ロボット（土居隆宏）
 - 4.3 多足類型ロボット（石黒章夫）
 - 4.4 線状・放射状ロボット（中村太郎）
 - 4.5 飛翔・遊泳ロボット（劉 浩）
 - 4.6 昆虫型ロボット（佐藤裕崇）
5. ロボットの社会実装・実用化に向けて（川村貞夫，安藤 健）
6. おわりに（大須賀公一）

- ・ 実質四ヶ月！
- ・ ハンドブックではない！
- ・ 尖った著者たち！

- ・ ロボティクスはシステムインテグレーションの学術であると同時に、その飛躍的な展開を支えるのは基盤技術でもある。
- ・ 本章ではそのような観点から、メカニズム、アクチュエータ、センサシステム、ビジョンシステム、無線ネットワーク、知能システムを取り上げた。
- ・ **メカニズムとアクチュエータ**は歴史が古くある程度の完成域に達しているという見方もありうる一方、ロボティクスの目標像の一つである「生きもの」と比べると、さまざまな面で大きく劣っているのも現状であり、この分野での革新がロボティクスの将来を大きく変える可能性がある。
- ・ 一方、**センサシステム、ビジョンシステム、無線ネットワーク、知能システム**については、近年新しい技術が次々と生まれ、それによってロボティクスが大きく革新している状況を我々は日々目の当たりにしている。
- ・ 先端技術動向をキャッチアップしこれに基づいて今後のロボティクスの進むべき方向を考えるのは極めて重要である。

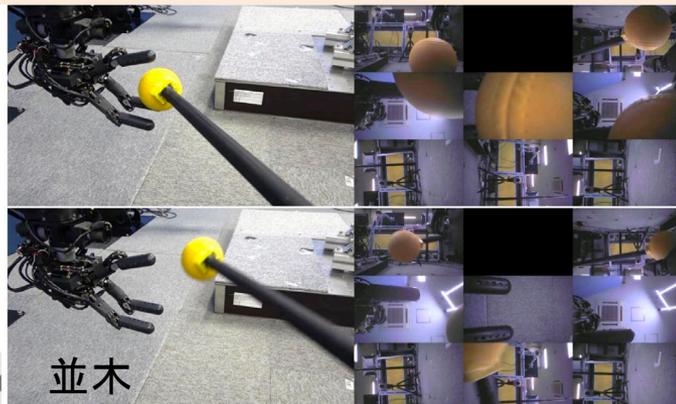
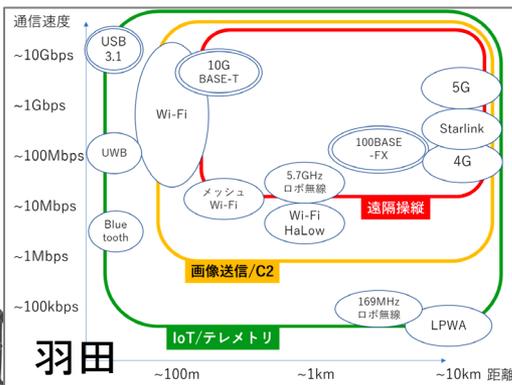
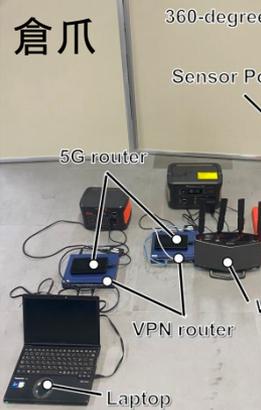


