



東京工業大学  
Tokyo Institute of Technology



# みんなで創る次世代スマート工場

- Cyber Physical System (CPS) と生成AI による反転攻勢の国家戦略 -

東京工業大学

科学技術創成研究院 デジタルツイン研究ユニット  
情報理工学院 数理・計算科学系

藤澤 克樹

**生成AIは日本の産業をどう変革するか**

2024年7月16日：COCNフォーラム

# 自己紹介(藤澤克樹)



東京工業大学 科学技術創成研究院 & 情報理工学院 教授

博士(理学)：東京工業大学大学院 情報理工学研究科 数理・計算科学専攻

所属：経営工学 → 情報科学 → 建築学 → 数学 → 制御(ロボット) → 経営工学 → 数学 → 情報科学

## 研究内容と業績

グラフ解析, 数理最適化, 深層学習, 高性能計算

- 大規模グラフにおける最短経路：Graph500 ベンチマーク通算19期(全28期) 世界第1位
- スーパーコンピュータ富岳(理研)：1秒間に166兆枝の探索(現在の世界記録)
- 2017年 文部科学大臣表彰 科学技術賞 (研究部門) などの受賞 (国内12件, 海外28件)
- 深層学習, 高性能計算, グラフ解析, 数理最適化などの研究
- 数理最適化, グラフ解析, 深層学習を用いた新しい産業応用の開拓(多数の民間企業との共同研究)

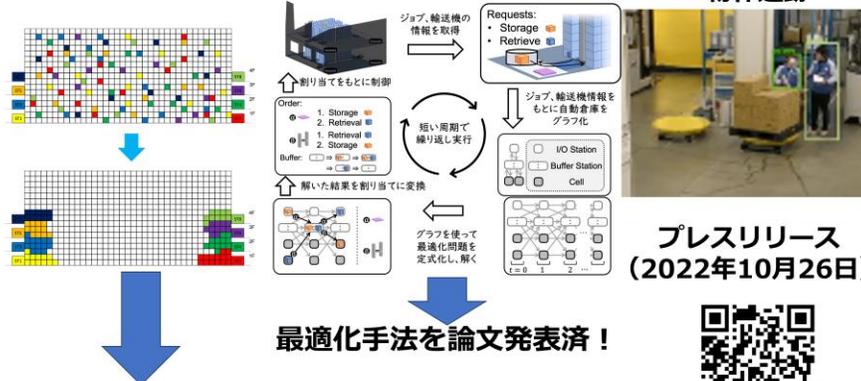
CPS(サイバーフィジカルシステム)での実証実験

・B2B現場のデジタルツイン(CPS)化→サイバー空間での最適化やシミュレーション  
→現場業務改善を実施



ロート製薬との共同研究

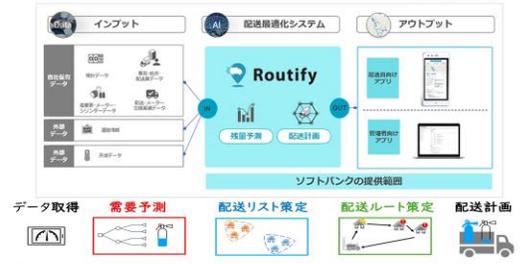
モビリティ最適化



実際の工場の実証実験済!



需要予測や最適配送計画問題  
ソフトバンクとの共同研究



九州大学とソフトバンクによるLPガス配送サービスに関する共同研究 (2020年5月開始)

ソフトバンク：LPガス業界のDXを実現する三つのサービスを提供開始(2022年6月27日)

最新のAIやIoTによる需要予測と配送最適化(配送リスト及びルート策定)

データ格付け機能の搭載

少子化・高齢化社会において継続的に発展可能な社会システムの構築を目的とする

日本各地でのサービス化達成!  
プレスリリース (2022年6月27日)



# メタバースとデジタルツインとサイバーフィジカルシステムの特徴

## デジタルツイン

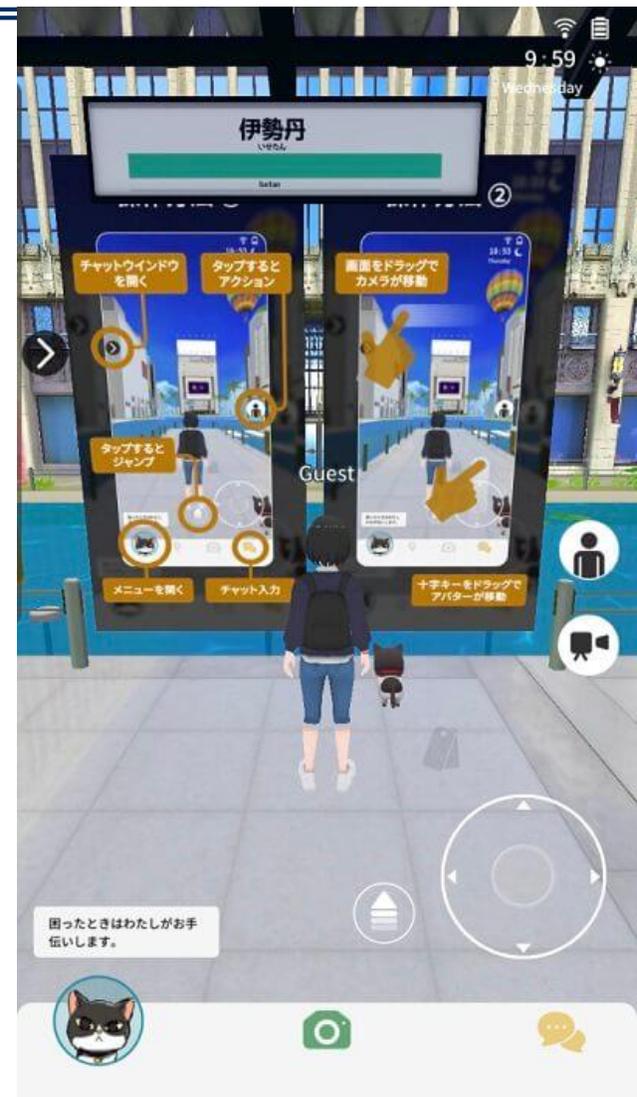
物理空間（フィジカル）をデジタルコピーした仮想空間（バーチャル）を再現することで、シミュレーションや相互の空間にフィードバックを可能にする仕組みである

