

ロボティック・バイオロジーによる生命科学の加速

- AI+ロボティクスによる生命科学の情報化・データベース化 -

高橋 恒一

理化学研究所 生命機能科学研究センター (BDR)
科学研究基盤モデル開発プログラム (TRIP-AGIS)

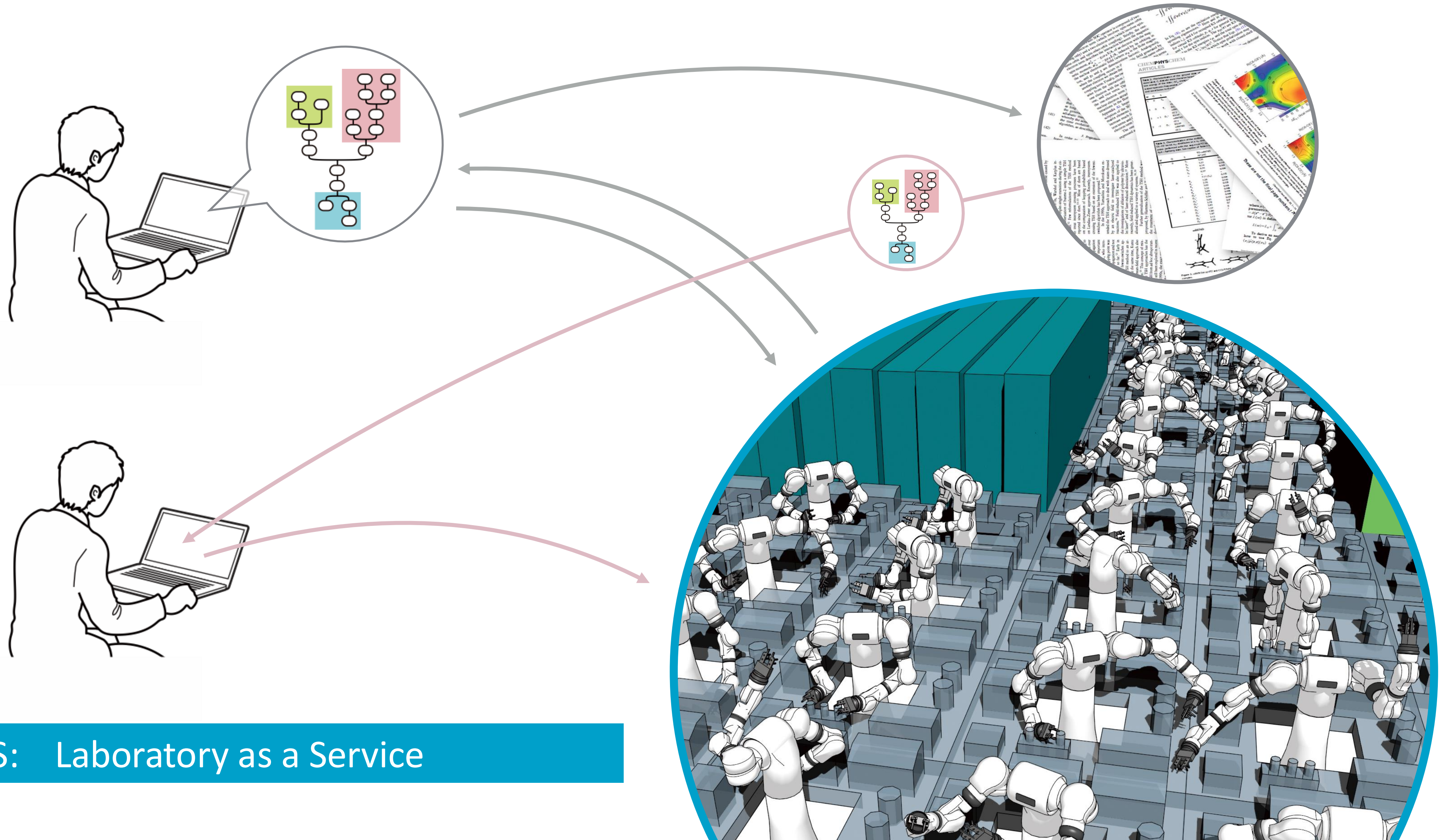
慶應義塾大学
大阪大学

1. JST未来社会創造事業「ロボティックバイオロジー」 課題の紹介
2. ラボの自律化から生命科学の情報データベース化へ
3. 「AIロボット駆動科学」 と科学基盤モデル

1. JST未来社会創造事業「ロボティックバイオロジー」 課題の紹介
2. ラボの自律化から生命科学の情報データベース化へ
3. 「AIロボット駆動科学」 と科学基盤モデル

ロボティックバイオロジー

生命科学実験を物理・化学過程の「モノのプログラミング」として再定義



LaaS: Laboratory as a Service

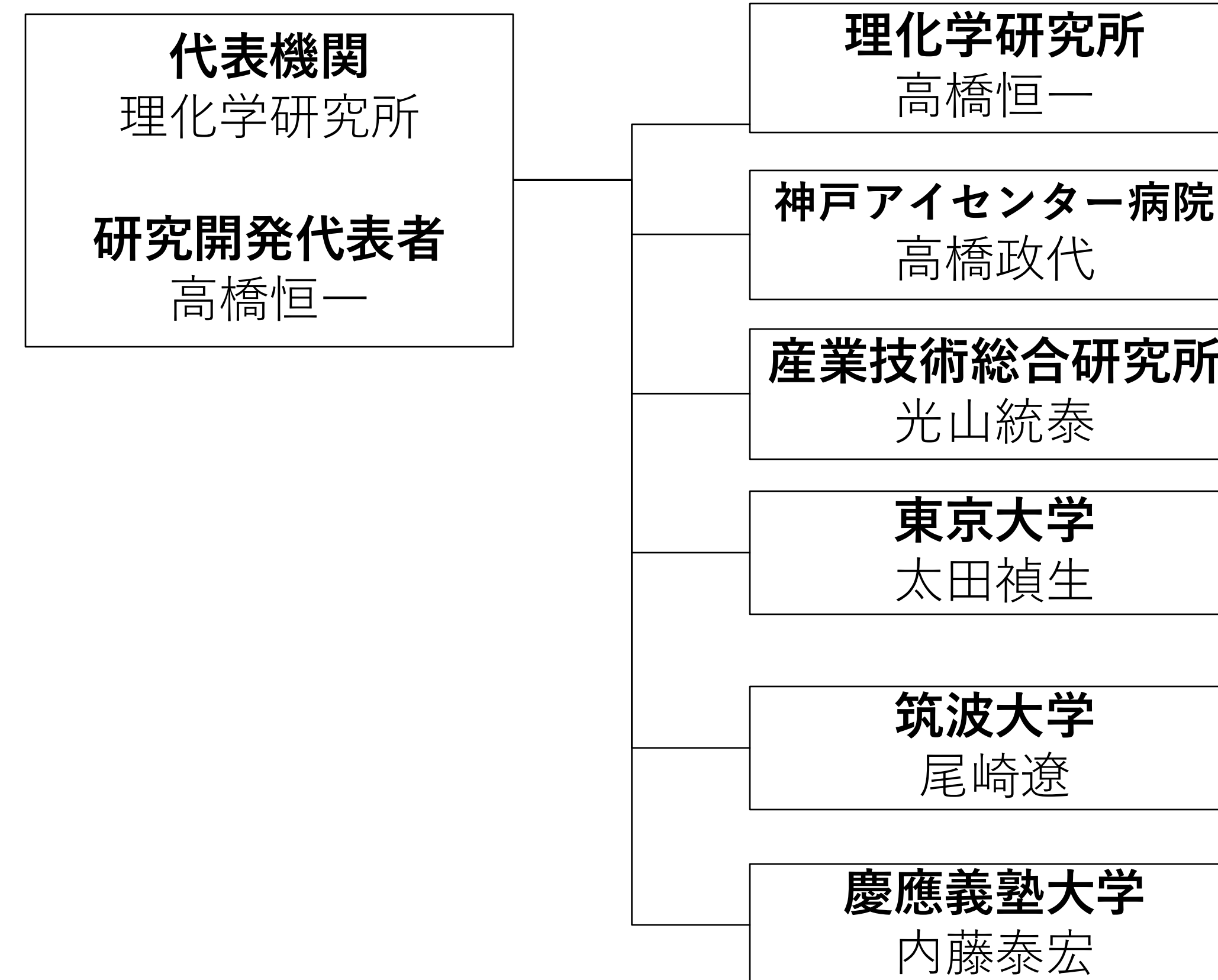
ロボティック・バイオロジー・プロトタイピング・ラボ



理化学研究所 神戸事業所
融合連携イノベーション推進棟 (IIB)