多田 隼

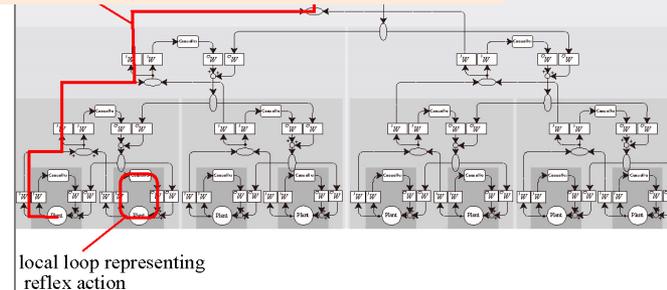


鈴木

機構学の絶滅危惧分野化 アクチュエータとエネルギー 無線技術の難しさ AIの安易な巨大化



並木



local loop representing reflex action

下田

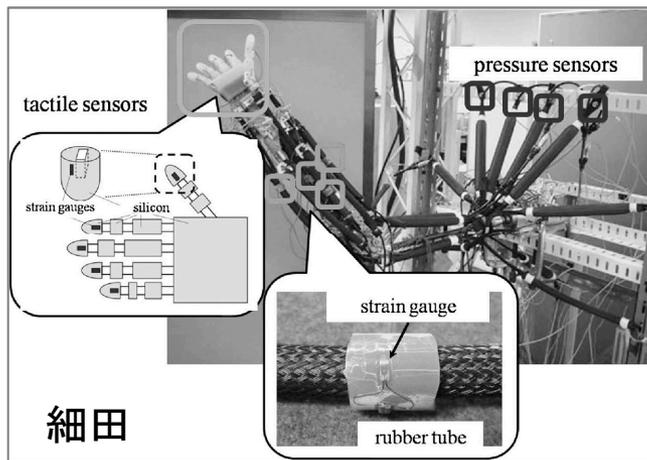
ension

目次（約400ページ）

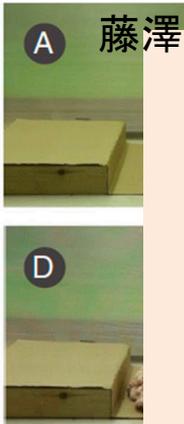
1. はじめに（大須賀公一）
2. 先端ロボット基盤術
 - 2.1 メカニズム（多田隈理一郎）
 - 2.2 アクチュエータ（鈴森康一）
 - 2.3 センサシステム（倉爪 亮）
 - 2.4 ビジョンシステム（並木明夫）
 - 2.5 無線ネットワーク（羽田靖史）
 - 2.6 知能システム（下田真吾）
3. 先端ロボットシステム
 - 3.1 ソフトロボットシステム（細田 耕）
 - 3.2 パワーアシストシステム（田中孝之）
 - 3.3 スワームシステム（藤澤隆介）
 - 3.4 遠隔操縦マニピュレーションシステム（金岡克弥）
 - 3.5 履帯・車輪ロボットシステム（石上玄也）
 - 3.6 水中ロボットシステム（中内 靖）
4. 先端生物規範型ロボット
 - 4.1 二脚型ロボット（森澤光晴）
 - 4.2 四脚型ロボット（土居隆宏）
 - 4.3 多足類型ロボット（石黒章夫）
 - 4.4 線状・放射状ロボット（中村太郎）
 - 4.5 飛翔・遊泳ロボット（劉 浩）
 - 4.6 昆虫型ロボット（佐藤裕崇）
5. ロボットの社会実装・実用化に向けて（川村貞夫，安藤 健）
6. おわりに（大須賀公一）

・ 実質四ヶ月！
・ ハンドブックではない！
・ 尖った著者たち！

- ・新しい機能を持つロボットシステムを設計するには、その形態や移動（駆動）様式についての十分な考察が必要となる。
- ・本章では、それぞれの形態や移動様式について最先端の技術について概観することにより、ロボットシステム設計の礎を作ることを目的としている。
- ・生物のような柔らかい知能を持つロボットを設計するためのソフトロボットシステム、ロボットによる人間のサポートを行うパワーアシストシステム、自律分散性を活用することで環境に適応するスワームシステム、人間の持つ操作知能を最大限に活用する遠隔操縦マニピュレーションシステムに関する研究俯瞰は、先端的ロボットシステムの設計においての重要な手掛かりとなる。
- ・また、不整地や水中などの環境内での移動能力拡大のために、履帯・車輪ロボットシステム、水中ロボットシステムに関する研究俯瞰が必ず大きな役割を果たすはずである。



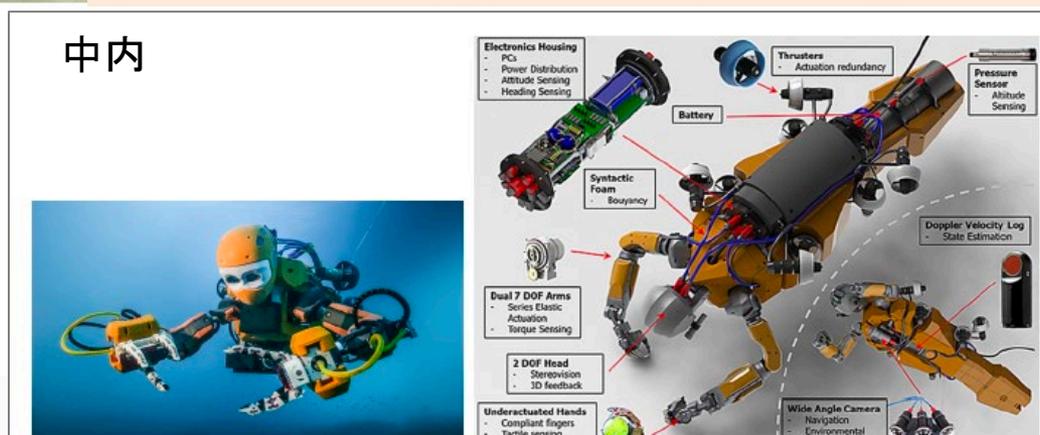
細田



整備された実験室から実環境へ
 プロトタイプから実証機へ
 ロボット独自の技術が欲しい



より引用)



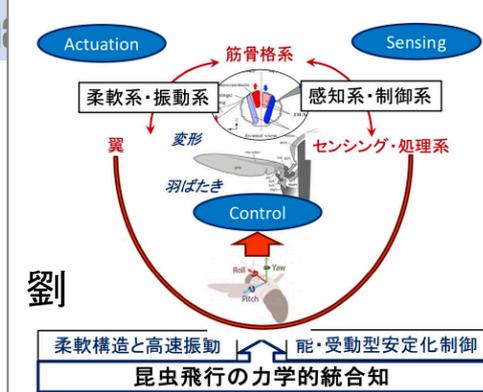
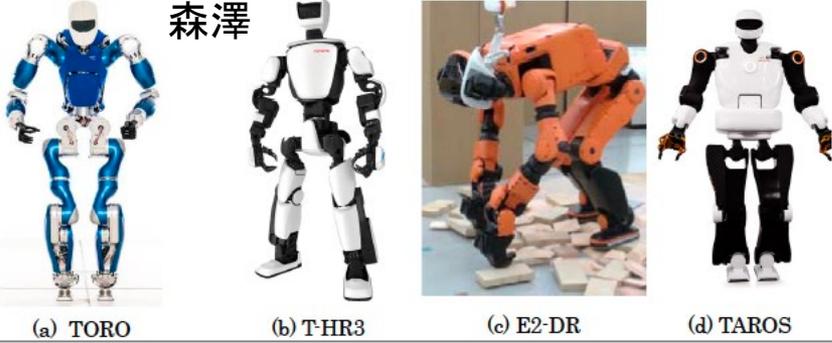
目次（約400ページ）