## メタバース

必ずしも既存の物理空間を再現する必要はないものの、物理空間と同じように人々（アバター）が集まって人間活動ができる「仮想の人間空間プラットフォーム」である

- **デジタルツイン** = シミュレーション空間
- **メタバース** = コミュニケーション空間

**サイバーフィジカルシステム(CPS)** は結果をフィジカル空間にフィードバック  
デジタルツインの結果を分析し活用するためにはCPSによるシステムが必要

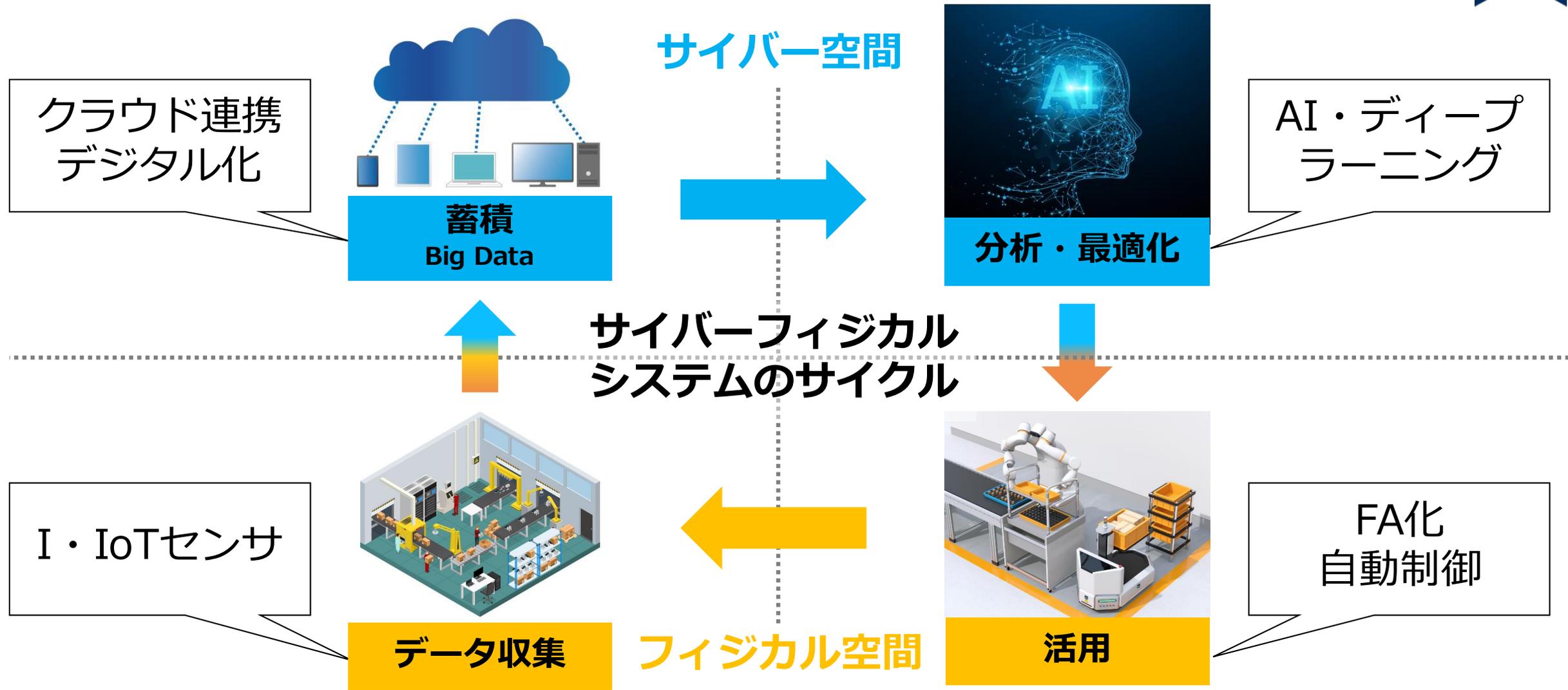


三越伊勢丹アプリ  
「REV WORLDS」



マインクラフトのイメージ

# ■ 「CPS : Cyber Physical System」 とは？



CPSとは、実世界（フィジカル空間）にある多様なデータをセンサーネットワーク等で収集し、サイバー空間で大規模データ処理技術等を駆使して分析／知識化を行い、そこで創出した情報／価値によって、産業の活性化や社会問題の解決を図っていくもの