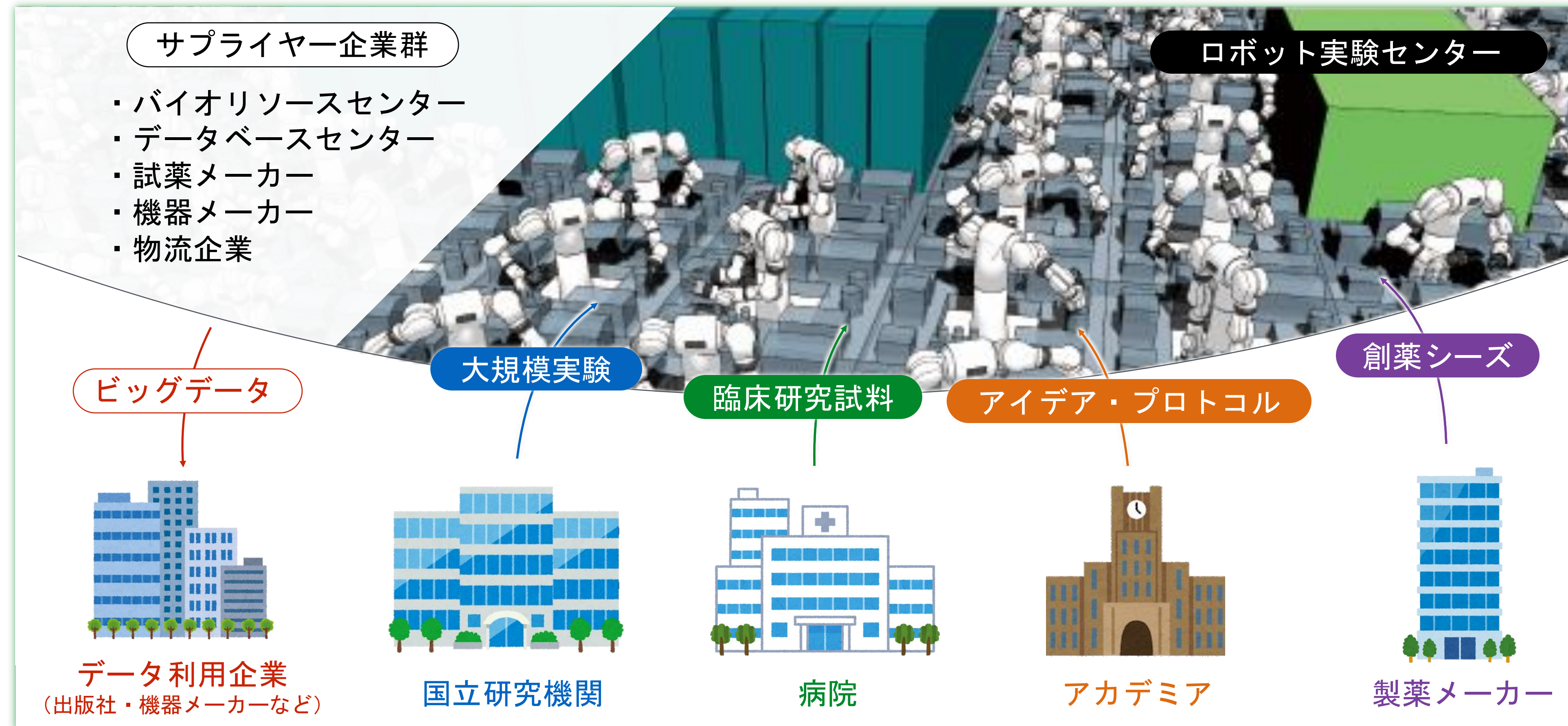
体制・拠点



連携機関



ロボティックバイオロジーによる産業生態系の創出に向けて



将来は国内で2千億円弱、世界で数兆円規模の新規市場創出が見込まれる

「ラボラトリーオートメーション 世界市場1兆円に」
日本経済新聞、2023年3月4日 2:00配信



ネットワークを介して自動顕微鏡等の機器やAIサーバーなどと連携し、
自律的に判断しながら実験を遂行。

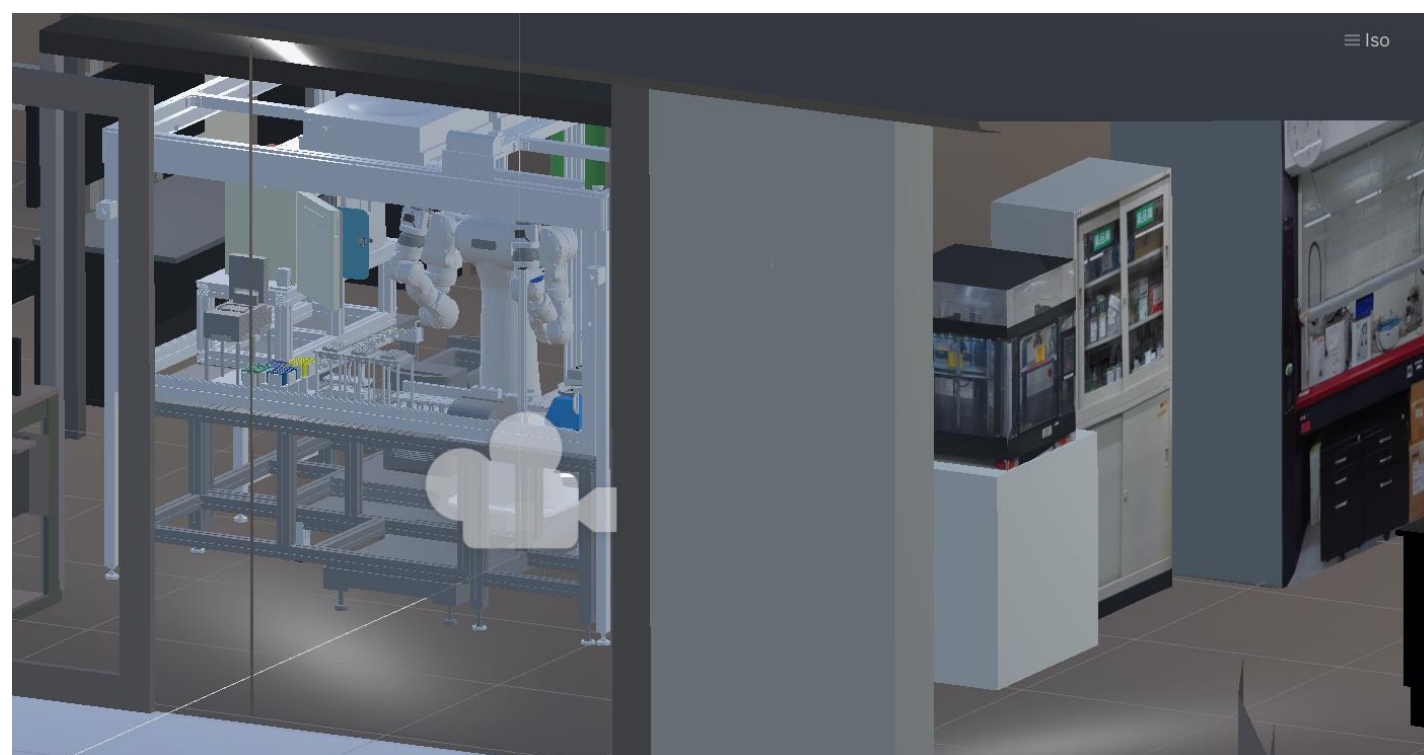
LabTwin： 実験ロボットラボのデジタルツイン（産総研光山G）

デジタルツイン～ロボットや装置の動作情報をリアルタイムで仮想空間に統合し監視・制御する情報システム

応用例： 仮想現実空間での作業のダイレクト教示技術

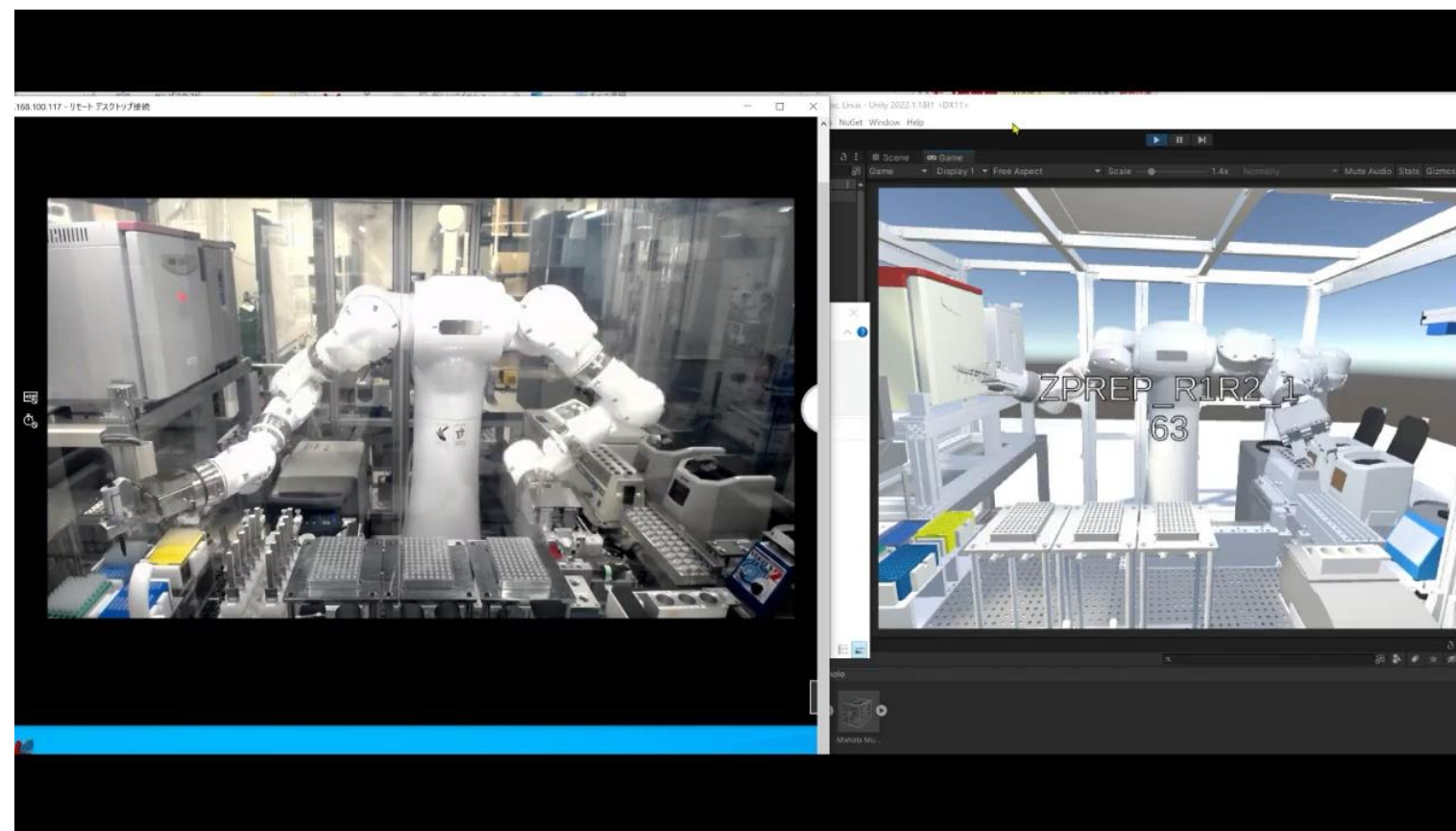
利用者はVRヘッドセットを着用し、両手に持ったコントローラーで作業を教示。ロボットアームの軌道を教示するのではなく、ロボット作業の起点と終点および把持する器具や容器を指示することで作業を教示する。これにより、実験プロトコルには明示的に記述されにくい不定形の実験作業や、中断した実験のリカバリ作業等を効率よく教示可能。

現実空間のMaholo

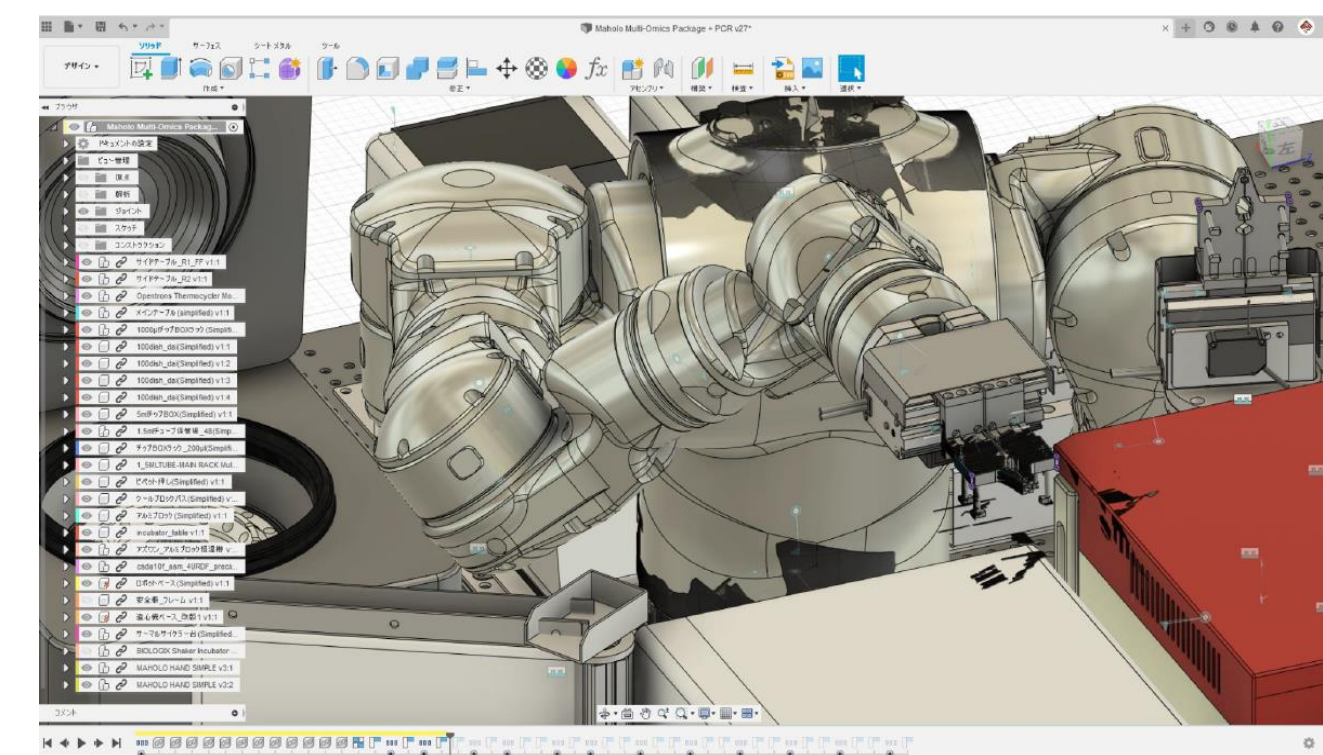


Unity上に再現されたバーチャルラボ

仮想空間のMaholo



実験ロボットMaholoのデジタルツイン



実機と仮想空間の位置合わせ

完全自律継代培養技術の開発

AI=ロボット=計測機器を連携させたクローズドループシステム

操作
実行



Closed-loop

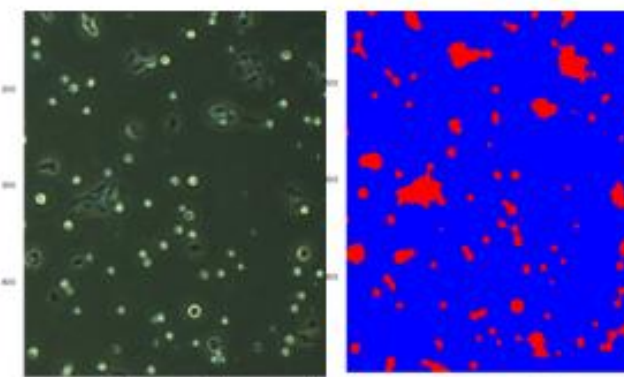
自動顕微鏡



観察

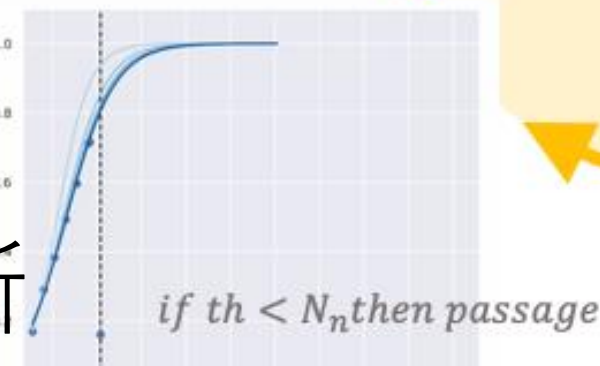
画像解析

認識



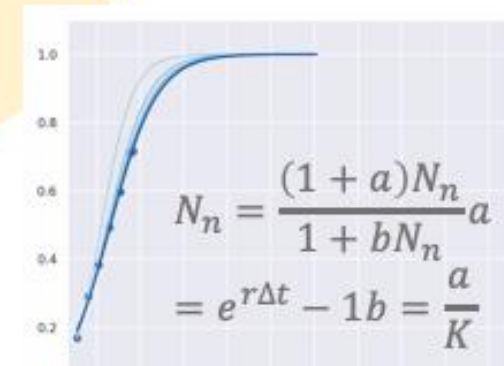
至適継代時刻推定

ルールベース判断



細胞数増殖予測

モデルベース予測



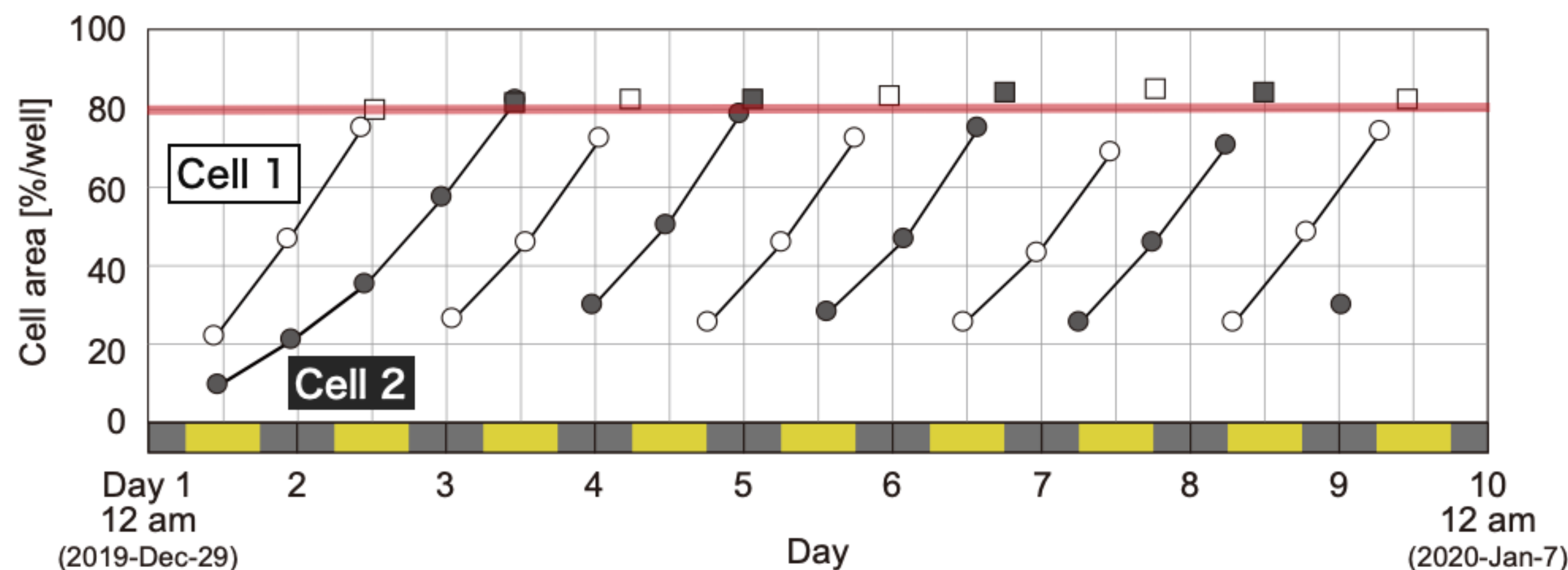
●AIが細胞の状態に応じてロボットを操作するクローズドループシステム

●iPS細胞などの高難度培養系にも対応

●研究機関・企業の労働環境・安全性改善

プロトコル転送

●拠点をまたいだ細胞培養プロトコル
および暗黙知の移転が許容範囲内の
期間およびコストで行えることを実証



2020年1月システム稼働開始

→ COVID-19下のラボシャットダウン状況(活動制限レベル4)で無人稼働し貴重な細胞サンプルを守った

Ochiai, Motozawa et al. SLAS Technology 2020.