1. はじめに（大須賀公一）
2. 先端ロボット基盤術
 - 2.1 メカニズム（多田隈理一郎）
 - 2.2 アクチュエータ（鈴森康一）
 - 2.3 センサシステム（倉爪 亮）
 - 2.4 ビジョンシステム（並木明夫）
 - 2.5 無線ネットワーク（羽田靖史）
 - 2.6 知能システム（下田真吾）
3. 先端ロボットシステム
 - 3.1 ソフトロボットシステム（細田 耕）
 - 3.2 パワーアシストシステム（田中孝之）
 - 3.3 スワームシステム（藤澤隆介）
 - 3.4 遠隔操縦マニピュレーションシステム（金岡克弥）
 - 3.5 履帯・車輪ロボットシステム（石上玄也）
 - 3.6 水中ロボットシステム（中内 靖）
4. 先端生物規範型ロボット
 - 4.1 二脚型ロボット（森澤光晴）
 - 4.2 四脚型ロボット（土居隆宏）
 - 4.3 多足類型ロボット（石黒章夫）
 - 4.4 線状・放射状ロボット（中村太郎）
 - 4.5 飛翔・遊泳ロボット（劉 浩）
 - 4.6 昆虫型ロボット（佐藤裕崇）
5. ロボットの社会実装・実用化に向けて（川村貞夫，安藤 健）
6. おわりに（大須賀公一）

- ・ 実質四ヶ月！
- ・ ハンドブックではない！
- ・ 尖った著者たち！

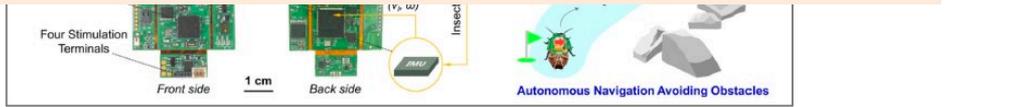
- ・ **這う**, **泳ぐ**, **歩く**, **飛ぶ**など動物の移動様式は実に多様である。また、動物の形態に目を転じてみても、脚があるもの・ないもの、脚数が多いもの・少ないものなど、そこにも驚くほどの多様性が見られる。
- ・ これらの多様性は、進化過程という壮大な試行錯誤の場を通して生み出されたのは周知の事実である。ここで一つの考えが浮かんでくる。
- ・ 現生動物が示す多様な移動様式や形態は偶然に委ねて生み出されたところも多分にあるだろうが、同時にそこには予測不可能で非構造な環境の中をしぶとくかつしなやかに動き回るために不可欠となる、**必然的な（そして同時に人智を超えるような）**からくりも伏在しているのではないだろうか。
- ・ 生物規範型ロボティクスは、まさにそのような必然性の存在を仮定して、**生物（特に動物）に内在するカラクリや設計原理を炙り出す**ことで、生物に比肩しうる動きを生み出すようなロボットの構築に活かそうとする学問領域である。
- ・ ロボットと動物の動きの間には依然として越え難い谷間が存在する。このような現状に非連続的な**ブレークスルー**をもたらすためには、**生物規範型ロボティクスは極めて重要な意義を持つ**はずである。

森澤



石

生物の表層的模倣から本質理解へ 生物のリバーズエンジニアリング



目次（約400ページ）

1. はじめに（大須賀公一）
2. 先端ロボット基盤術
 - 2.1 メカニズム（多田隈理一郎）
 - 2.2 アクチュエータ（鈴森康一）
 - 2.3 センサシステム（倉爪 亮）
 - 2.4 ビジョンシステム（並木明夫）
 - 2.5 無線ネットワーク（羽田靖史）
 - 2.6 知能システム（下田真吾）
3. 先端ロボットシステム
 - 3.1 ソフトロボットシステム（細田 耕）
 - 3.2 パワーアシストシステム（田中孝之）
 - 3.3 スワームシステム（藤澤隆介）
 - 3.4 遠隔操縦マニピュレーションシステム（金岡克弥）
 - 3.5 履帯・車輪ロボットシステム（石上玄也）
 - 3.6 水中ロボットシステム（中内 靖）
4. 先端生物規範型ロボット
 - 4.1 二脚型ロボット（森澤光晴）
 - 4.2 四脚型ロボット（土居隆宏）
 - 4.3 多足類型ロボット（石黒章夫）
 - 4.4 線状・放射状ロボット（中村太郎）
 - 4.5 飛翔・遊泳ロボット（劉 浩）
 - 4.6 昆虫型ロボット（佐藤裕崇）
5. **ロボットの社会実装・実用化に向けて（川村貞夫，安藤 健）**
6. おわりに（大須賀公一）

- ・ **実質四ヶ月！**
- ・ **ハンドブックではない！**
- ・ **尖った著者たち！**

- ・ 人の労働代替として、**ロボットに寄せる期待は大きい**。特に、ロボットが、人にとって過酷で危険な作業を代行することが強く期待されている。
- ・ エssenシャルワーカーの担っている社会基盤を維持する作業の多くも、ロボットによる作業実現が期待される場合が多い。このような期待を受けて、特に先進諸国の国家プロジェクトとして新しい技術開発に基づくロボット新産業の創出が実施されてきた。
- ・ しかし、事業化のスピードと新分野への広がりには、目標としたレベルには到達していない部分が多いと思われる。過去には、ロボットの技術は十分に完成されてきたので、良いビジネスモデルを構築すればよいとの意見もあった。
- ・ 今後もビジネスモデルの提案と社会受容性を高めるなども重要とは思われる。しかし、ロボット技術開発から事業化への本質的問題はないのかとの疑問が浮かぶ。
- ・ 本章では、まず**現状の世界的なロボットビジネスを俯瞰**する。次に、**ロボットの实用化・社会実装の阻害分析**を行い、**6つの阻害要因**を述べる。最後に、**阻害要因の解消のための今後の方策の具体例**を提案する。

ロボットが果たすべき機能問題

自動車、飛行機、半導体



移動能力で
評価可能



計算/記憶能力で
評価可能

解くべき開発課題（問題）が容易に作成可能



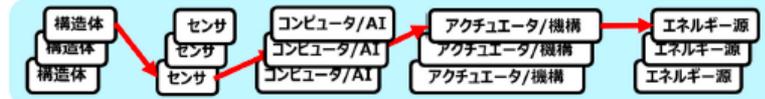
ロボット 汎用性？ 問題の境界線設定？
評価が難しく費用対効果を読みにくい
問題作成が難しい