# サイバーフィジカルシステムを実装する次世代スマート工場をグループ全体に適用

ーロート製薬の工場から、働く人もお客さまもウェルビーイングにー

## サイバーフィジカルシステムを実装する次世代スマート工場をグループ全体に適用

ロート製薬、九州大学、ファーストループテクノロジーの共同

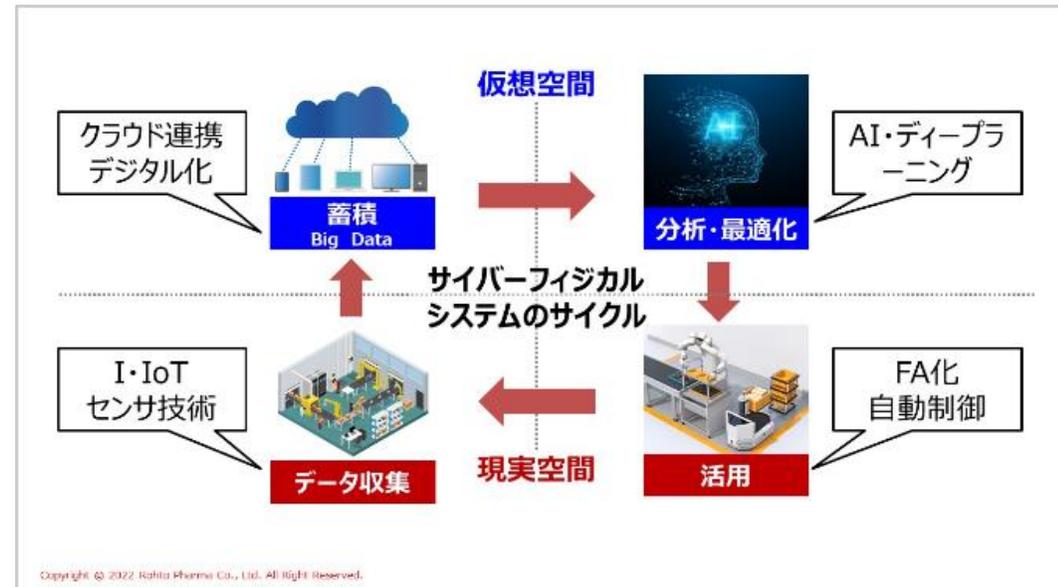
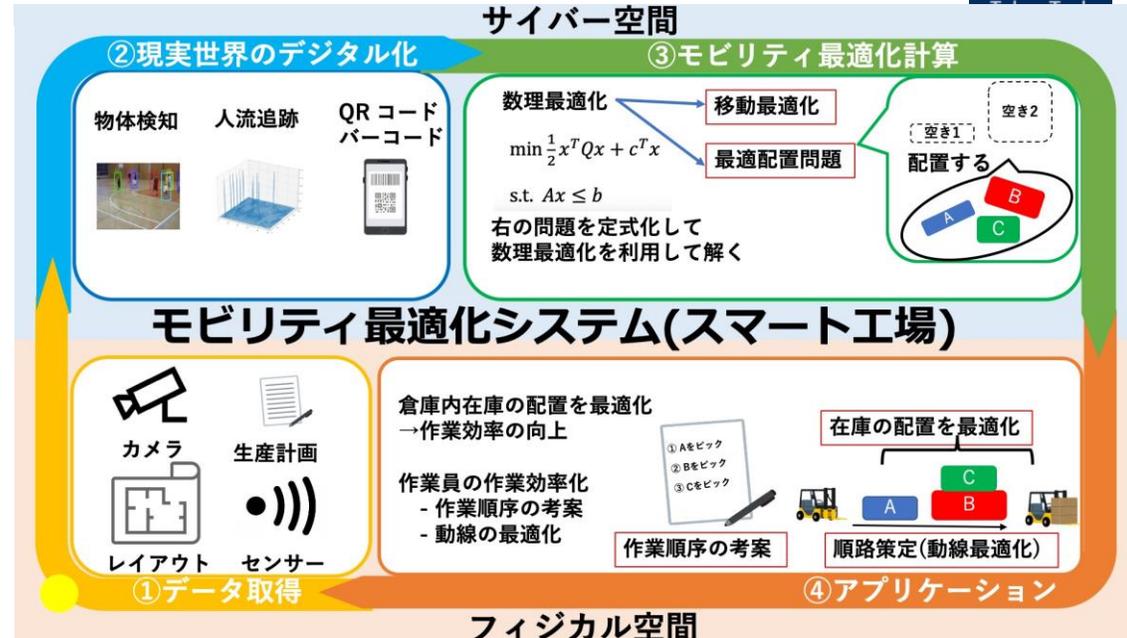
ロート製薬株式会社（本社：大阪市、社長：杉本雅史、以下、ロート製薬）と九州大学マス・フォア・インダスト

リ研究所 藤澤研究室（福岡市、教授：藤澤克樹、以下、九大）及びファーストループテクノロジー株式会社（本社：東京都、社長：福永哲雄、以下、FLT）の3社は、2022年6月よりサイバーフィジカルシステム：Cyber Physical System（以下、CPS）\*1を実装するロート製薬グループ全体のスマート工場化の取り組みを開始しました。

\*1：CPSとは、フィジカル空間（現実空間）にある多様なデータをセンサーネットワーク等で収集し、サイバー空間（仮想空間）で大規模データ処理技術等を駆使して分析/知識化を行い、そこで創出した情報/価値によって、産業の活性化や社会問題の解決を図っていく仕組みです。



プレスリリース：2022年10月26日  
サイバーフィジカルシステムを実装する次世代スマート工場をグループ全体に適用



# みんなで創る次世代の工場：CPS 適用の目的とは？

## 最新技術(AI等)と人間の共進化を探るためのプラットフォームの構築

### 最新の研究成果をシームレスに実工場で検討可能であること

- 最新の数理最適化、AI等の情報技術における研究成果を実工場ですぐに検討して反映できることが特徴です。また、量子コンピューティング技術を活用し、スマート化に関わる最適化の高速計算や深層学習の精度向上が可能となります

### 働く一人ひとりがモノづくりにおいて当事者意識を持つことができること

- CPSの実装により、過度に緊張を強いられる仕事や単純な繰り返しの仕事を軽減されます。同時に、CPSとの関係により一人ひとりの得意な能力が向上し、お客様起点のモノづくりに集中でき、お互いを高く評価し尊敬し合える人であふれた工場の実現が可能となります。