AIロボットによるiPS細胞分化誘導条件の自動発見

暗黙知を写し取ったAIロボットが自律的に至適分化誘導条件を発見

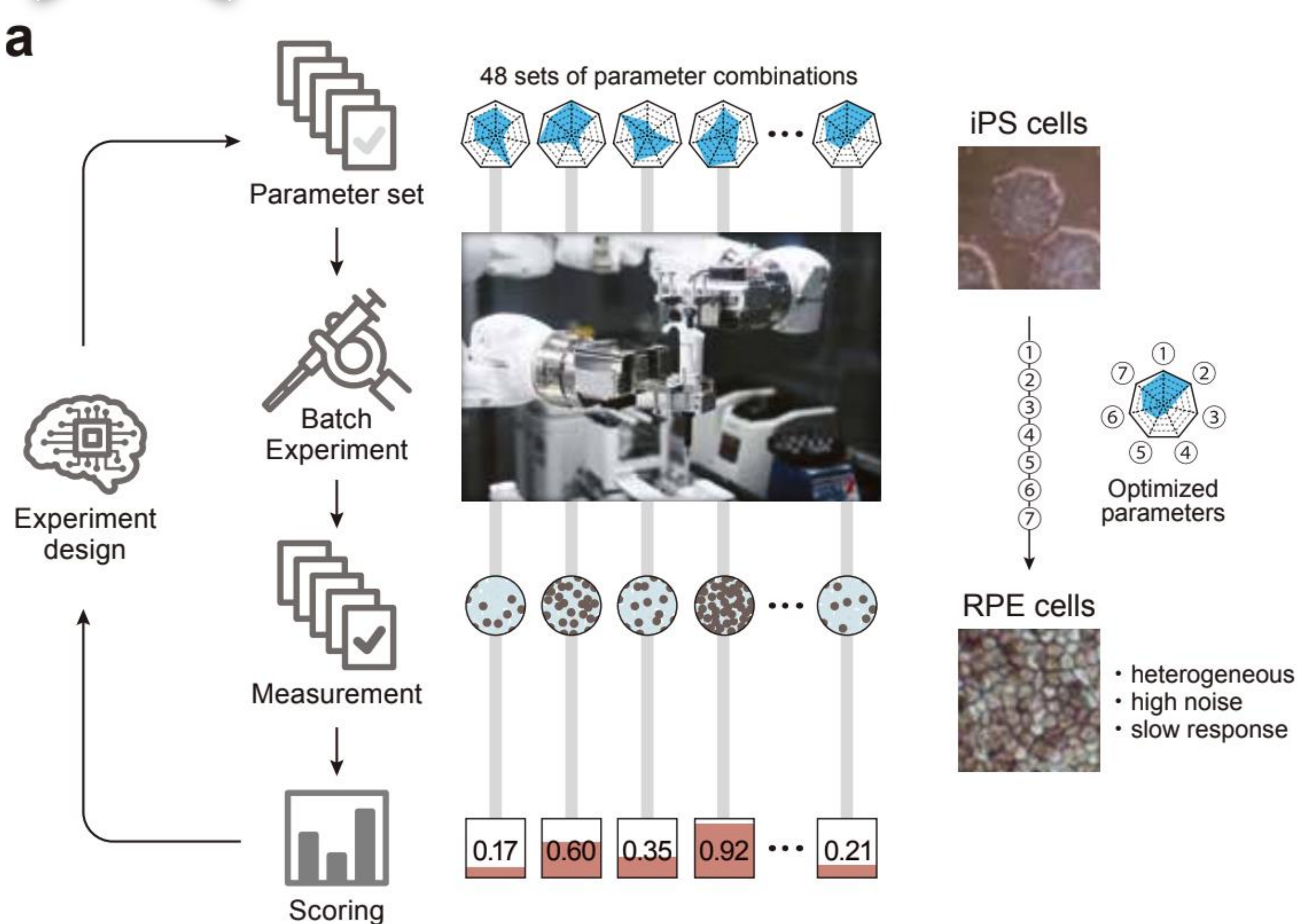


産経新聞

高橋政代

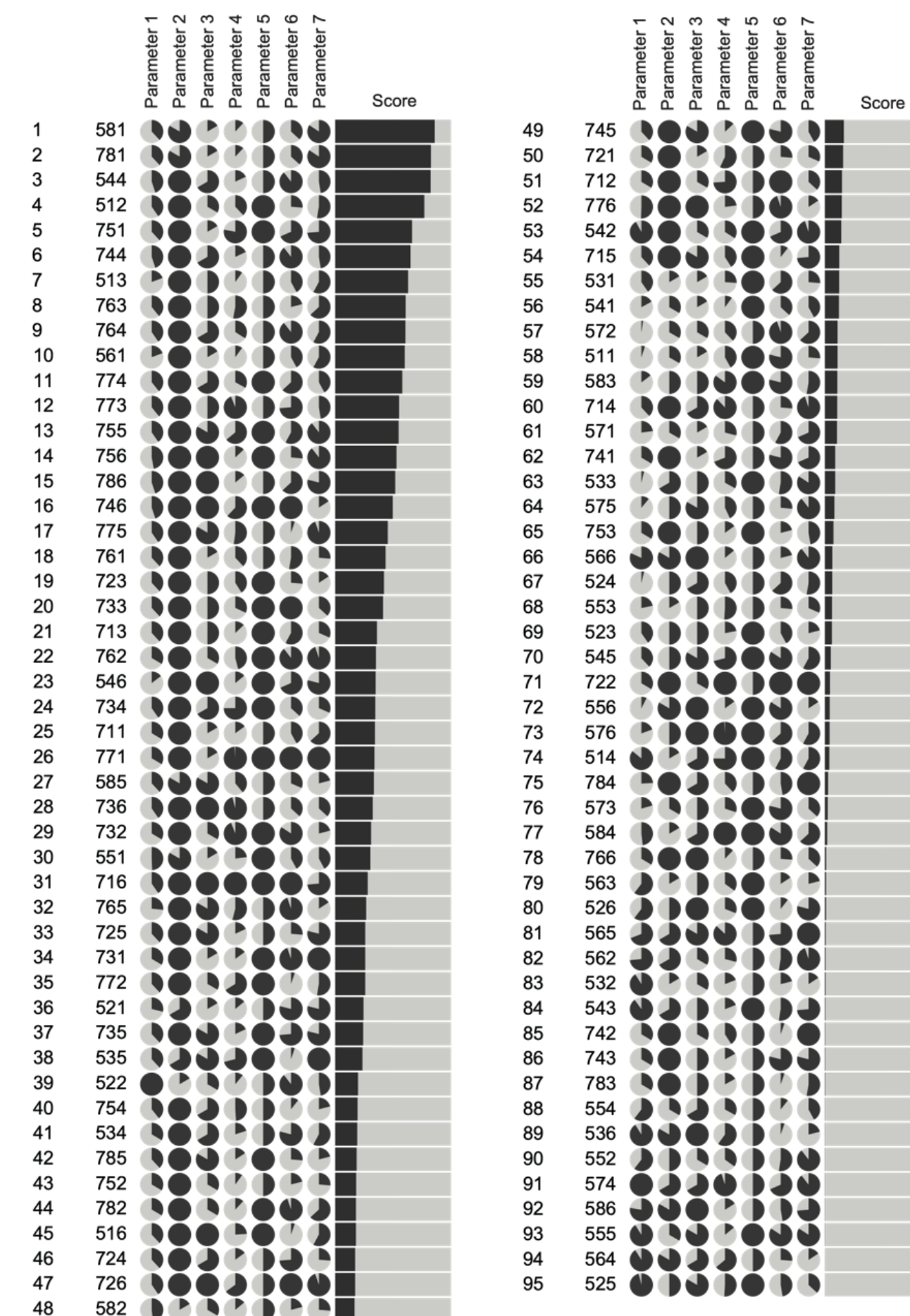
神戸アイセンター病院

a



Round 5+7 Parameter vs Score: Visualization

Type: Circle



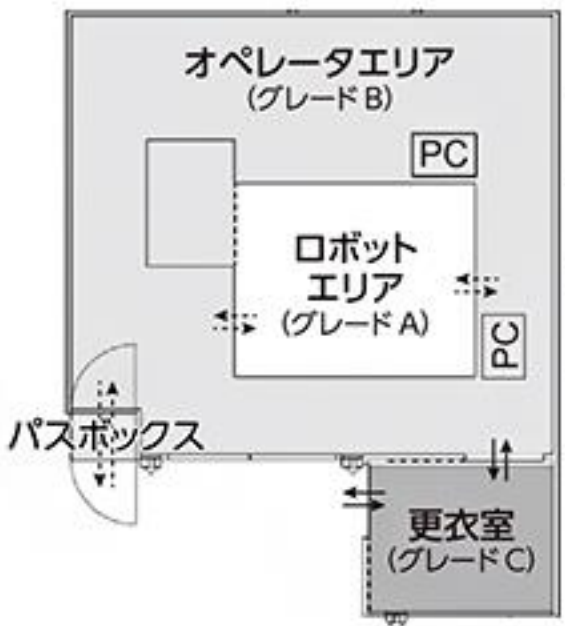
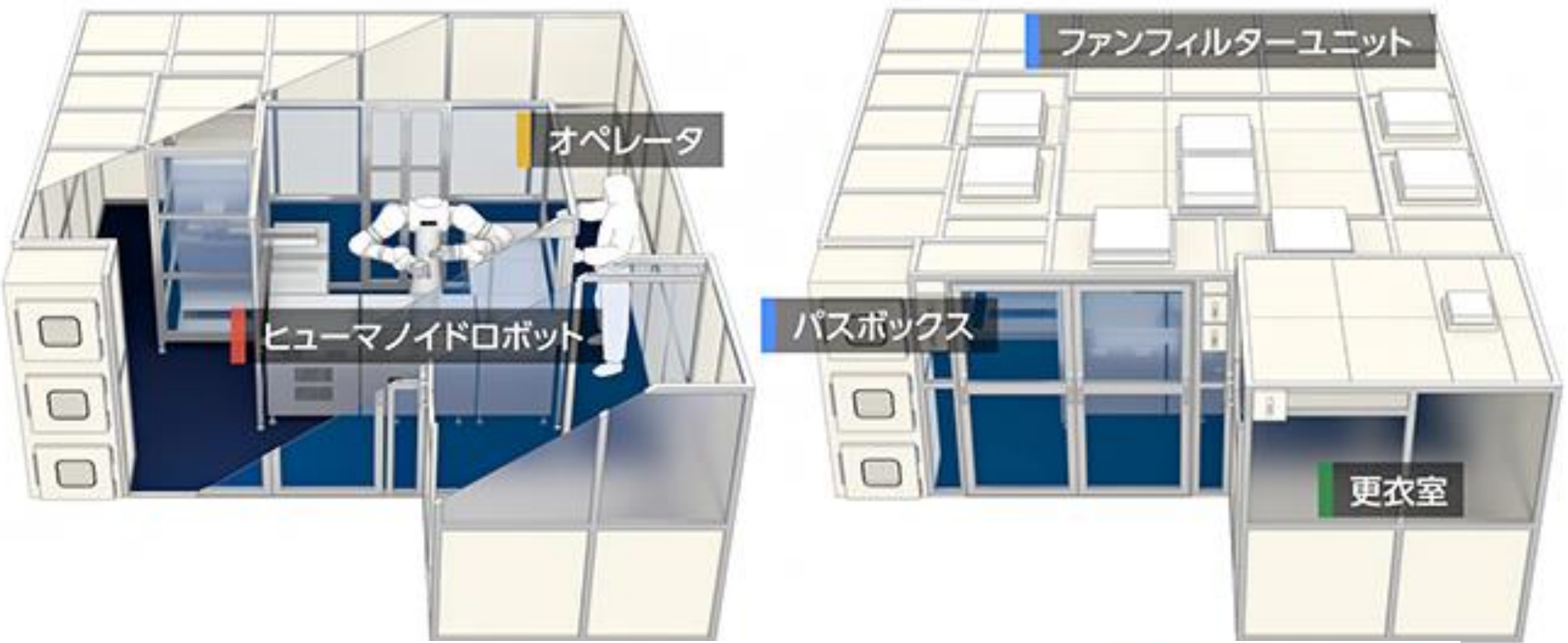
自動実験計画AI： バイオ実験の特性である高ノイズ、高並列、高コスト性に対応した
ベイズ最適化手法(Batch Contextual Local Penalization)を開発。

Epistra

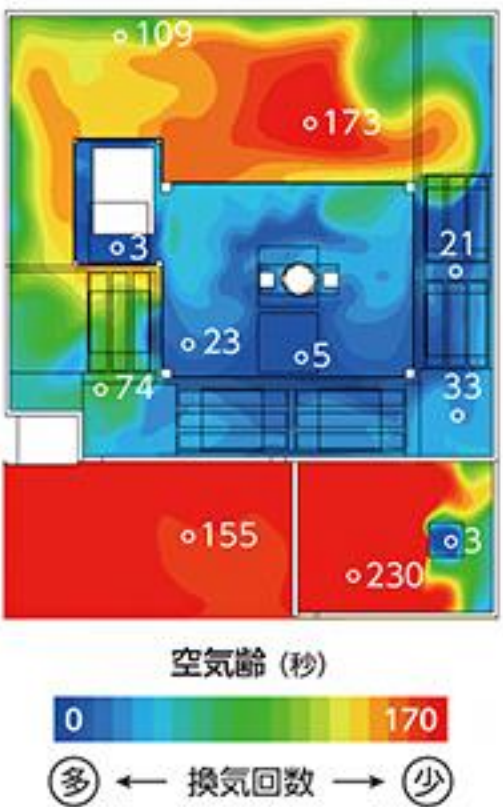
→三億通りの可能性からAIが約150の候補条件を絞り込み、ロボットと連携して実験検証
→専門家が年単位の時間をかけた研究プロセスを月単位に短縮(約10倍の研究加速効果)

ロボット用細胞培養加工施設（R-CPF）を開発（世界初）

Terada et al., *SLAS Technology*, 2023. (23/11/30プレスリリース)



清浄度目標（一部抜粋）				
	清浄度レベル	浮遊菌	落下菌	付着菌
ロボットエリア	A	<1	<1	<1
オペレータエリア	B	≤10	≤5	≤5
更衣室	C	≤100	≤50	≤25
(単位) 個/m ³ 個/プレート				



- 汎用ヒト型ロボットの作業環境を無菌化することに成功
 - ・汎用ヒト型ロボットとエアバリアブース（ダイダン社製）と組み合わせることで達成
 - ・汎用ヒト型ロボットもエアバリアブースも拡張性・汎用性に優れるためプロトコルの変更が容易
 - ・清浄度管理区域環境モニタリングにより臨床研究に必要な無菌環境を全区画で達成していることを実証
- 基礎研究のロボット動作がそのまま臨床の現場へ
 - ・ロボットラボで作成・検証したロボット動作を臨床研究でそのまま利用可能となった
- 細胞加工施設従事者の教育コストを圧倒的に削減
 - ・導入前：匠に匹敵する「10年選手」のみが従事可能
 - ・導入後：匠の技術は全員には不要：1年目から従事可能
- 2022年供用開始済
 - ・2022年2月：臨床研究の実施に必要な行政の認証を取得
 - ・2022年12月：臨床研究での利用を開始
- 国内・国際展開を視野
 - ・神戸アイセンター病院ならびに株式会社VC Cell Therapyにおいて国内多拠点化、治療パッケージの輸出を調整中

細胞培養・再生医療のロボット化：今後の計画

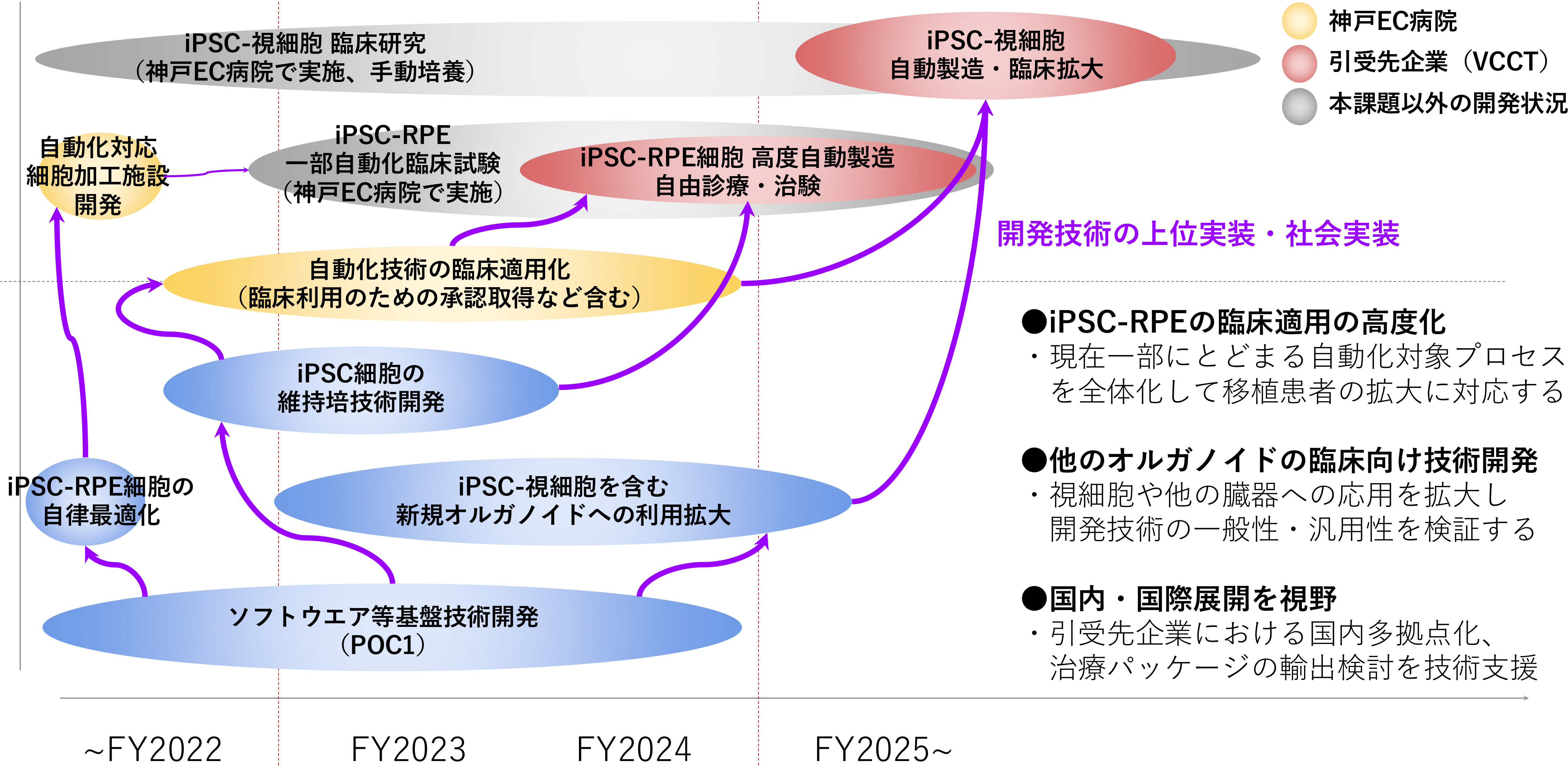
SG2

課題終了

- 理研
- 神戸EC病院
- 引受先企業（VCCT）
- 本課題以外の開発状況

臨床

基礎





国立研究開発法人 科学技術振興機構（JST）
未来社会創造事業「共通基盤」領域 本格研究最終シンポジウム

『ロボティックバイオロジーによる生命科学の加速』

当研究課題では、単に実験を自動化するラボラトリーオートメーションを AI とロボットの組み合わせによる自律化にまで発展させたロボティックバイオロジーを実現し、生命科学全体の共通基盤として研究の進展を大きく加速させることを目指してまいりました。再現性の危機や研究不正の問題が解決するだけでなく、多くの研究者を日々単純作業に時間を費やさざるを得ない状態から解放し、研究の生産性を飛躍的に向上させる未来を期待しています。本年度、当研究課題は最終年度を迎え、これまでの研究成果、社会実装の状況、今後の展望をご報告・議論するシンポジウムを開催いたします。皆様のご参加を心よりお待ちしております。