ロボットの概念/言葉の曖昧性 直列の悪魔と並列の悪魔 大学の問題設定の問題

システムインテグレーション問題

直列の悪魔（失敗に誘導する原因） 要素選択の冗長性
要素をどのように選択してシステム実現か？
既存SI技術には多様な解が存在



- ・一つの優れた要素開発で学术论文にはなるが、ロボットの事業的評価はシステム全体の性能
- ・SIの科学が未熟のため、SIの技術が脆弱となり、

を誘発

利用状況の
目標

- ・人/環境フレンドリー
- ・ロボットフレンドリー
- ・AI/ロボット



陸上移動は簡単に切り分け
車輪移動体 道路環境整備

- 食品工場
- ...
- 食産業レストラン
- 医療
- 福祉



目標システム設定の誤りを誘発

図 5.9 研究開発による課題解決

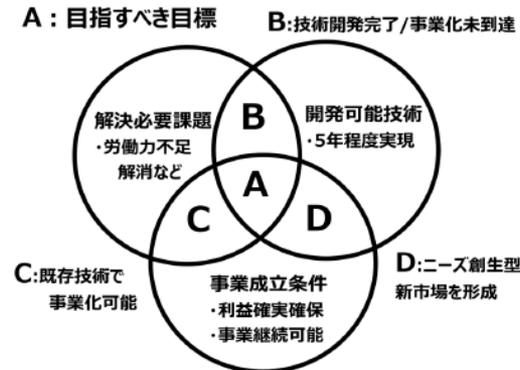


図 5.10 事業化成立条件を加えた整理

5. ロボットの社会実装・実用化に向けて（川村貞夫，安藤 健）

5.2.1 ロボットが果たすべき機能

5.2.2 概念/言葉の曖昧性

5.2.3 システムインテグレーション問題

5.2.4 利用状況の多様性問題

5.2.5 SI 技術未熟問題

5.2.6 大学の研究テーマ設定問題

5.3.1 目標設定のための整理（川村貞夫）

5.3.2 全体最適化（安藤 健）

5.3.3 ステークホルダー連携の必要性（安藤 健）

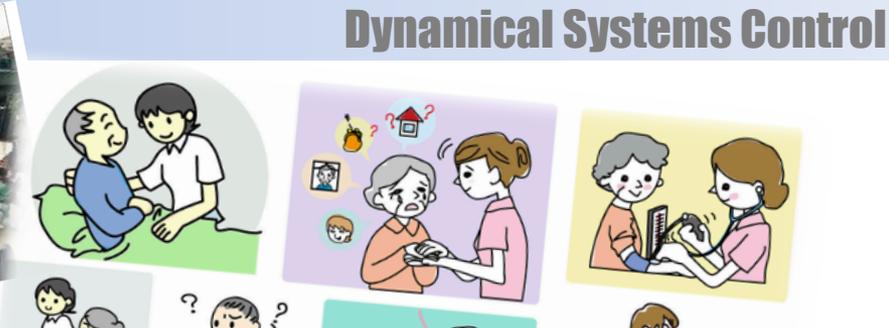
F-REI 先端的ロボットに関する調査報告書 ロボティクスの最先端と未来への布石