# みんなで創る次世代の工場：目的と戦略構想

プラットフォーム&物量によるイノベーションは巨大な先行者利益をもたらす  
 主戦場はサイバー空間からサイバー・フィジカル空間(CPS)へ

GAFAM(米国), BATH(中国)：サイバー空間

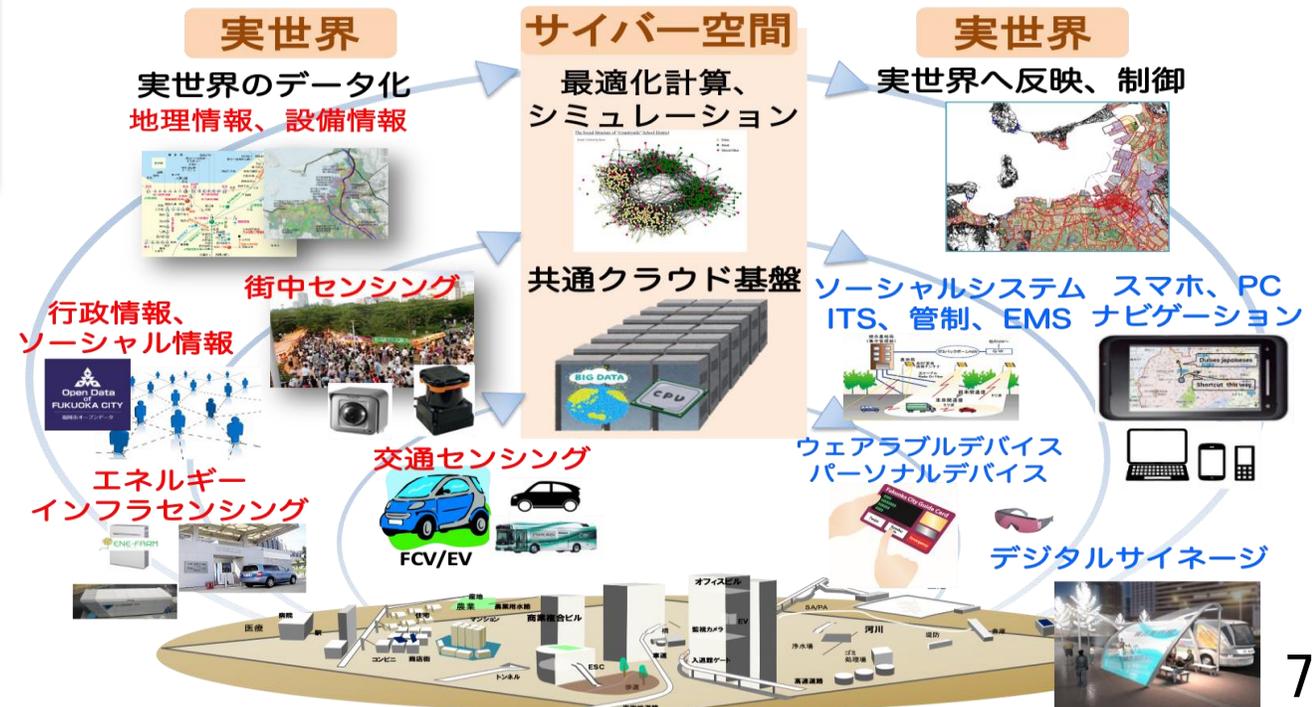
日本：サイバー・フィジカル空間



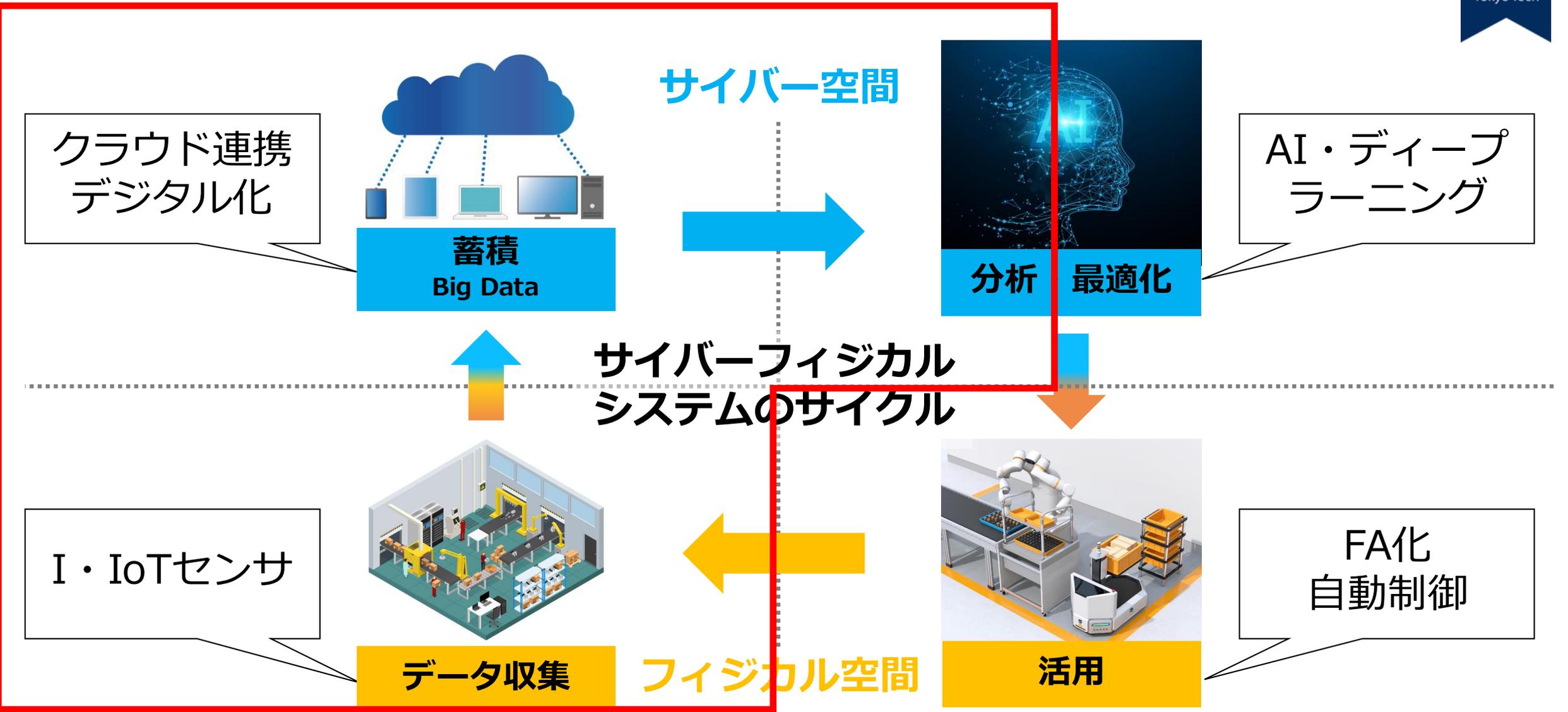
産学連携と社会実装の加速による CPS アプリケーション実現

## サイバー・フィジカル(CPS)空間でのアプリケーション創出と産業展開

- 第一弾としての製造業(スマート工場)及びサプライ・チェーン分野
- ものづくり分野を中心に最適化, AI, IoT, HPC, クラウド, ロボット, 量子, 通信等の最新の技術を結集



# 「CPS1.0」の範囲とは？



CPSとは、実世界（フィジカル空間）にある多様なデータをセンサーネットワーク等で収集し、サイバー空間で大規模データ処理技術等を駆使して分析／知識化を行い、そこで創出した情報／価値によって、産業の活性化や社会問題の解決を図っていくもの

# CPS 1.0 : スマートファクトリーシステムによる指示伝達及び確認



スティックコンピューター+モニターで製造情報表示

搬送情報表示