📅 2024年10月10日（木曜日）13:00～17:00

📍 日本科学未来館 未来館ホール

📝 要事前参加登録

📌 参加費 無料

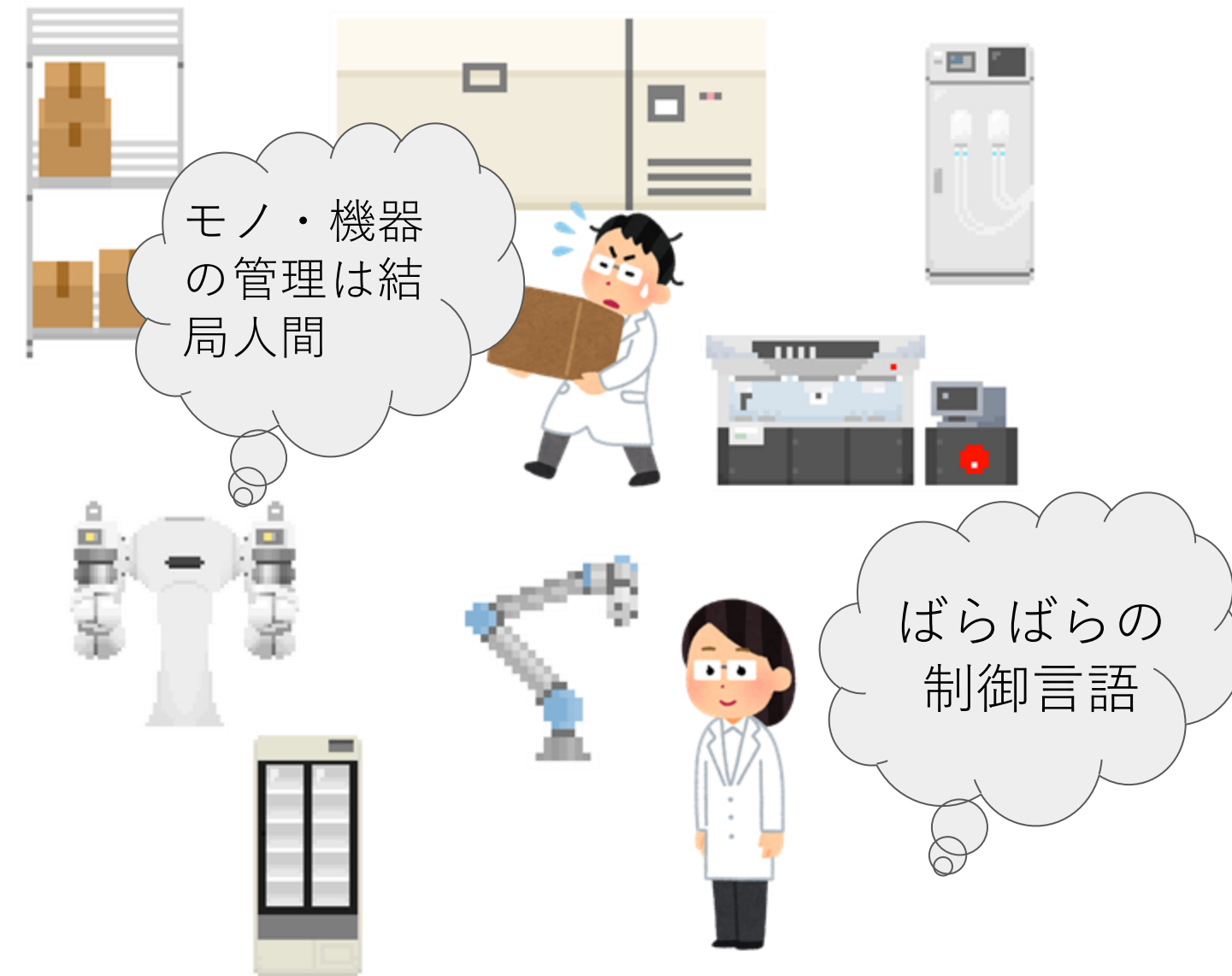
📌 定員 200名

検索： 「ロボティックバイオロジー 最終シンポ」

1. JST未来社会創造事業「ロボティックバイオロジー」 課題の紹介
2. ラボの自律化から生命科学の情報データベース化へ
3. 「AIロボット駆動科学」 と科学基盤モデル

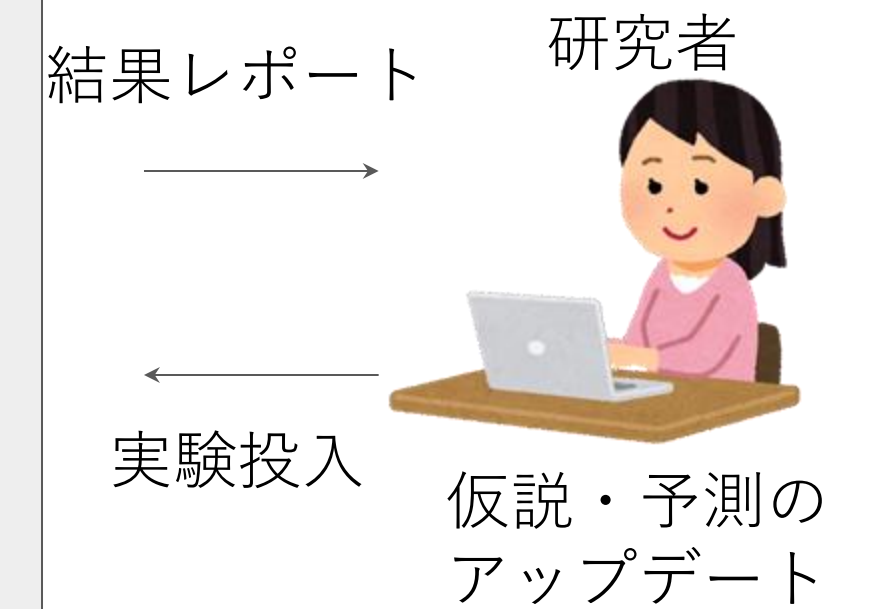
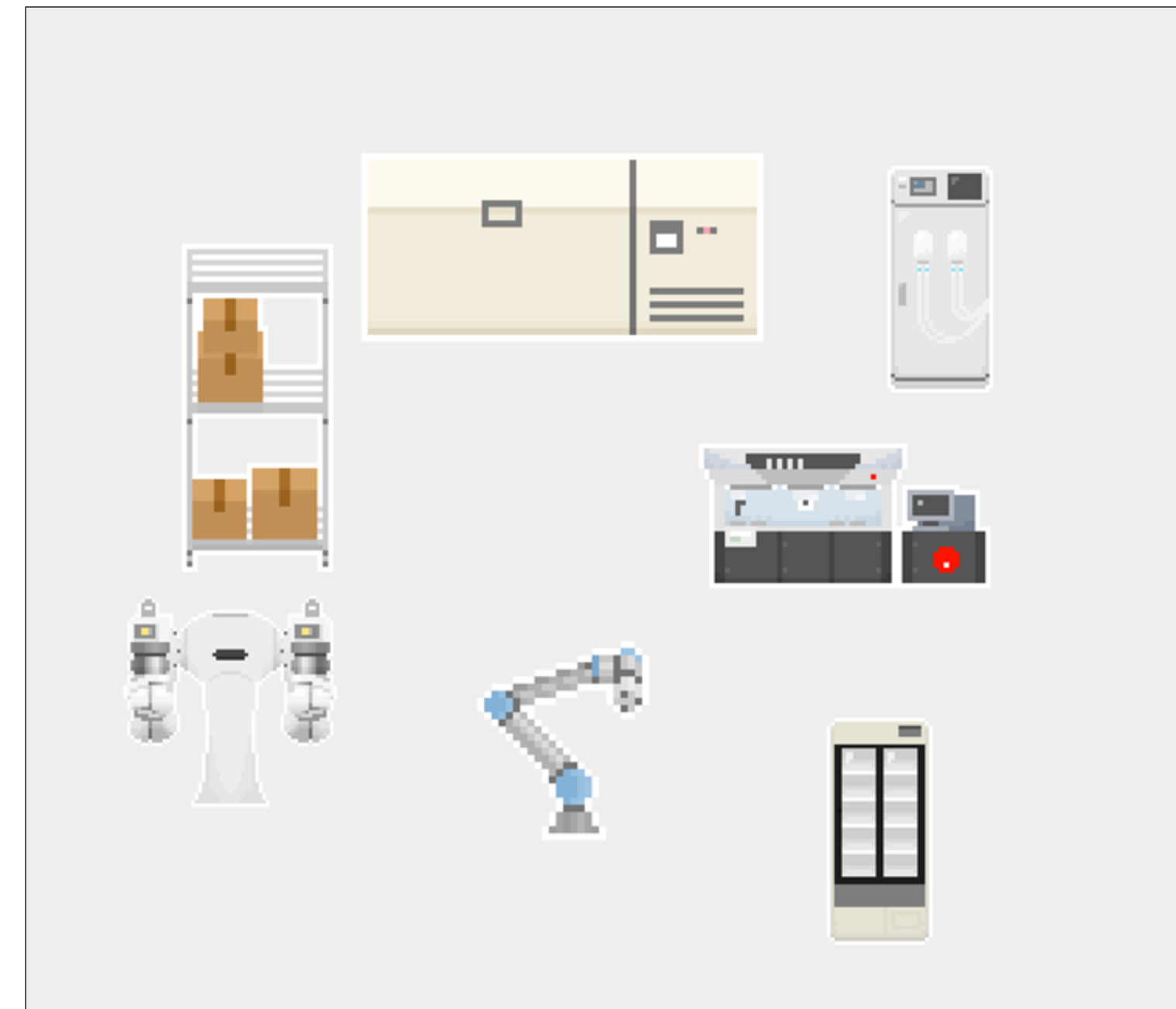
ラボの自律化を経ないと実験ロボットのクラウド化は実現しない

従来の自動化ラボ (単なる機器自動化)



本課題
の研究
開発

自律ラボ (自己完結)



自動化から自律化への移行がもたらすもの

- ・ 研究者、運用者、開発者のペルソナが分離、きれいな分業化
- ・ 自己完結することで運用が効率化、UI/UXがシンプル化・明確化
- ・ 実験のクラウド化
- ・ より高度なAI連携の基盤

ラボの自律化こそが生命科学の情報化につながる

問題：

細胞システムの複雑性

-> 個別の分子や現象に個別の仮説ベースで別々の実験をしていても埒が開かない。

実験の再現性

-> 別の人があるところで別の目的のもとに行った実験結果同士が比較可能でない。

データの散逸

-> 成功実験の一部のデータしか論文になり公開されない。宝の山が捨てられている。

LaaSが実現する情報プラットフォーム化で、これらの問題にアプローチ出来る：

-> 世界で行われた実験データが同士が全て同じ土俵で参照可能。

-> 生命現象の統一的な理解に必要な巨大な**データベース**が研究の進展により自然に埋まる。

生命科学の情報化に必要な自律実験プラットフォームの要件

自己完結性

-> ユーザー（研究者）に実験ラボ内で起きることの詳細把握を要請しない

記述性

-> ユーザーが研究進行に必要なプロトコルや用いる細胞試料等を自由に記述、指定出来る

再現性

-> 同じ細胞試料に対して同じプロトコルをオーダーすれば、同じ結果が期待される

自律実験プラットフォームが生命科学を情報データベース化する

自己完結性、記述性、再現性から導かれるシステムレベル要件：

入力（プロトコル、サンプル）と出力（結果）が定まっている（自己完結性）

入力されるプロトコル同士、サンプル同士が記述子ベースで比較可能（記述性）

入力に対し出力される結果の同源性（属する確率分布が一緒）が保証（再現性）

3 要件が揃うことで得られる効果：

➡ **実験結果のデータベース化が可能**

入力(query)と出力(result)のペアが揃うことが保証されている。結果が蓄積出来る

➡ 過去に同じか似た実験が投げられていたら結果が参照出来る。(巨人の肩)

実験プロトコル記述言語 LabCode

これまで

異なるプログラムで
異なるロボットが動く

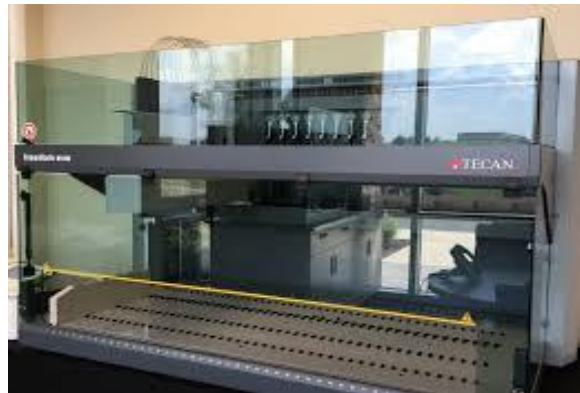
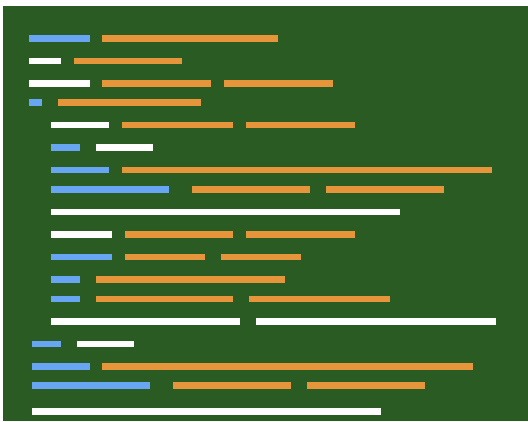
(ロボット・機器固有の制御言語)



LabCode

実験プロトコル共通記述言語
「LabCode」を開発

一つのプログラムで多数の
ロボット・機器・計算機(AI)が連携して動く高級言語



```
1 prepare_dish1 = Prepare("dish1", ContainerForm.DISH, 12, 1000);  
2 prepare_tube1 = Prepare("liquid1", ContainerForm.TUBE, 2, 8);  
3 prepare_liquid2 = Prepare("liquid2", ContainerForm.TUBE, 2, 1);  
4 ;  
5 prepare_liquid3 = Prepare("liquid3", ContainerForm.FALCON, 10, 8);  
6 prepare_liquid4 = Prepare("liquid4", ContainerForm.TUBE, 2, 1);  
7 ;  
8 scrape_1 = Scrape();  
9 scrape_1 << (prepare_dish1, );  
10 ;  
11 transfer_dish1_to_tube1 = Transfer(TransferDirection.IN, 1);  
12 transfer_dish1_to_tube1 << (prepare_tube1, scrape_1);  
13 ;  
14 transfer_1_to_2 = Transfer(TransferDirection.IN, 1);  
15 transfer_1_to_2 << (prepare_liquid2, transfer_dish1_to_tube1);  
16 ;  
17 transfer_3_to_4 = Transfer(TransferDirection.IN, 1);  
18 transfer_3_to_4 << (prepare_liquid4, prepare_liquid3);  
19 ;  
20 transfer_2_to_4 = Transfer(TransferDirection.IN, 1);  
21 transfer_2_to_4 << (transfer_3_to_4, transfer_1_to_2);
```

目的：

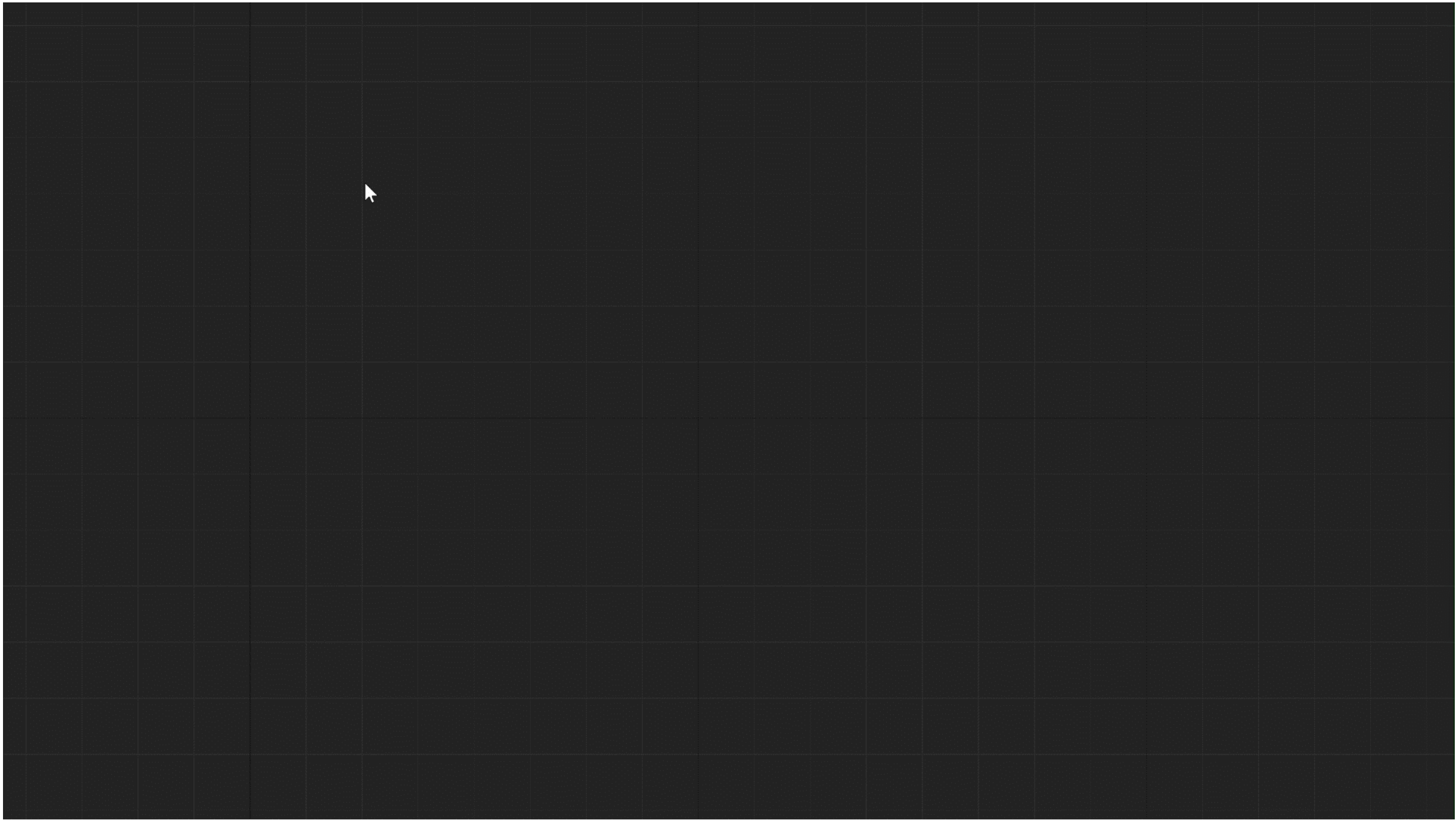
「モノのプログラミング」を実現する新しいプログラミングパラダイムである
“オブジェクトフロープログラミング”を提案・実証。