日本ロボット学会 特命委員会/F-REI調査事業推進委員会 委員長
大阪大学 大学院工学研究科機械工学専攻 教授

大須賀 公一

1. はじめに
2. 本報告書の考え方
3. 先端ロボット技術
4. おわりに

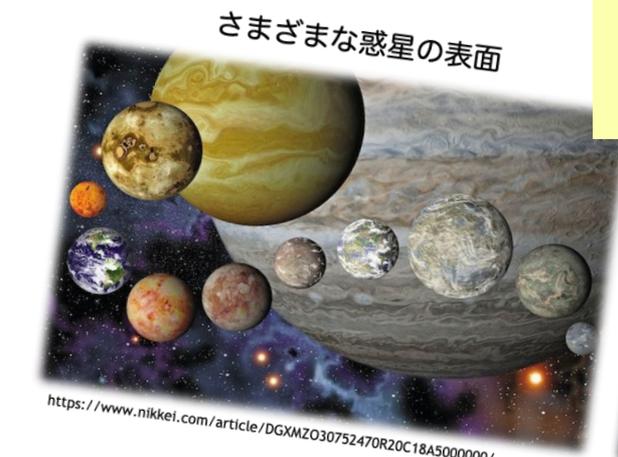
4. おわりに



無限定環境
複雑で予測不可能で時々刻々変化する



設計論が必要



4. おわりに

従来のモノづくりの典型例

境界条件≡使用現場（明確）



閉じた設計



使用現場（明確：限定環境）

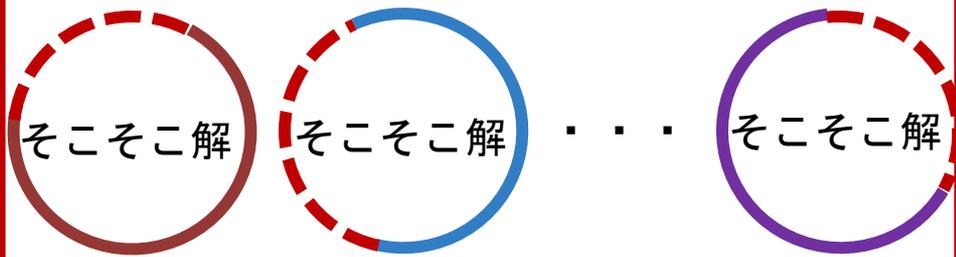
このテーマで必要とされる方法

境界条件が閉じない（開いている）

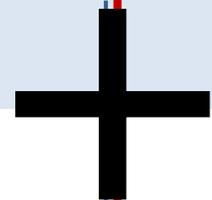


開いた設計

現場に置かれて初めて閉じる