現状 (ホワイトボード)



調製工程情報揭示

分類 ステータス

材料名 SIM 6 E紙箱

数量 1,000枚

品目コード 432101001

チェーブカートナー  
メラフCC  
2E1  
上野太郎

自動倉庫の情報と連動

✓ タブレット対応

No.1 Compounding unit

製造日 2022/05/18 製造名 GRO

Lot No 2E1 2E2 2E3

運転状況 運転中 取出容易 保管タンクに移動

作業員 田中、杉野

M1タンク洗浄有効期限 05/27 B2タンク洗浄有効期限

B3タンク洗浄有効期限 05/27 B4タンク洗浄有効期限

MESと連動 + 入カスマート化

搬送、ステータス表示

- 監視対象の建屋、工程を選択
- ラインごとの状況を一覧表示
- 生産目標と実績のリアルタイム比較が可能に
- 生産目標と実績をグラフ表示
- 生産終了残り時間の表示

リアルタイムモニタリング画面 (実績監視)

【フィルタリング機能】  
・ 設備名, 日付 (期間), 品目No., ロットNo.でフィルタリング可能

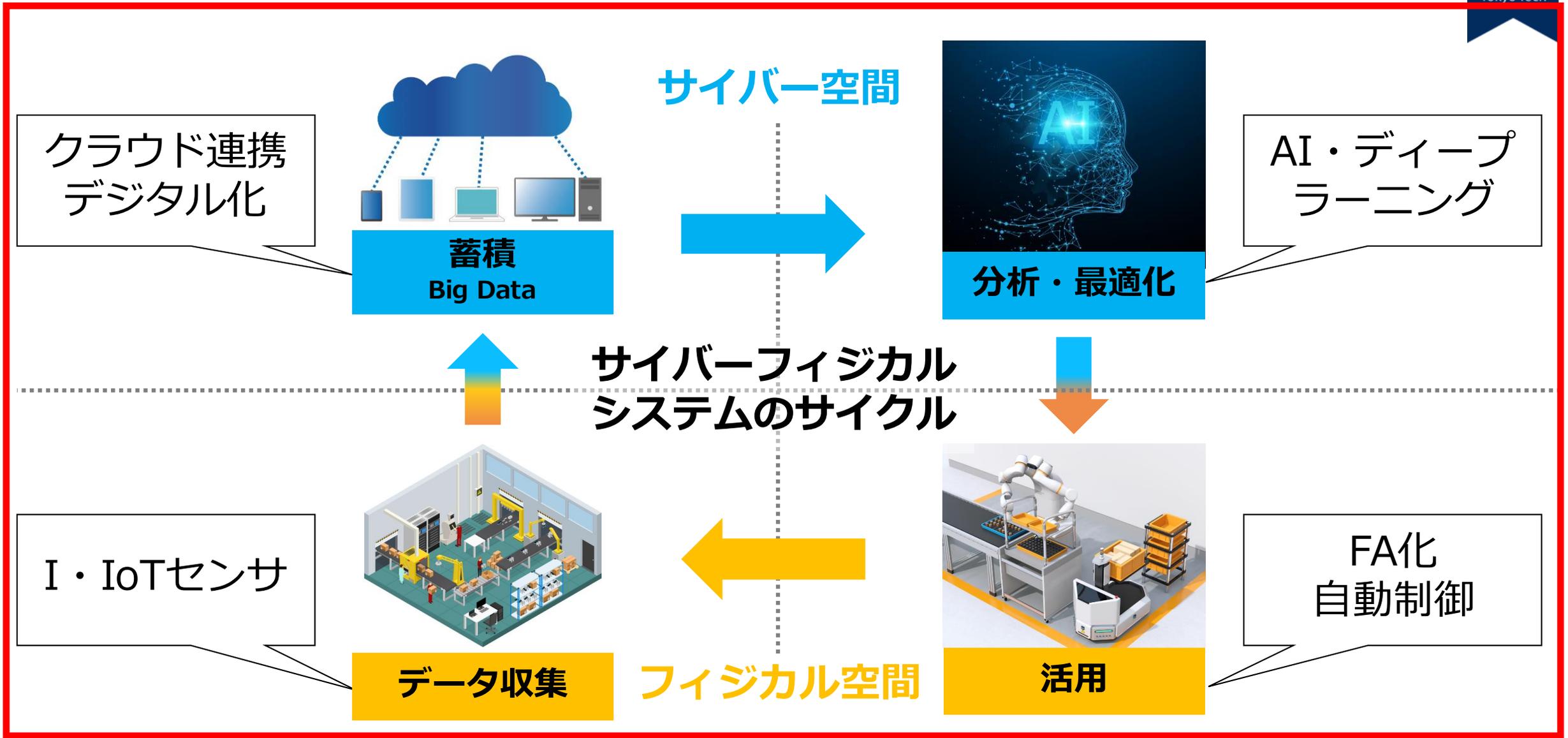
✓ レポートの自動出力や、特定の異常に対するアラート発報などの運用も追加可能 (シグナルタワー制御, メール・SMS送信, etc.)