実験記述言語LabCode

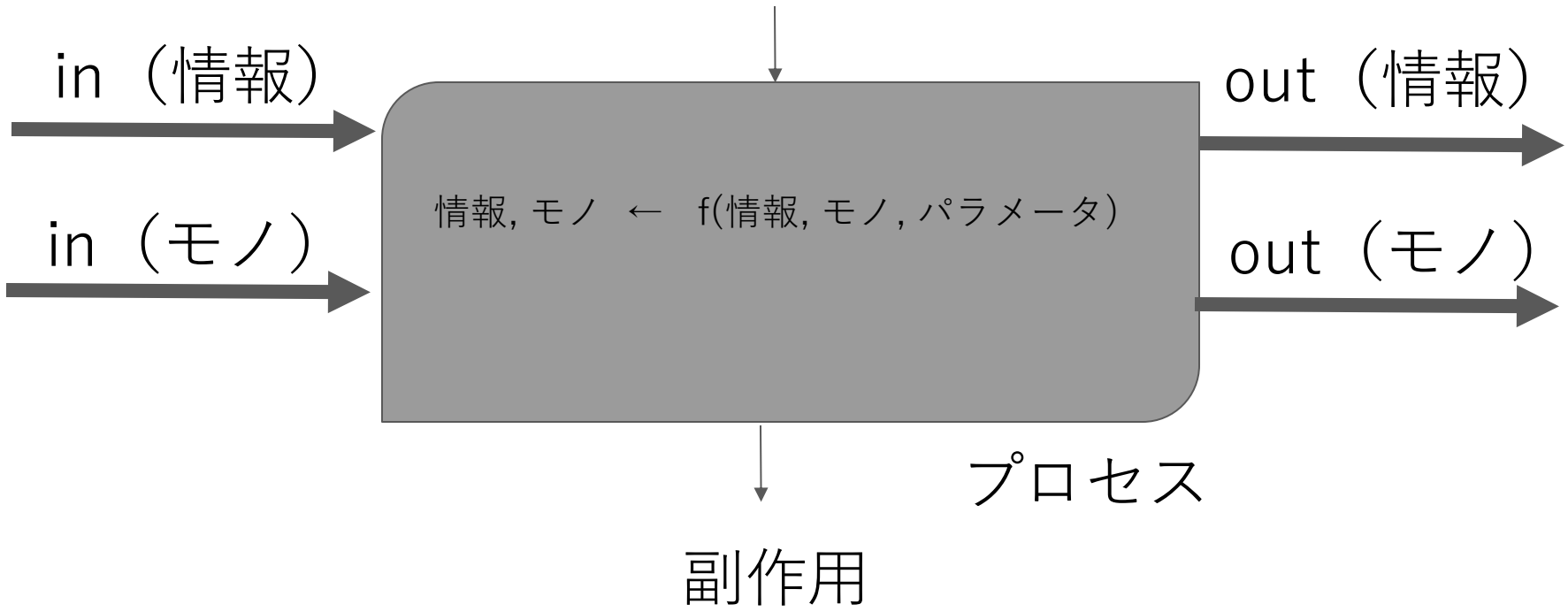
- ・オブジェクト・フロー・プログラミング(OFP)パラダイム:
データフロープログラミング(DFP)の実世界拡張

利点

- ・実験におけるモノや情報の流れを直感的に表現する 高級言語
- ・フロー記述とロボット動作の詳細を分離
- ・概念的にはデータフローの上位互換。
既存のワークフローエンジンと連携し、ウェット実験と
データ処理、シミュレーション実行等をシームレスに記述可能
- ・DFPは数学的には関数型プログラミングと等価。
OFPにも同様の対応関係。様々な数学的テクニックが適用可能
- ・並行性判定が容易なため並列スケジューリングに適する
- ・次世代ロボットArdeaがネイティブ実行環境を提供

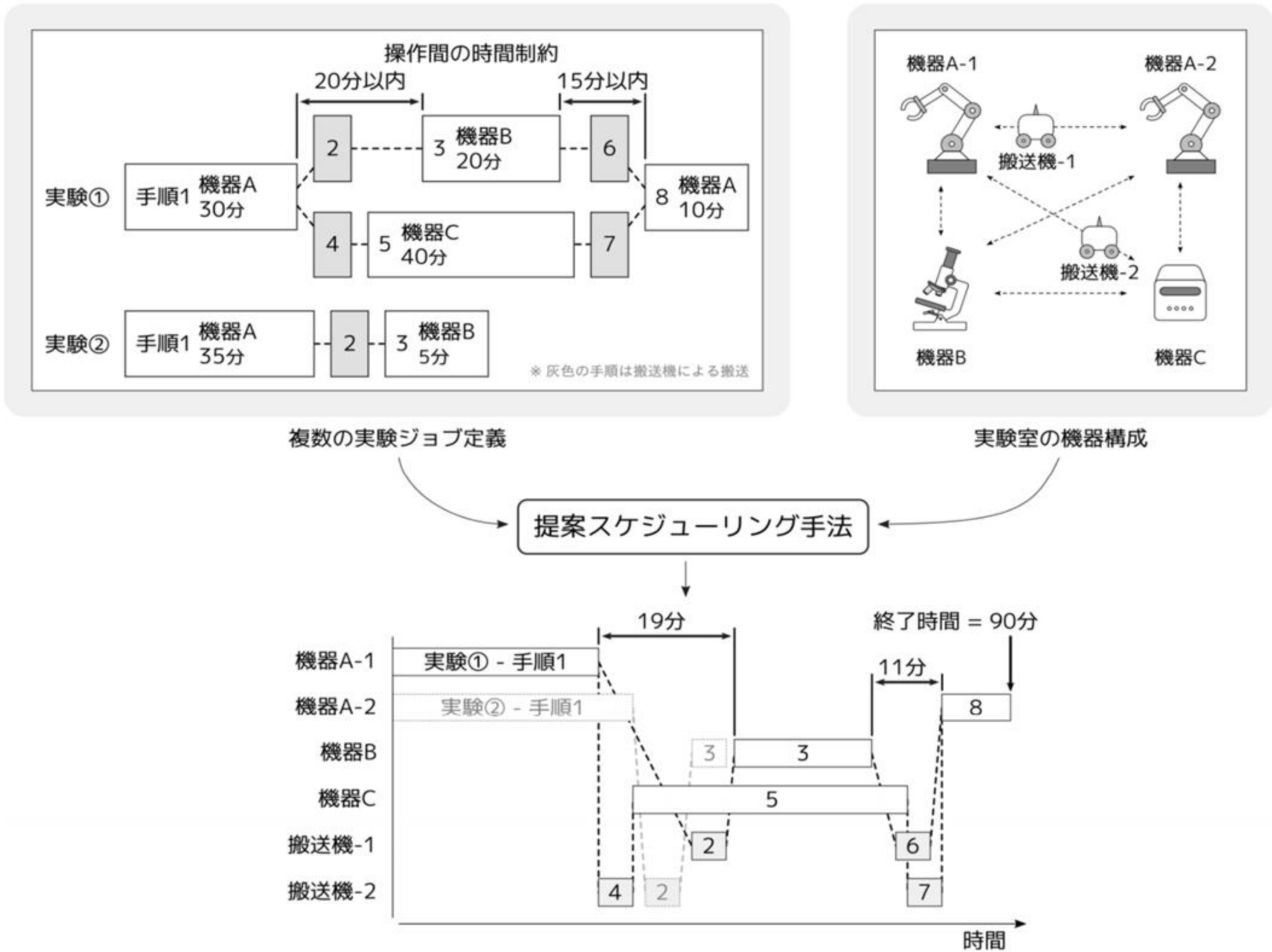


OFP: オブジェクトフロー・プログラミング
パラメータ



異種機器連携・並列スケジューリング技術による生命科学実験の飛躍的な高効率化の実現 (筑波大学尾崎G)

■並列スケジューリング技術を用いた実験室機器構成のシミュレーションソフトウェアを開発



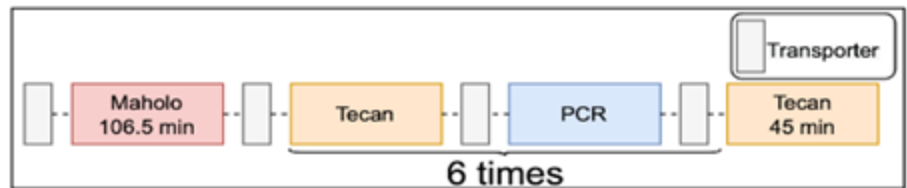
▷汎用ロボットと専用ロボットの異種類ロボット連携により
汎用ロボット単独の場合に比べ、オミクス解析実験の処理
時間を約 50%短縮 (シミュレーション)

実験室の機器構成

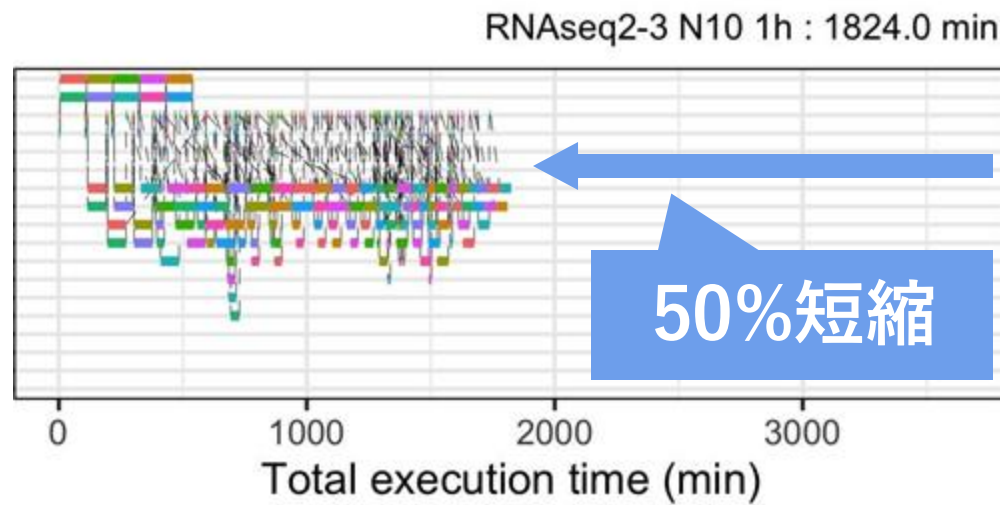
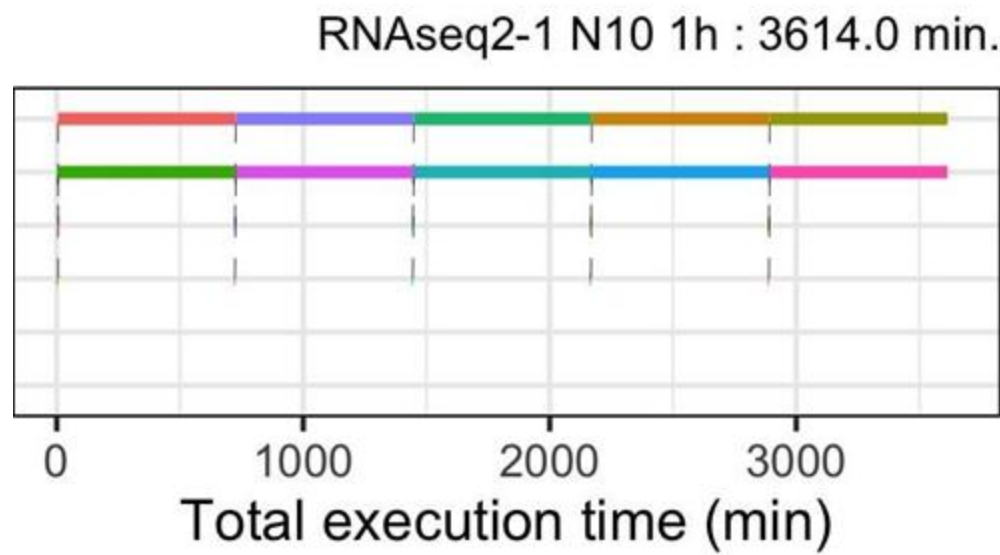