使用現場（不明確：無限定環境）



4. おわりに

「**無限定環境**」の中を動き回る人工物は、「閉じない境界条件」のもとで設計しなくてはならない。

「開いた境界条件」



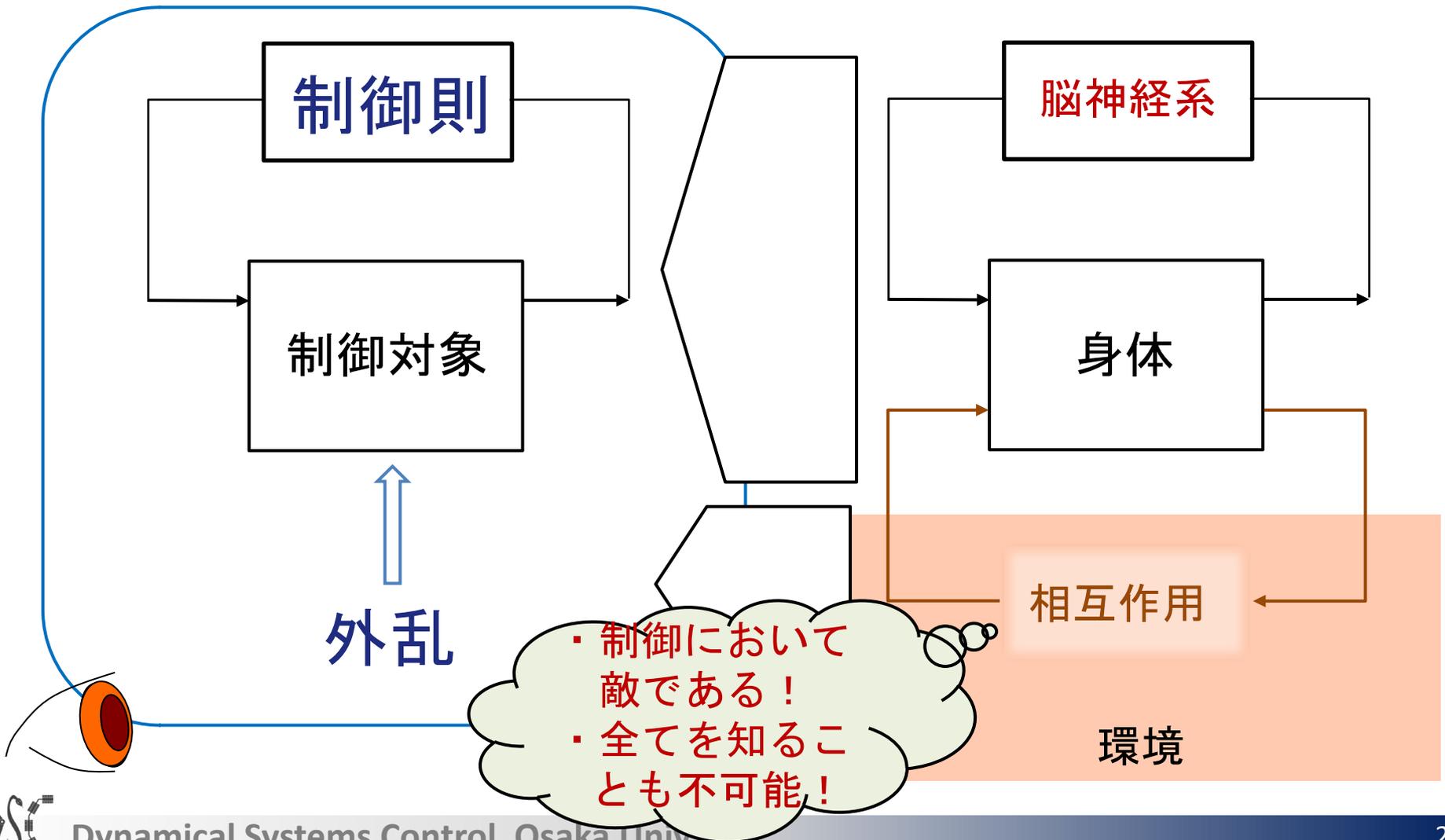
「**開いた設計**」 問題



「無限定環境との**付き合い方**」がポイント

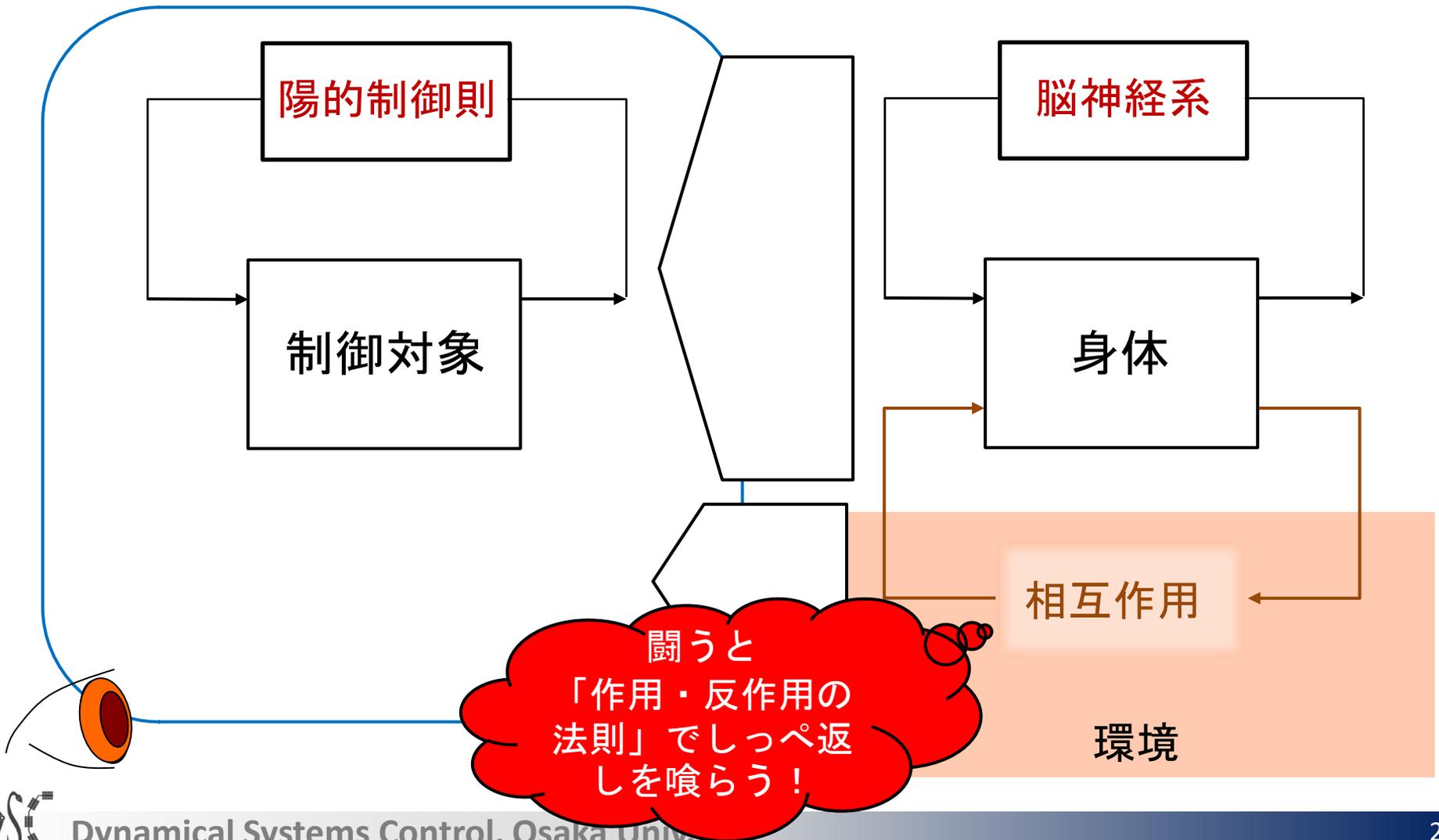
4. おわりに

「無限定環境との付き合い方」がポイント



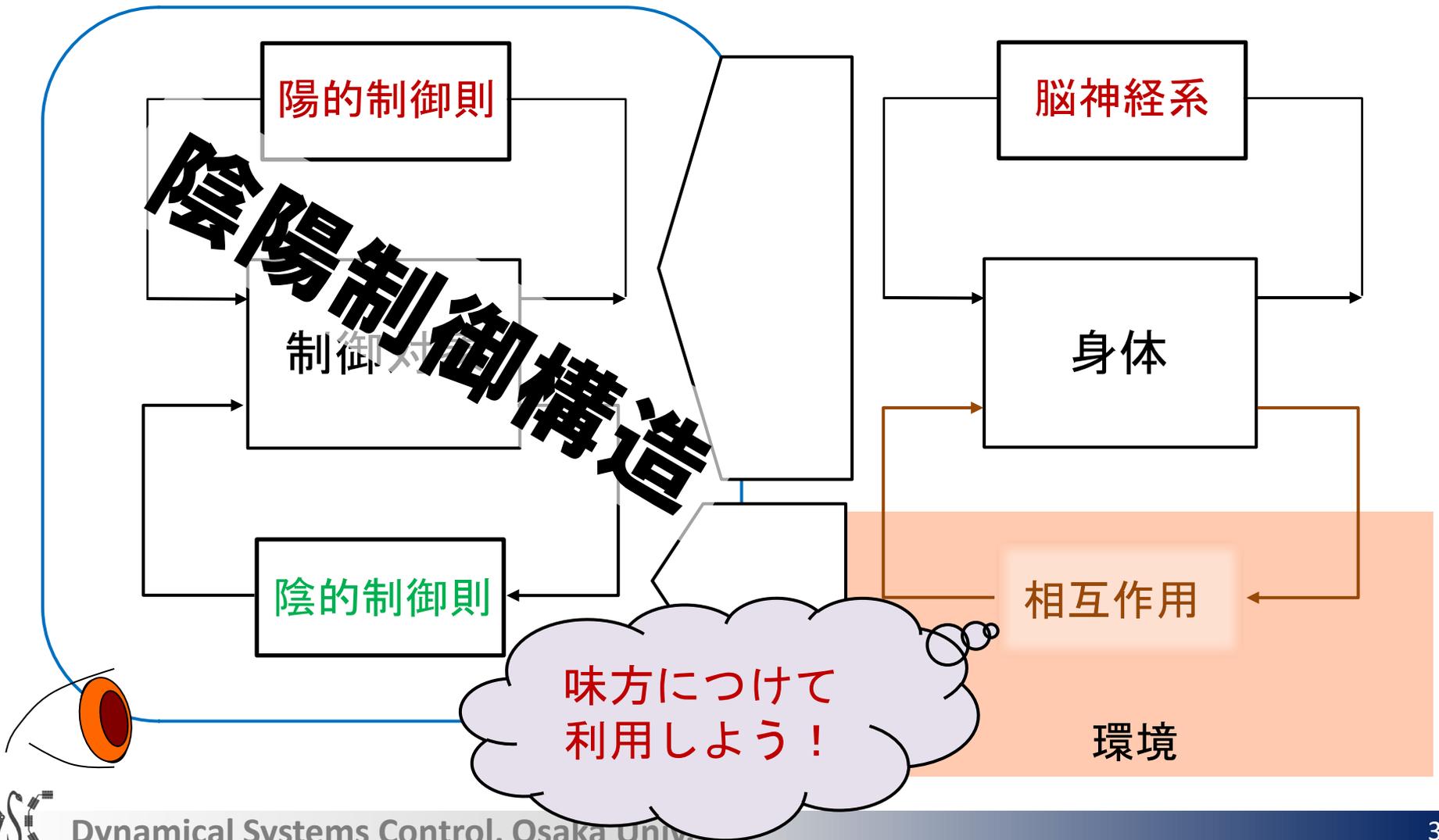
4. おわりに

「無限定環境との付き合い方」がポイント



4. おわりに

「無限定環境との付き合い方」がポイント



4. おわりに