- 発生時刻/復旧時刻, 異常名の一覧表示
- 各異常履歴にはコメント入力可能
- 【異常ランキング自動集計】
- フィルタリング結果から自動でランキングを表示
- 「発生回数」「異常累積時間」の2種類で集計
- 選択した異常の発生回数と累積停止時間を自動計算して表示

異常監視・集計画面



# 「CPS2.0」の範囲とは？



CPSとは、実世界（フィジカル空間）にある多様なデータをセンサーネットワーク等で収集し、サイバー空間で大規模データ処理技術等を駆使して分析／知識化を行い、そこで創出した情報／価値によって、産業の活性化や社会問題の解決を図っていくもの

# CPS 2.0 によって何がどう変わるのか？

購買 / 発注情報



販売拠点



移動経路 / 積荷



上野テクノセンター



物品の保管情報



外部倉庫



CPS DB / apps



- 自動倉庫最適化
- 需要予測
- 人流追跡
- 運搬情報収集
- …

生産現場

人・物の動線 / 物品の保管状況 / …



研究・マーケティング現場

生産計画 / 新商品の開発 / …



上野テクノセンターのデータを  
持続的に収集・解析し、生産  
活動を常時最適化

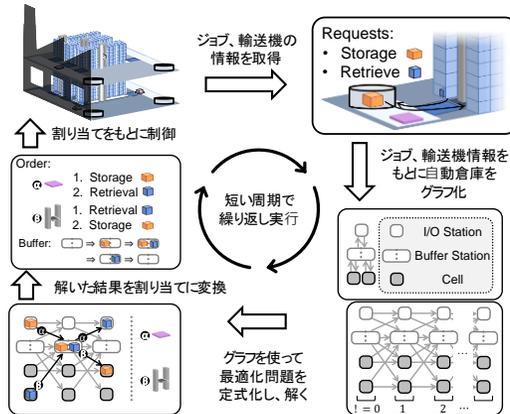
# CPS2.0によって何がどう変わるのか？：方針1(アプリケーションドリブン)

## C棟はスマート工場として稼働開始



### MESデータを使用した C棟自動倉庫最適化システム

翌日以降の計画に応じて入出庫しやすくなり、待ち時間や保管スペースの削減ができるなど



**【先行課題でトライアル】**

**CPS 1.0**

「ヒト・モノの検知追跡機能を追加し、工場全体で移動最適化及び、生産・移動能力推定による改善案提示機能」  
(予測を伴う生産活動、デジタルツインの基盤構築)



実現に向けて、今分かっているだけで**6テーマ、23課題**  
**FY2024年度末上野テクノセンター全体にCPS 2.0を適用**

**【マザー工場のスマート化】** **CPS 2.0**

# 現在検討中の生産性向上オペレーション：B787 月産5機から15機

## ボーイング・サウスカロライナ工場

ページ ノート

出典: フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』

ボーイング・サウスカロライナ工場(South Carolina Factory)は、アメリカ合衆国サウスカロライナ州ノースチャールストンにあり、チャールストン国際空港 / (チャールストン空軍基地 (英語版)) が隣接しているボーイング社の飛行機組立工場である。

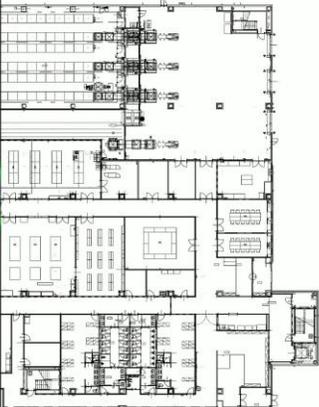
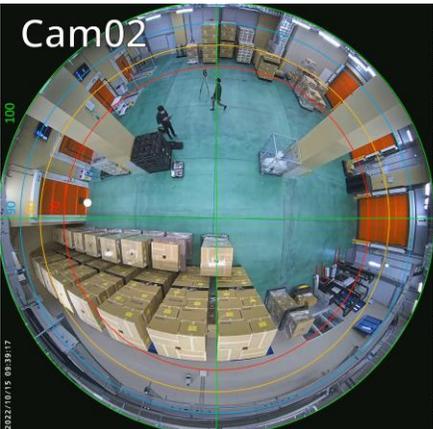
### 概要 [編集]