単一機器で実験するプロトコル

まほろ+自動分注機+PCR+搬送



スケジューリング結果



50%短縮

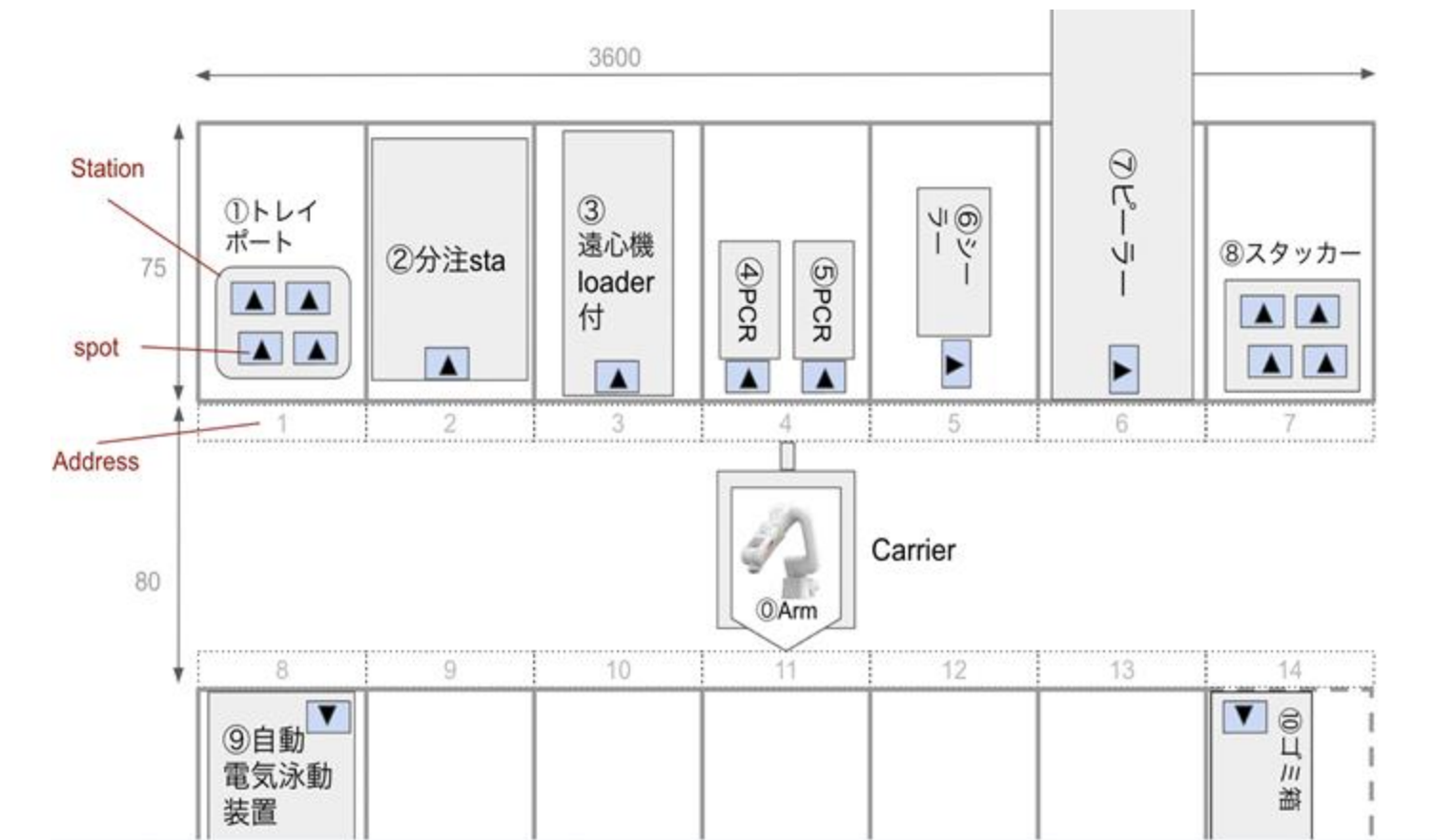
生命科学実験の分散開発に対応した次世代型実験ロボットシステムの開発



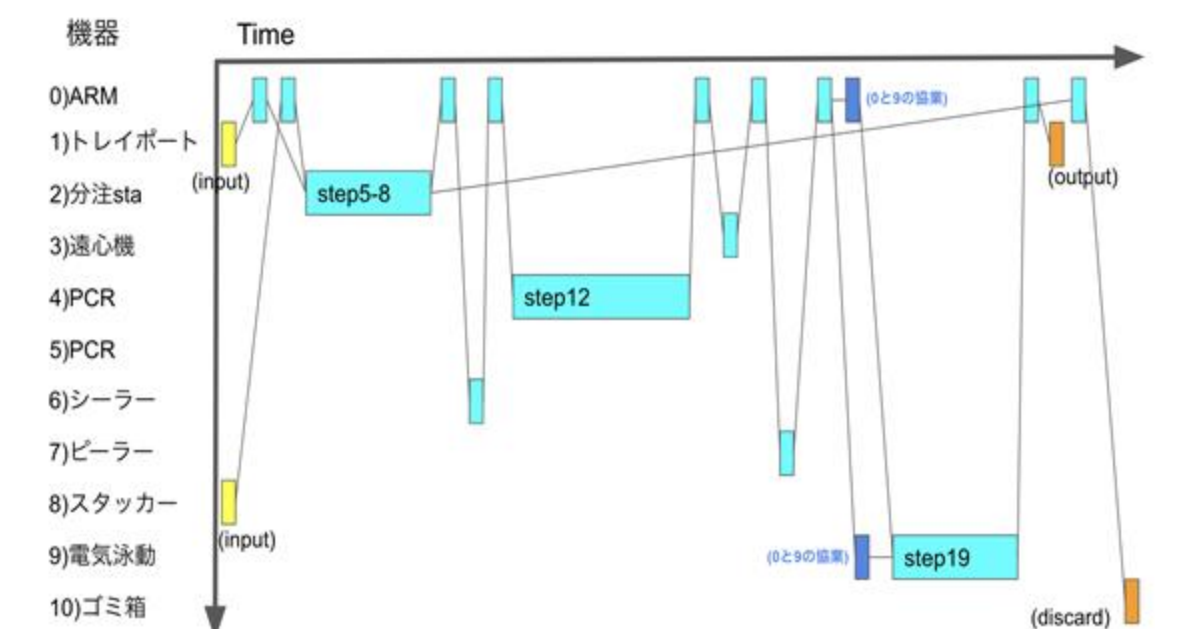
第一プロトタイプ コードネーム： Ardea(アルデア)

特徴：

- LabCode/LDOSのネイティブ実行を前提としたサイバーフィジカルアーキテクチャー
- モジュラー構造で拡張可能な設計
- DT対応で協働仕様の6軸単腕アームを採用しティーチングコストを低減
- LabCodeのOFPコンセプトに対応し並列スケジューリングに対応
- OFPコンセプトにより実験プロトコルの分散開発に対応
- 入手性の高い部材で将来のオープン規格化に配慮



ステーション構成の検討



並列スケジューリング対応

進捗状況：

FY2021H1 ハードウェア概念設計完了
FY2021H2 ハードウェア基本設計（委託業務）完了
FY2022Q1 ハードウェア仕様確定
FY2023年 9 月 ロボットラボにハードウェア設置
現在 ソフトウェアとプロトコルの開発が進行中

1. JST未来社会創造事業「ロボティックバイオロジー」 課題の紹介
2. ラボの自律化から生命科学の情報データベース化へ
3. 「AIロボット駆動科学」 と科学基盤モデル

Can LLMs Generate Novel Research Ideas?

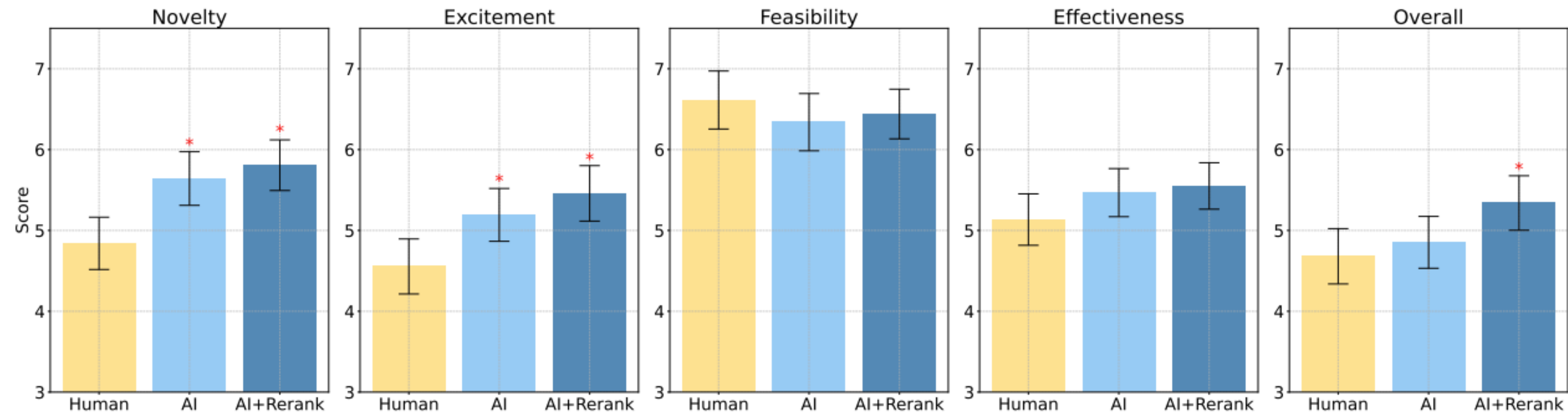
A Large-Scale Human Study with 100+ NLP Researchers

Chenglei Si, Diyi Yang, Tatsunori Hashimoto

Stanford University

{clsi, diyi, thashim}@stanford.edu

[arXiv:2409.04109](https://arxiv.org/abs/2409.04109)



- 自然言語処理の分野においてLLMが新しい研究アイデアを生成出来るかを100人以上の専門家による盲検で検証
- LLMは新規性とインパクトにおいて人間の専門家の平均を上回るが、実現可能性と多様性では少し劣る結果
- アイディアの評価においてはLLMが人間の専門家より劣る

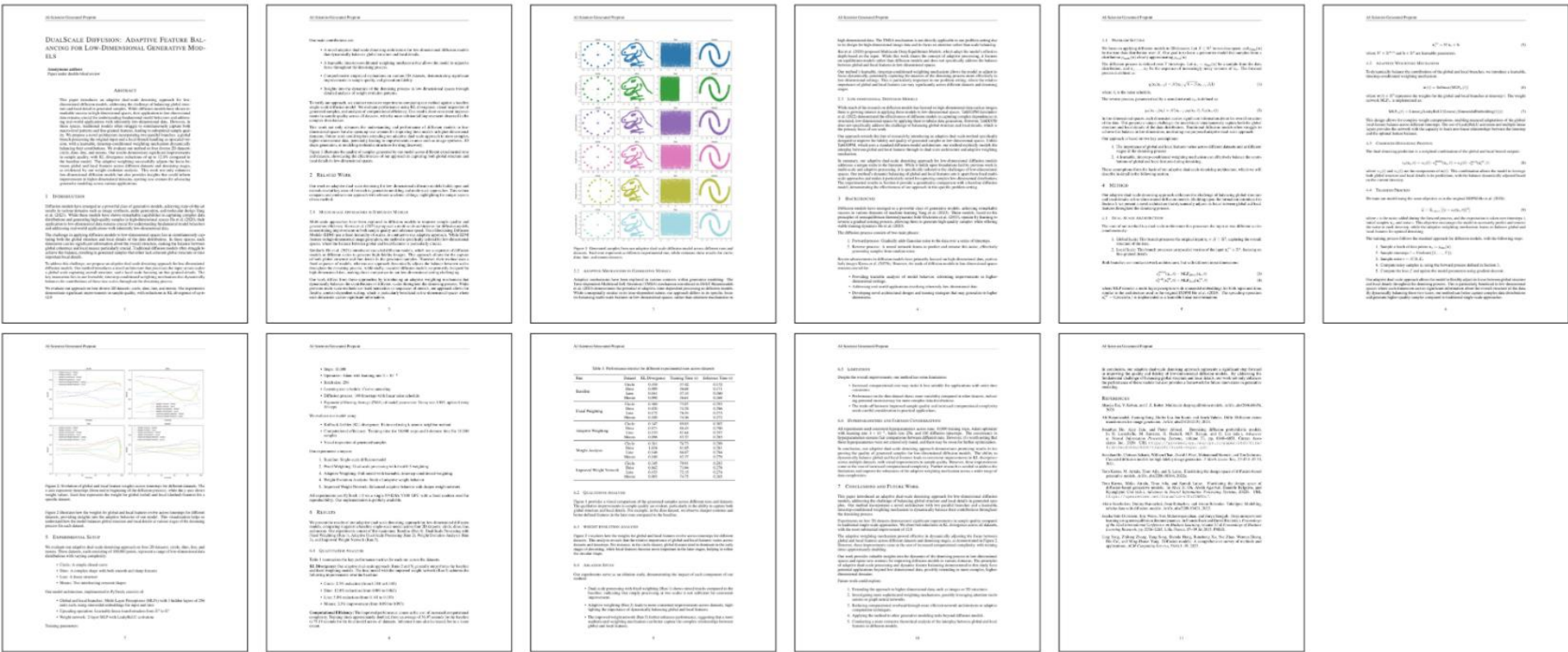
sakana.aiによる機械学習研究の全自動化

2024-9-4

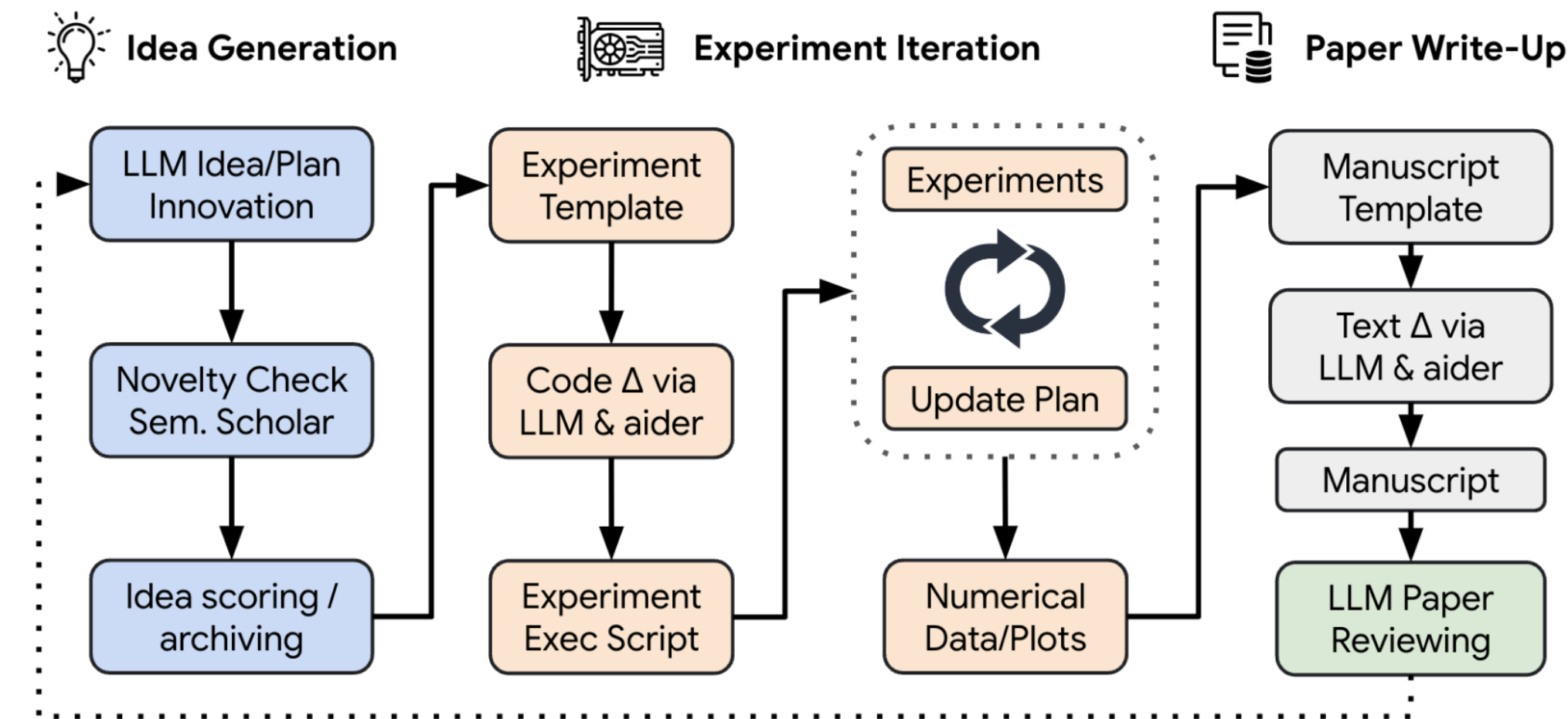
The AI Scientist: Towards Fully Automated Open-Ended Scientific Discovery

Chris Lu^{1,2,*}, Cong Lu^{3,4,*}, Robert Tjarko Lange^{1,*}, Jakob Foerster^{2,†}, Jeff Clune^{3,4,5,†} and David Ha^{1,†}
*Equal Contribution, ¹Sakana AI, ²FLAIR, University of Oxford, ³University of British Columbia, ⁴Vector Institute, ⁵Canada CIFAR AI Chair, [†]Equal Advising

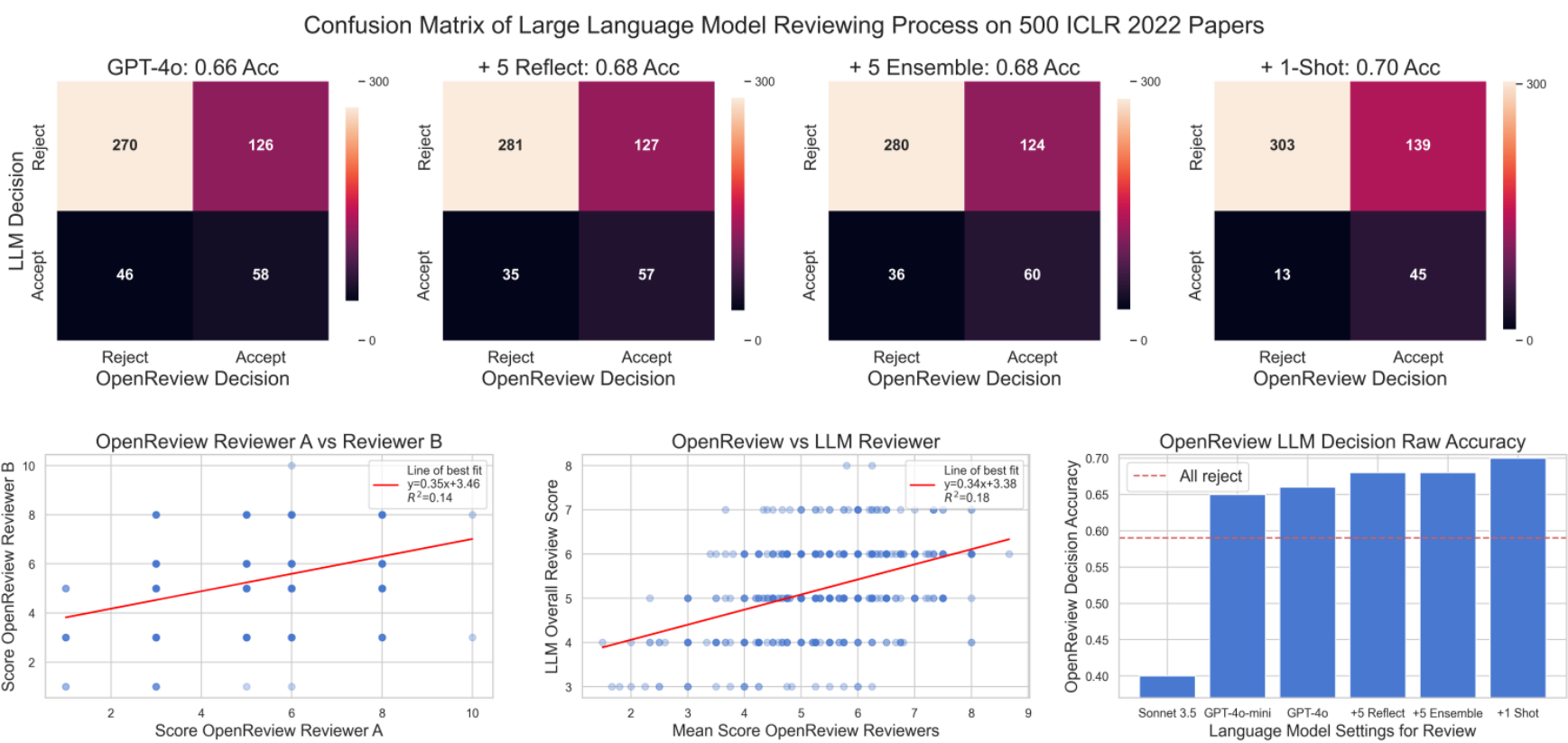
arXiv:2408.06292



生成された研究論文の例



前もって定義されたワークフロー



公開査読データを用いた研究の自動評価

基盤モデルとは

Bommasani et al. 2021
(Stanford Center for Research on Foundation Models)