「**無限定環境**」の中を動き回る人工物は、「閉じない境界条件」のもとで設計しなくてはならない。

「開いた境界条件」



「**開いた設計**」問題



「無限定環境との**付き合い方**」がポイント

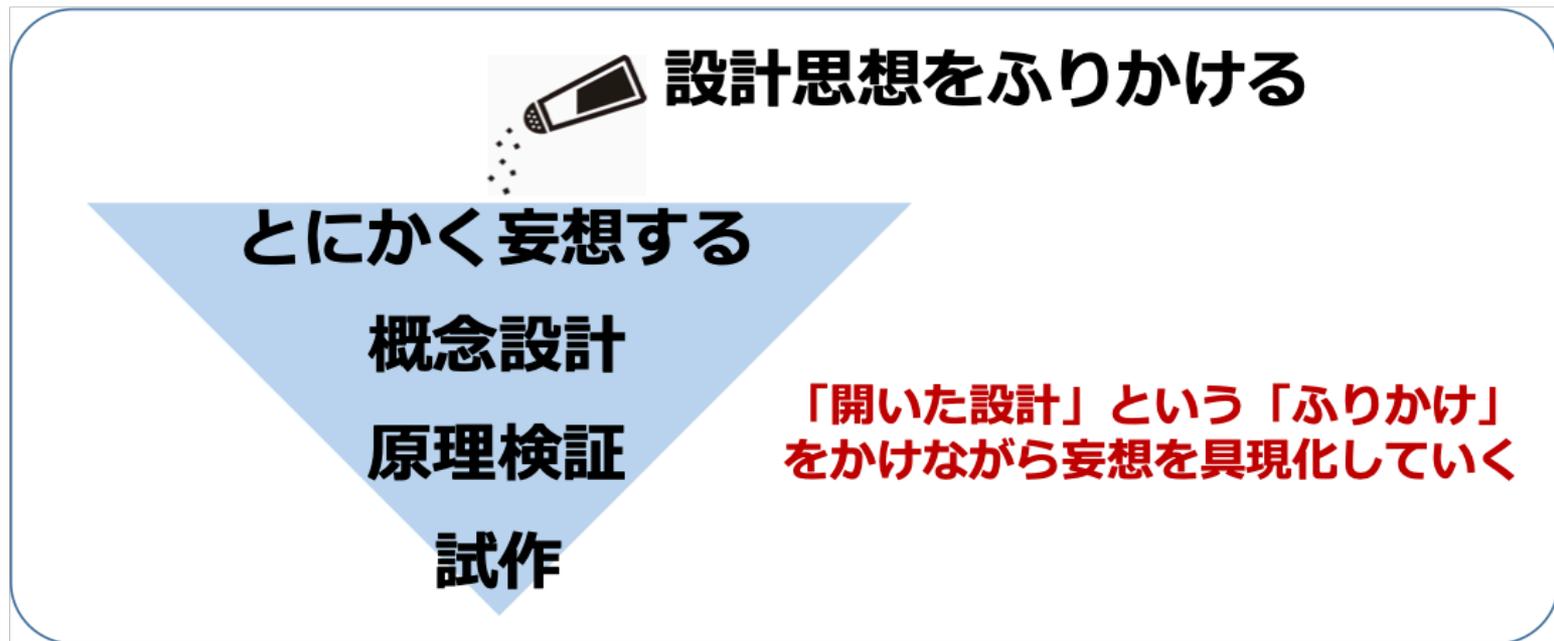


「**陰陽制御**」

4. おわりに

無限定環境

複雑で予測不可能で時々刻々変化する

**設計論が必要****「開いた設計」**

4. おわりに

とにかく妄想する

概念設計

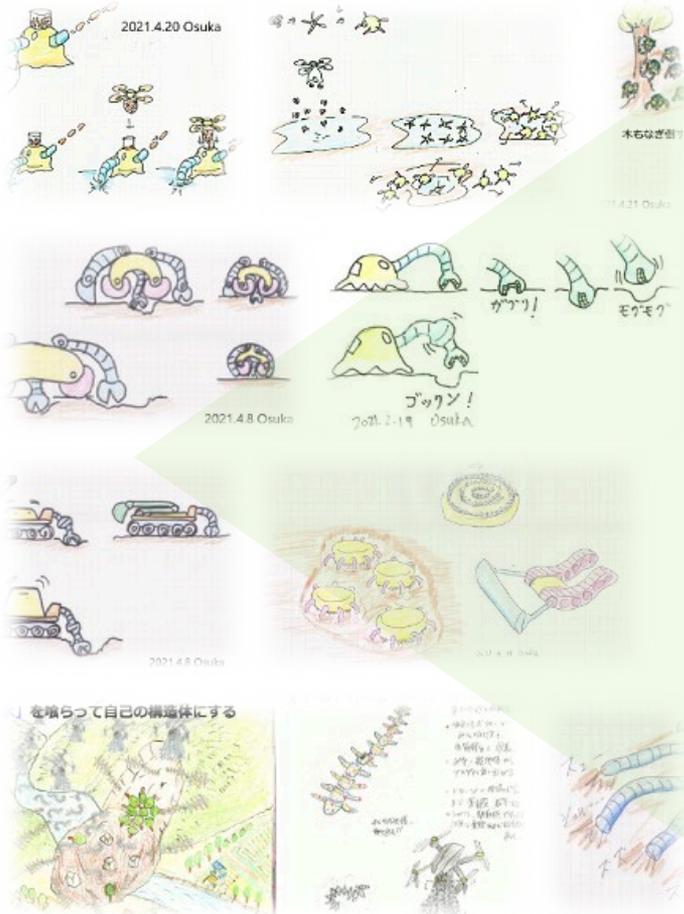
原理検証

試作

「開いた設計」という「ふりかけ」
をかけながら妄想を具現化していく

妄想 ←→ 分解 ←→ 統合

開いた設計思想



先端ロボット基盤術
メカニズム
アクチュエータ
センサシステム
ビジョンシステム
無線ネットワーク
知能システム
:

先端ロボットシステム
ソフトロボットシステム
パワーアシストシステム
スワームシステム
遠隔操縦マニピュレーションシステム
履帯・車輪ロボットシステム
水中ロボットシステム
:

先端生物規範型ロボット
二脚型ロボット
四脚型ロボット
多足類型ロボット
線状・放射状ロボット
飛翔・遊泳ロボット
生物ハイブリッドロボット
:



[2]



[4]



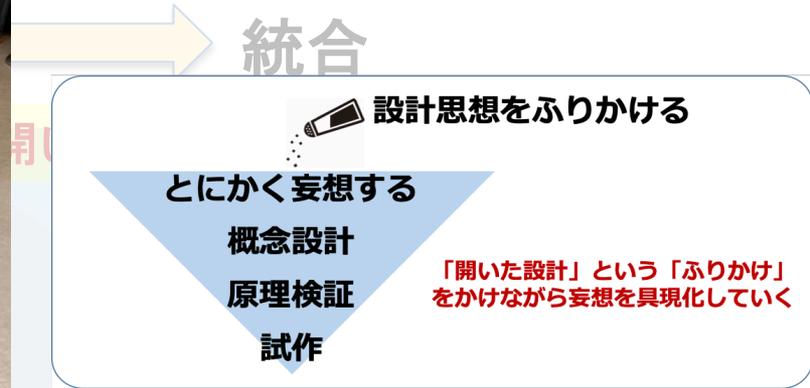
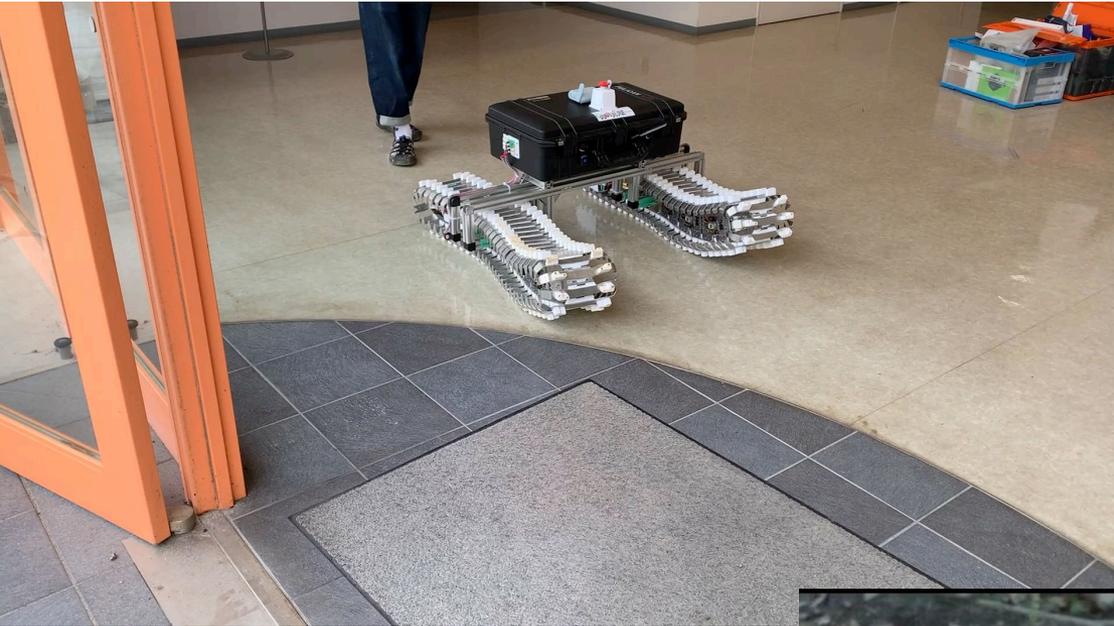
[3]



[5]

社会実装・実用化思想

4. おわりに



相手と戦うな！



F-REI 先端的ロボットに関する調査報告書 ロボティクスの最先端と未来への布石

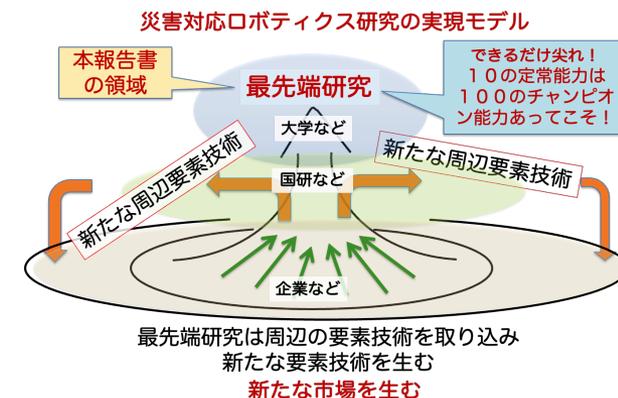
「愛」がないといけません

日本ロボット学会 特命委員会/F-REI調査事業推進委員会 委員長
大阪大学 大学院工学研究科機械工学専攻 教授
大須賀 公一



相手と戦うな！

1. はじめに
2. 本報告書の考え方
3. 先端ロボット技術
4. おわりに



「愛」がないといけません

F-REI 先端的ロボットに関する調査報告書
ロボティクスの最先端と未来への布石

「愛」がないといけません

日本ロボット学会 特命委員会/F-REI調査事業推進委員会 委員長
大阪大学 大学院工学研究科機械工学専攻 教授

大須賀 公一

1. はじめに
2. 本報告書の考え方
3. 先端ロボット技術
4. おわりに

F-REI 先端的ロボットに関する調査報告書
ロボティクスの最先端と未来への布石

リアルワールド・ロボティクス

日本ロボット学会 特命委員会/F-REI調査事業推進委員会 委員長
大阪大学 大学院工学研究科機械工学専攻 教授

大須賀 公一

1. はじめに
2. 本報告書の考え方
3. 先端ロボット技術
4. おわりに