チャールストンに工場を開設した理由の一つに西海岸では賃金が上がっている事があった<sup>[1]</sup>。この工場でのB787型機生産機数は、2016年に月産5機(現在、3機)、10年以内に同7機に引き上げられる予定<sup>[1]</sup>。



### 1: Tool accountability

tracking location of all tools and parts in real-time



### 2: Mobility optimization

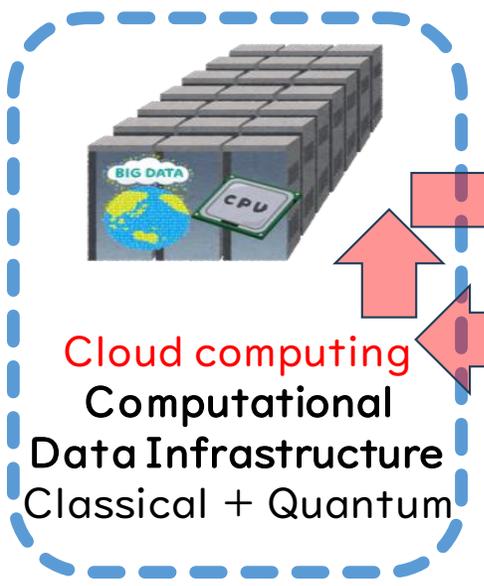
mobility optimization integrate with all parts, tools and operators