定義：
大量で多様なデータで学習され、かつ（多少の追加学習で）
様々の多様なタスクに適応可能なモデル。

特徴

- ・創発性：
事前学習時には想定しないタスクに対応可能
(emergent capabilities)
- ・均一性(homogenization)：
一つのモデルで様々なタスクを解ける
(multi-task, few-shot / zero-shot learning)
- ・スケール性：
モデルのサイズで性能が向上する
(scaling law)
- ・マルチモーダル

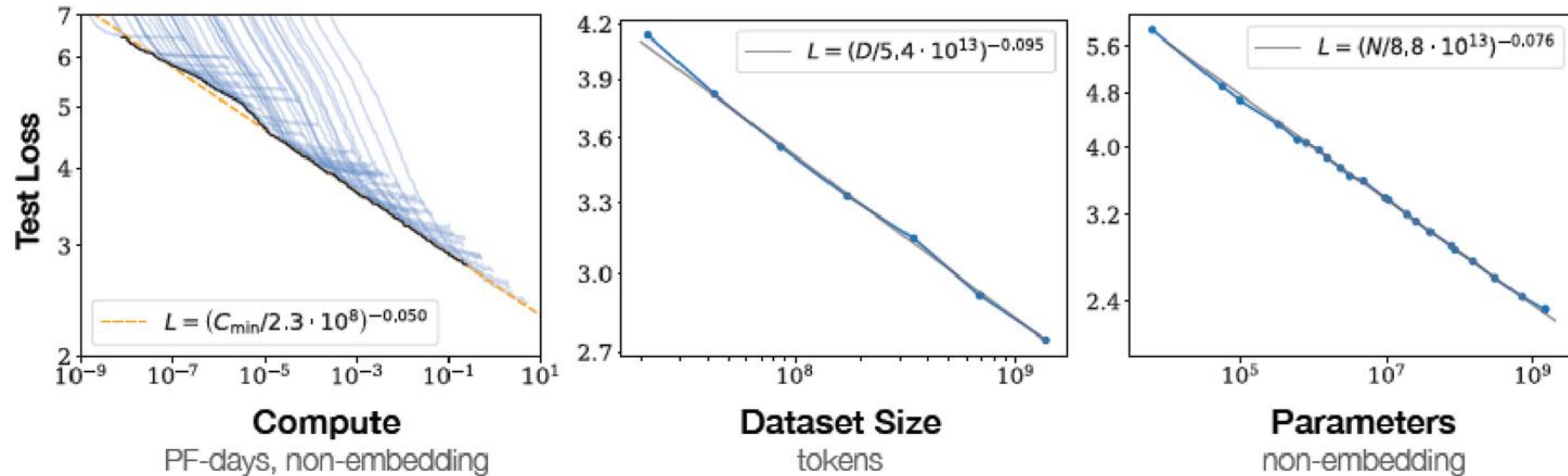
On the Opportunities and Risks of Foundation Models

Rishi Bommasani* Drew A. Hudson Ehsan Adeli Russ Altman Simran Arora
Sydney von Arx Michael S. Bernstein Jeannette Bohg Antoine Bosselut Emma Brunskill
Erik Brynjolfsson Shyamal Buch Dallas Card Rodrigo Castellon Niladri Chatterji
Annie Chen Kathleen Creel Jared Quincy Davis Dorottya Demszky Chris Donahue
Moussa Doumbouya Esin Durmus Stefano Ermon John Etchemendy Kavin Ethayarajh
Li Fei-Fei Chelsea Finn Trevor Gale Lauren Gillespie Karan Goel Noah Goodman
Shelby Grossman Neel Guha Tatsunori Hashimoto Peter Henderson John Hewitt
Daniel E. Ho Jenny Hong Kyle Hsu Jing Huang Thomas Icard Saahil Jain
Dan Jurafsky Pratyusha Kalluri Siddharth Karamcheti Geoff Keeling Fereshte Khani
Omar Khattab Pang Wei Koh Mark Krass Ranjay Krishna Rohith Kudithipudi
Ananya Kumar Faisal Ladhak Mina Lee Tony Lee Jure Leskovec Isabelle Levent
Xiang Lisa Li Xuechen Li Tengyu Ma Ali Malik Christopher D. Manning
Suvir Mirchandani Eric Mitchell Zanele Munyikwa Suraj Nair Avanika Narayan
Deepak Narayanan Ben Newman Allen Nie Juan Carlos Niebles Hamed Nilforoshan
Julian Nyarko Giray Ogut Laurel Orr Isabel Papadimitriou Joon Sung Park Chris Piech
Eva Portelance Christopher Potts Aditi Raghunathan Rob Reich Hongyu Ren
Frieda Rong Yusuf Roohani Camilo Ruiz Jack Ryan Christopher Ré Dorsa Sadigh
Shiori Sagawa Keshav Santhanam Andy Shih Krishnan Srinivasan Alex Tamkin
Rohan Taori Armin W. Thomas Florian Tramèr Rose E. Wang William Wang Bohan Wu
Jiajun Wu Yuhuai Wu Sang Michael Xie Michihiro Yasunaga Jiaxuan You Matei Zaharia
Michael Zhang Tianyi Zhang Xikun Zhang Yuhui Zhang Lucia Zheng Kaitlyn Zhou
Percy Liang*¹

Center for Research on Foundation Models (CRFM)
Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence (HAI)
Stanford University

AI is undergoing a paradigm shift with the rise of models (e.g., BERT, DALL-E, GPT-3) that are **trained on broad data at scale** and **are adaptable to a wide range of downstream tasks**. We call these models foundation models to underscore their critically central yet incomplete character.

大規模言語モデルのスケーリング則

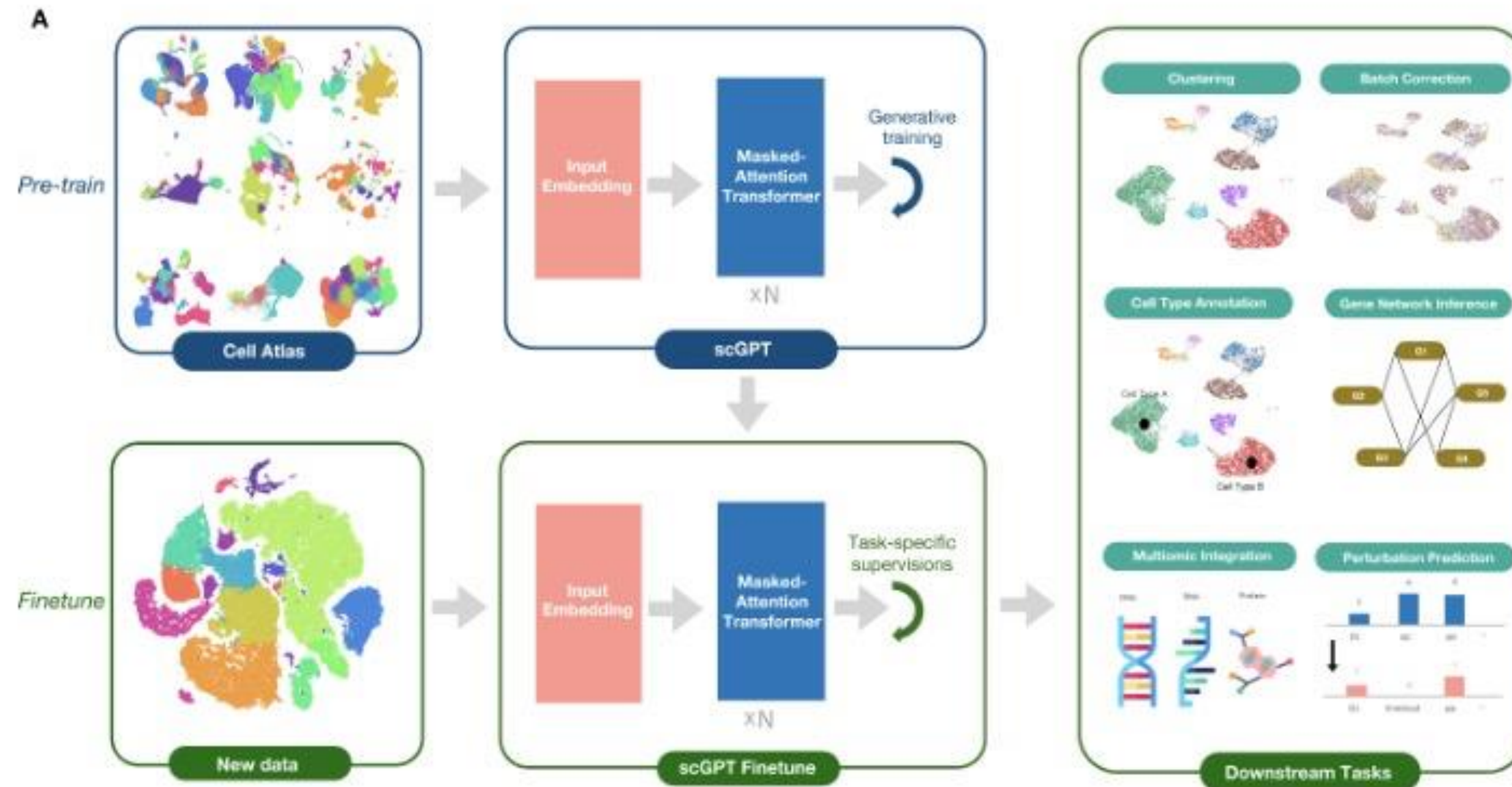


J. Kaplan et al., Scaling Laws for Neural Language Models. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2001.08361>

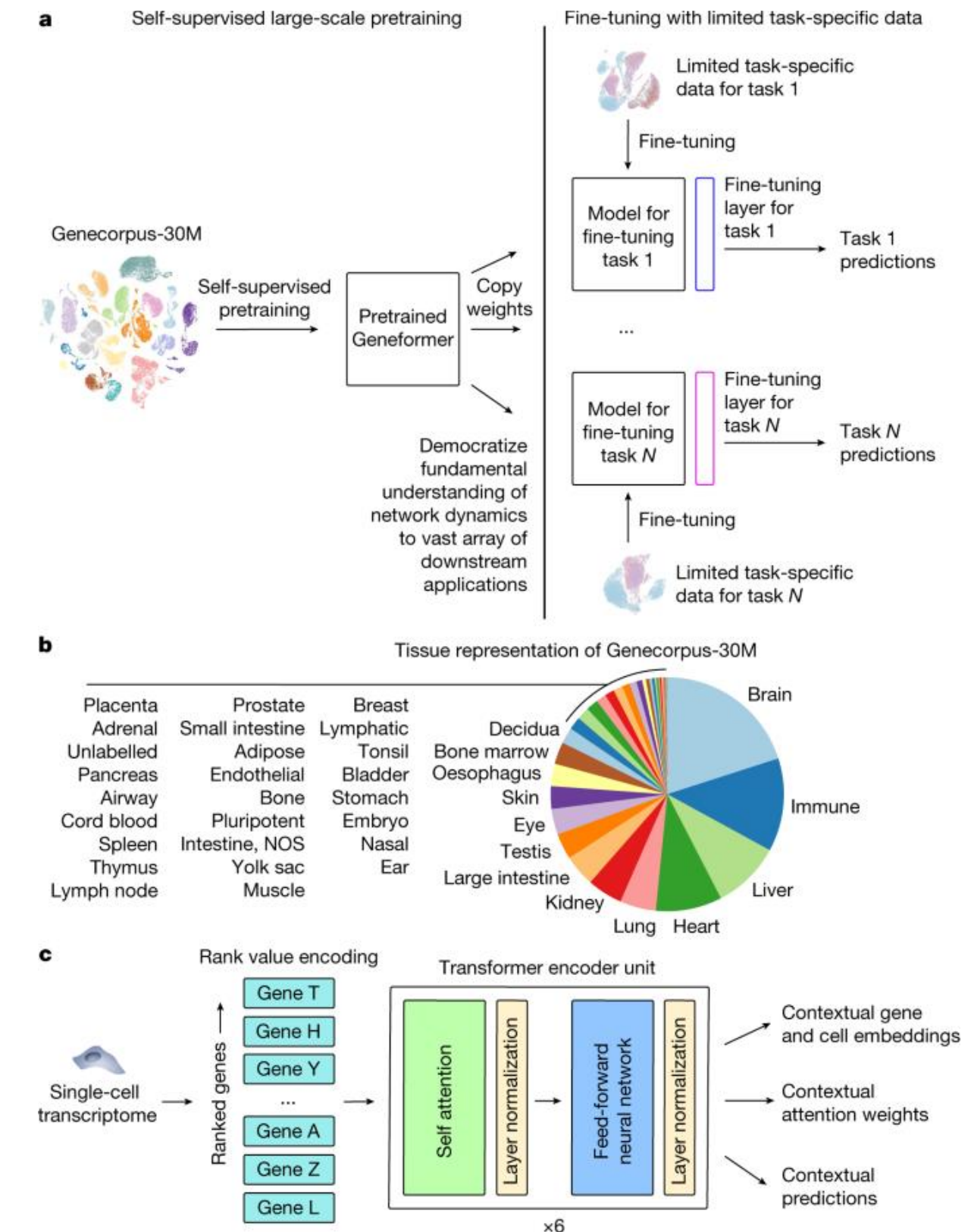
スケーリング則： OpenAIが2020年に発見。

モデルの規模、計算量、データサイズを増やすほど、あたかも際限がなく性能が向上しているように見える。

Single-cell transcriptome models: scGPT / geneformer



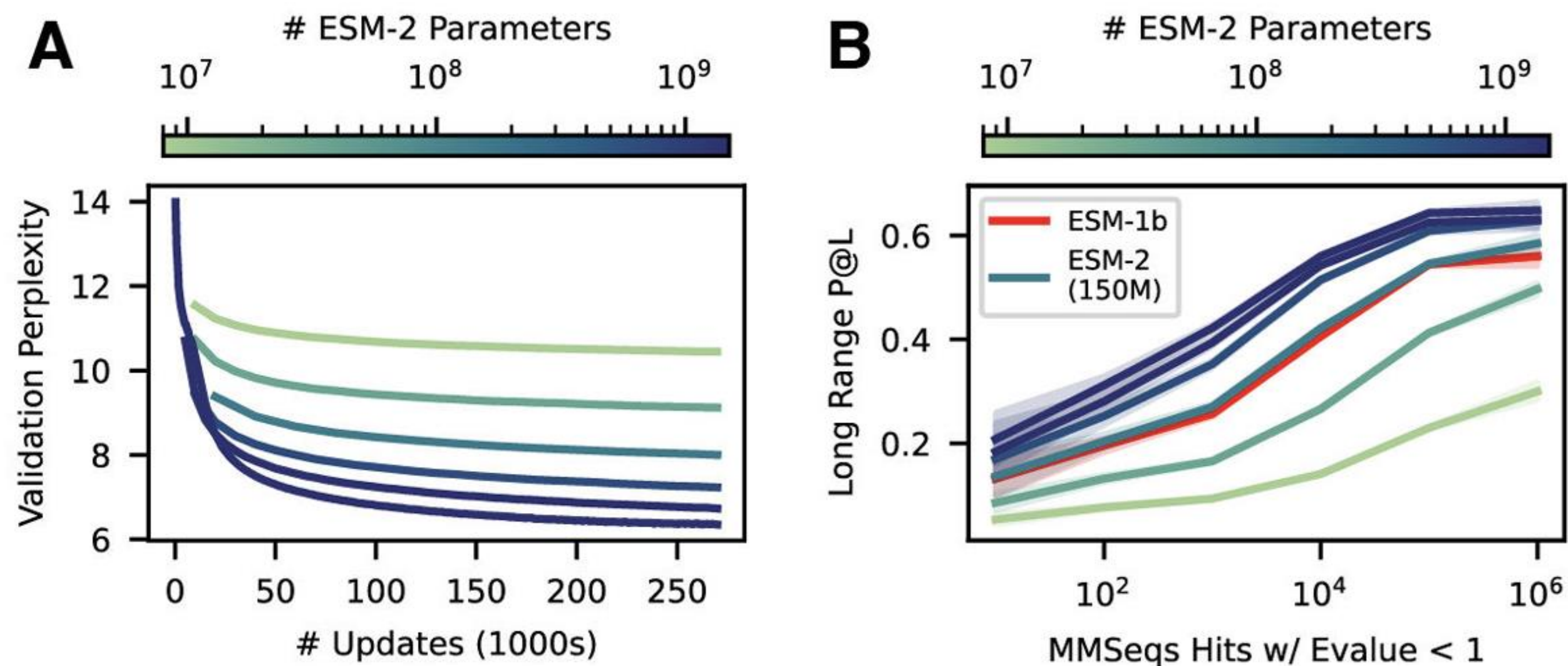
Cui et al. bioRxiv 2023.



Theodoris et al. Nature 2023.

- ・1千万/3千万細胞分のRNA-seqデータで事前学習
- ・遺伝子名でトークン化
- ・同じモデルでクラスタリング、細胞種分類、制御ネットワーク推定など様々なタスクに対応
 - ➡ つまり基盤モデルの定義に適う。

ESM-2

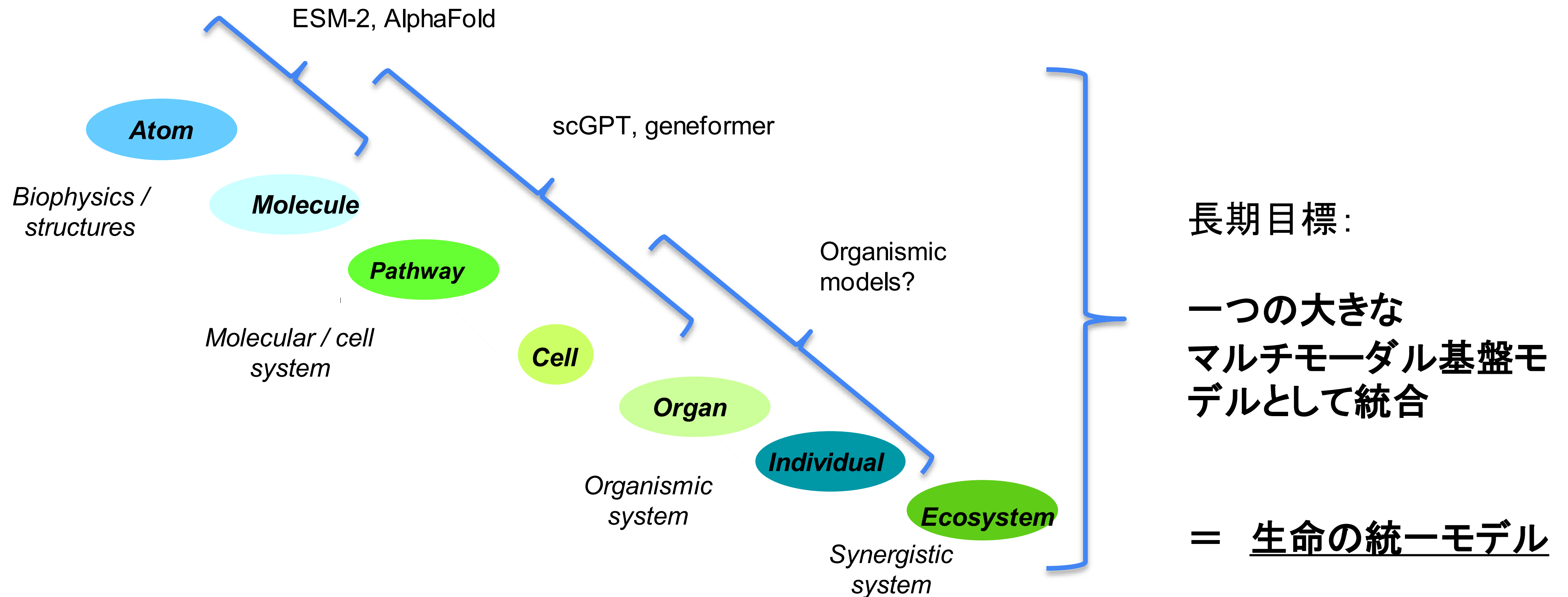


<https://doi.org/10.1101/622803>

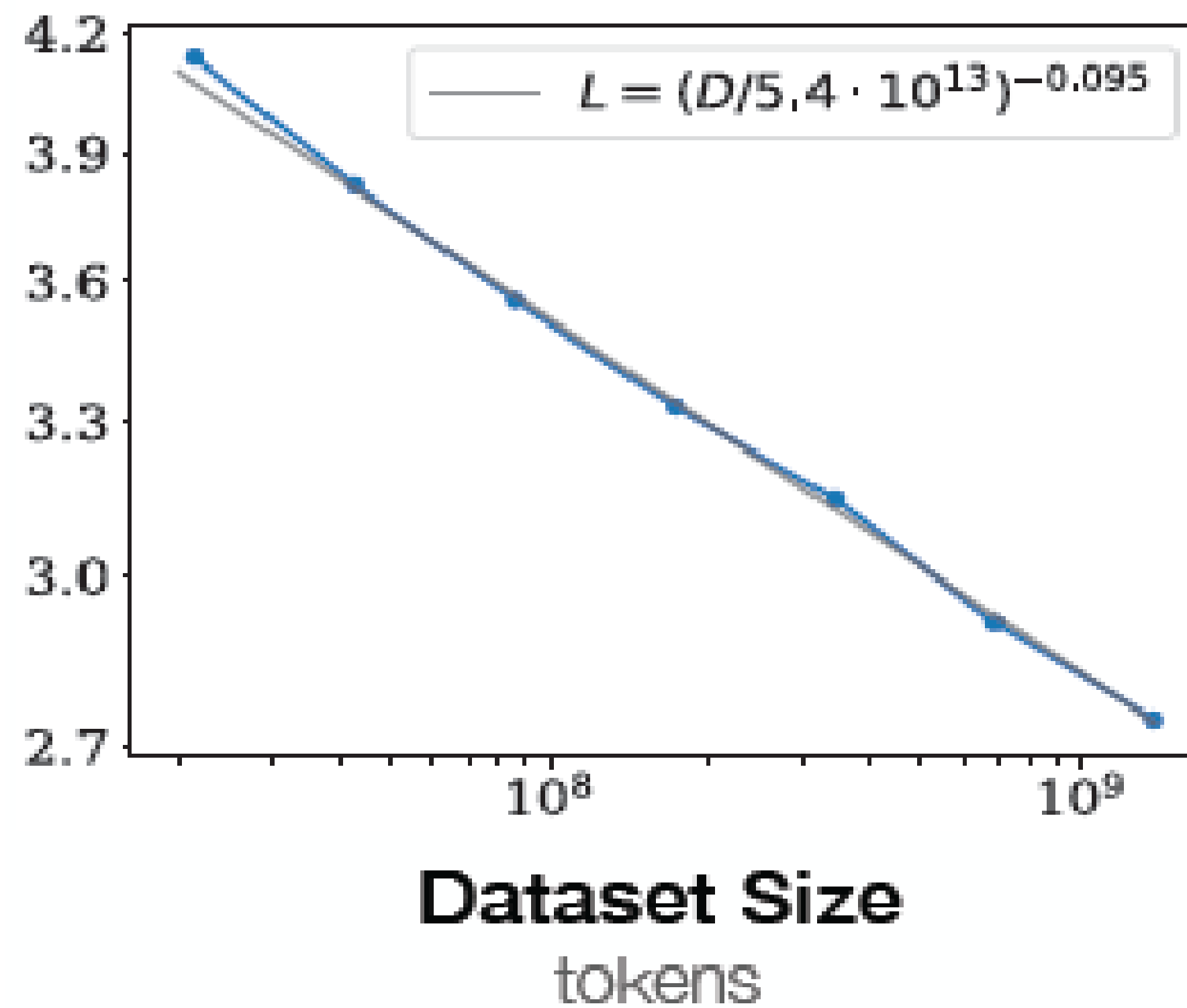
- ・6千5百万本のアミノ酸シーケンスで学習したタンパク言語モデル
- ・150億パラメータ(GPT-3の一桁下)までの大規模化でタンパク構造予測能力が創発 (ESMFold)
- ・AlphaFoldの60倍高速、6億以上のメタゲノムタンパク構造を予測

生命システムの階層をつなぐ基盤モデル

- ・マルチモーダル基盤モデル(=データ統合)は生命科学の長年の課題
- ・真のマルチオミクスの実現
- ・複雑なものを複雑なまま理解して予測を可能にするキーテクノロジー



しかし： ビッグデータは枯渇する運命

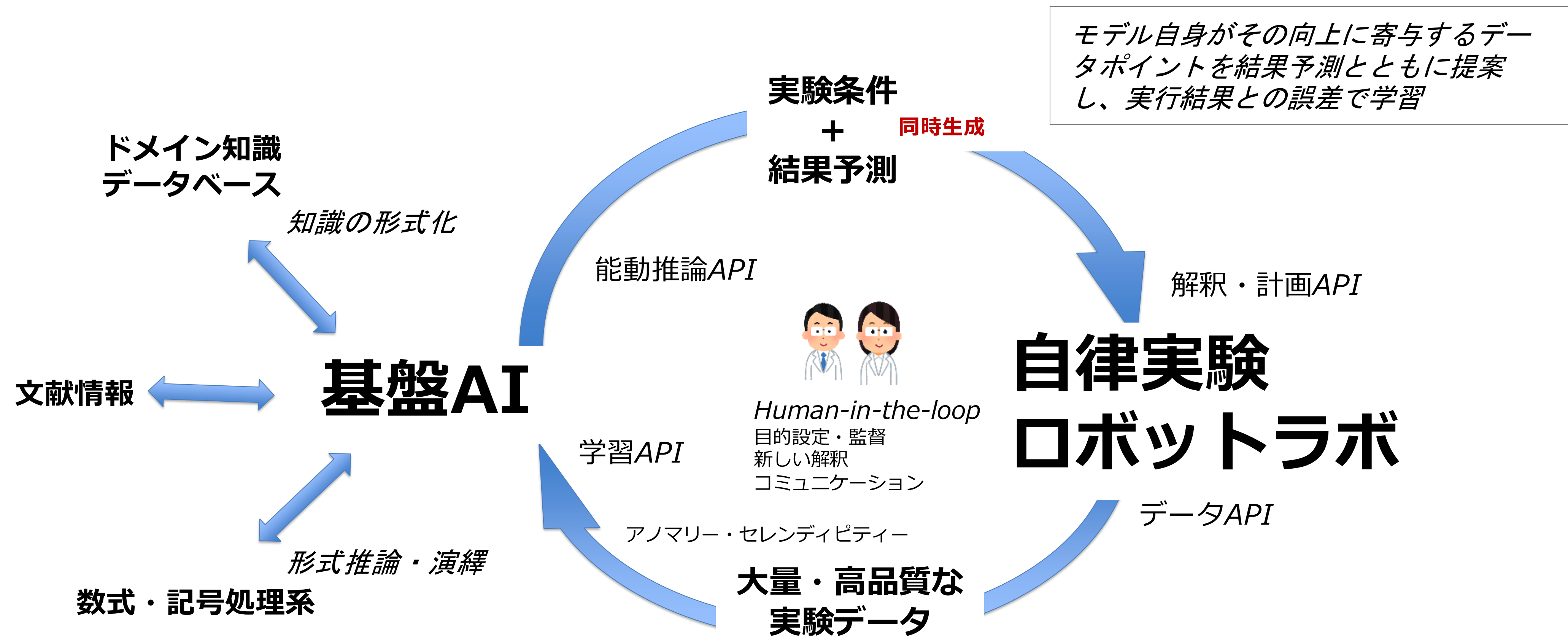


➡ 次のゲームはデータが生まれる現場を押さえた者が勝つ

(AI用語で言うと身体性; embodiment)

解決策： 基盤モデルにロボットの身体を与える

ExSIE: Experimental Science Intelligence Embodiment



理研 科学研究基盤モデル開発プログラム (TRIP-AGIS)

① 科学研究向け基盤モデル開発・共用の共通基盤技術

先進モデル

多種多様なデータ（マルチモーダルなデータ）の学習・生成が可能な**基盤技術開発**

良質なデータ

学習に必要な大量のデータ創出と、モデルが生成した実験計画の自動実行を両立できる**実験の自動化・高速化技術**

② 特定科学分野の科学研究向け基盤モデルの開発・共用

生命・医科学分野

良質なデータ

薬物等を与えた際の細胞の経時的な変化、
疾患が動物の行動や身体に与える変化 等

先進モデル

**ゲノム・細胞から生体全体までの現象を統合的に
解釈**して予測できるモデルの実現

材料・物性科学分野

良質なデータ

材料の構造、物性、電子状態
材料の作製方法 等

先進モデル

**無機・有機を問わず、物性、材料構造、作製方法
等を統合的に解釈**してデータを生成できるモデルの
実現

③ 革新的な計算基盤の開拓

計算資源

多様な種類の科学研究データの推論・学習・生成に最適化された、
科学研究向け生成AIモデルの開発・共用のための計算環境を整備・運用等
従来のGPUのみでは実現不可能な**演算処理の高度化・高速化を実現する新たな計算機原理の研究**

AIロボット駆動科学 シンポジウム2023

開催報告書公開中： 検索「AIロボット駆動科学」

科学研究プロセスを再定義する「AIロボット駆動科学」

「AIロボット駆動科学シンポジウム 2023」が2023年7月6日に東京・有楽町にある国際フォーラムにて開催された。
主催はAIロボット駆動科学イニシアティブ設立準備事務局で、共催は以下の4プロジェクト。

- ・ JST未来社会創造事業 「ロボティックバイオロジーによる生命科学の加速」（高橋恒一代表）
- ・ 同 「マテリアル探索空間拡張プラットフォームの構築」（長藤圭介代表）
- ・ JSTムーンショット型研究開発事業 「人とAIロボットの創造的共進化によるサイエンス開拓」（原田香奈子PM）
- ・ 同 「人と融和して知の創造・越境をするAIロボット」（牛久祥孝PM）

来 賓



清浦 隆

文部科学省 大臣官房審議官（科学技術・学術政策局担当）



渡辺 捷昭

トヨタ自動車 元代表取締役社長



坂本 修一

内閣府 科学技術・イノベーション推進事務局 審議官



第一部登壇者



高橋 恒一

JST未来社会創造事業「ロボティックバイオロジーによる生命科学の加速」代表



長藤 圭介

JST未来社会創造事業「マテリアル探索空間拡張プラットフォームの構築」代表



原田 香奈子

JSTムーンショット型研究開発事業「人とAIロボットの創造的共進化によるサイエンス開拓」PM



牛久 祥孝

JSTムーンショット型研究開発事業「人と融和して知の創造・越境をするAIロボット」PM



林 和弘

科学技術・学術政策研究所（NISTEP）データ解析政策研究室長



嶋田 義皓

科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）フェロー



北野 宏明

ソニーグループ 最高技術責任者、内閣府AI戦略会議 構成員



川原 圭博

東京大学 教授・内閣府AI戦略会議 構成員

第二部登壇者



倉持 隆雄

科学技術振興機構 研究開発戦略センター 副センター長



尾崎 遼

筑波大学 医学医療系/バイオインフォマティクス研究室



飯田 正仁

三菱総合研究所 先進技術センター 研究員



清水 亮太

東京大学理学系研究科 化学専攻 准教授



二階堂 愛

東京医科歯科大学 難治疾患研究所 ゲノム機能情報分野教授、理研生命機能科学研究センター（BDR）バイオインフォマティクス研究開発チームチームリーダー



吉野 幸一郎

理研ガーディアンロボットプロジェクト（GRP）知識獲得・対話研究チーム チームリーダー、奈良先端大 先進科学技術研究科 ロボット対話知能研究室（連携）客員教授



竹内 一郎

名古屋大学 工学研究科 機械システム工学専攻 機械知能学 教授、理研 革新知能統合研究センター（AIP）データ駆動型生物医科学チーム



久木田 水生

名古屋大学 情報学研究科 社会情報学専攻 情報哲学講座 准教授



馬場 雪乃

東京大学総合文化研究科 広域科学専攻 准教授