常にツールや部品の位置, 個数及び状態を把握しておく。さらに次工程の作業が始まるまでに、必要なツールや部品を次工程の場所に高速に移動させる

→ モビリティ最適化システムの開発

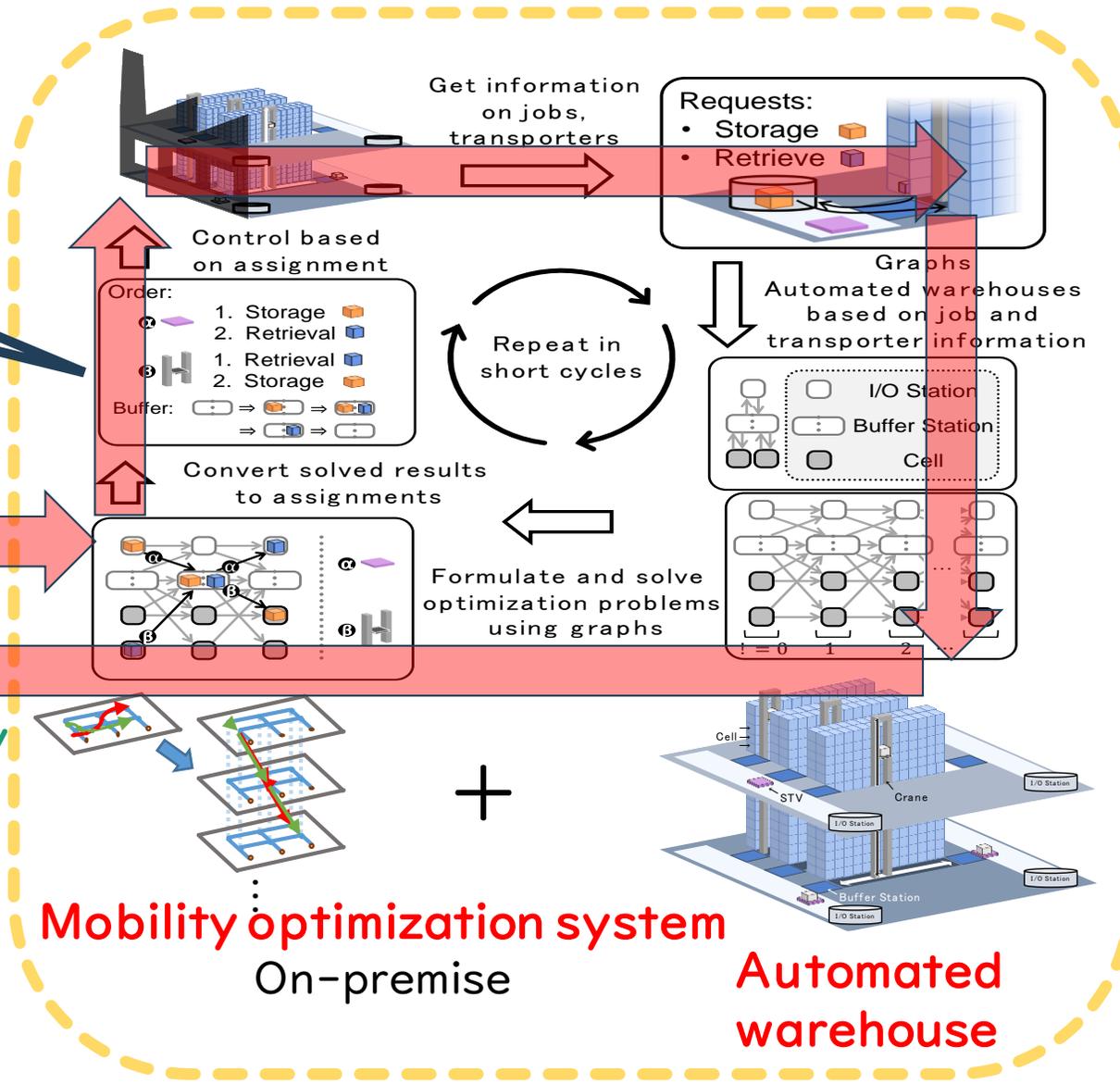
# スマート工場：デジタルツイン・リアルタイム・オペレーション

**クラウドの外部利用を含めて、1サイクルあたり10~15分以内で完了する必要がある**



**Cloud Service**

Ultra-low latency communication



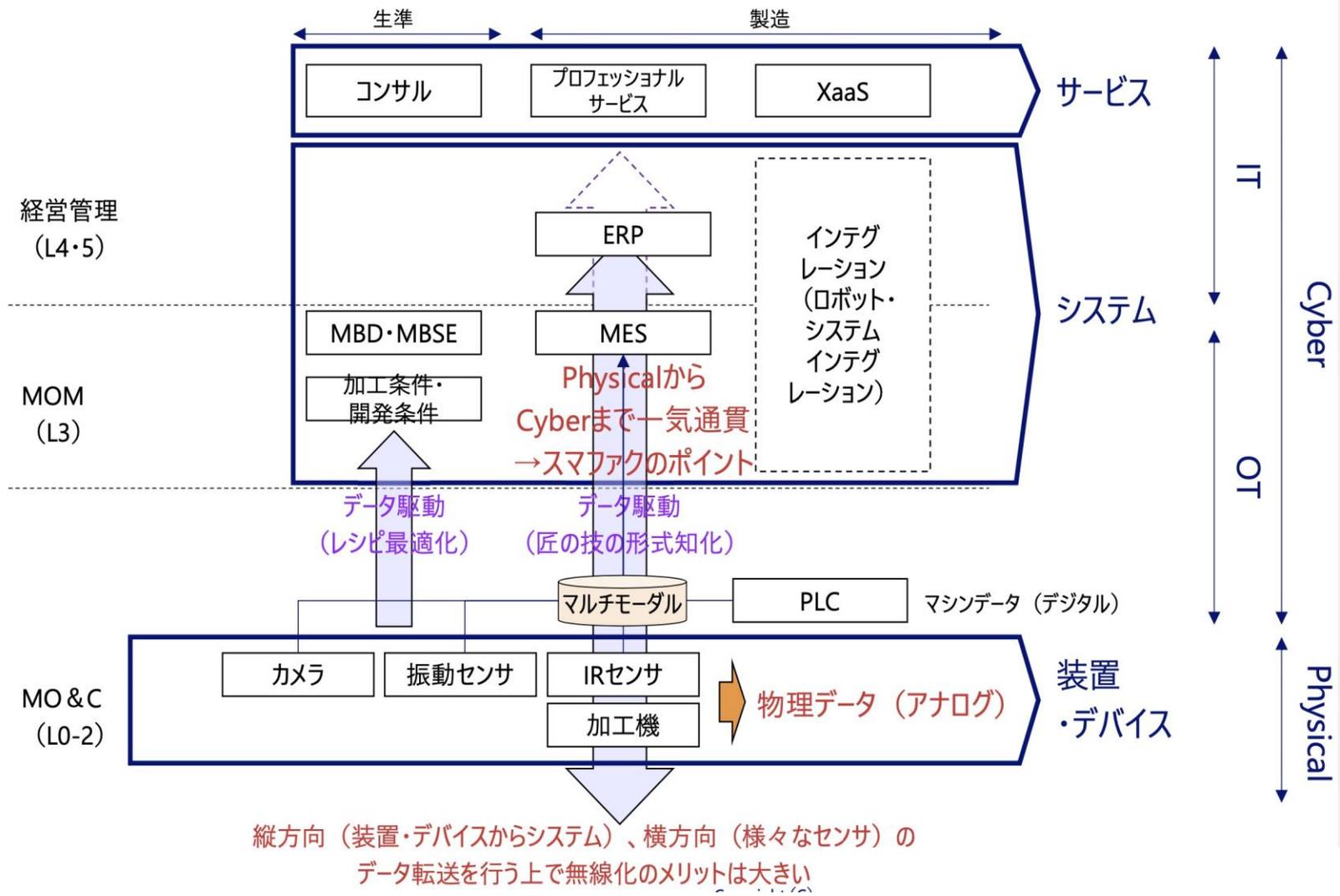
**許容される計算時間はわずか数分！**

**Smart Factory**

# 製造DXの基盤としての

## CPS

- データ転送速度や処理能力においてデジタルツインの高速な1周期の実行への対応が難しい
- CPS には電子的な動きの部分と機械的な動きの部分が混在 (後者がボトルネックとなる)
- 製造 DX への膨大な研究開発や投資が必要
- **デジタルツイン1週の超高速性能が日本のキラーアプリケーションになる**



出典：令和3年度省エネルギー等に関する国際標準の獲得・普及促進事業委託費  
 (ルール形成戦略に係る調査研究 (無線通信技術の本格活用を通じたフレキシブルでスマートな製造現場の実現を可能とする国際的な市場の創設に関する調査) )

# CPS2.0によって何がどう変わるのか？：方針2(データドリブン)：量子計算

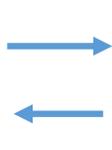
「工場全体で生成される複数データを学習データとする」

1. 映像,画像,センサー等の数値データ
2. 日報やQCサークル等の人間による言語データ

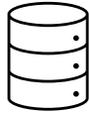
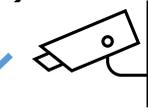
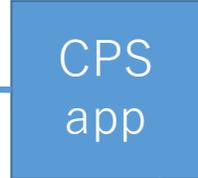
(データを集約した集合知から得られる価値発掘)

大規模言語モデル

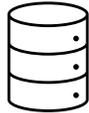
画像学習モデル



CPS DB



MES ERP  
etc...  
工場インフラ系



明日、試験しなければなら  
ない原材料品目を、優先度  
の高い順に教えて下さい。



原材料〇〇の載ったトラックって、  
いつ頃到着するの？

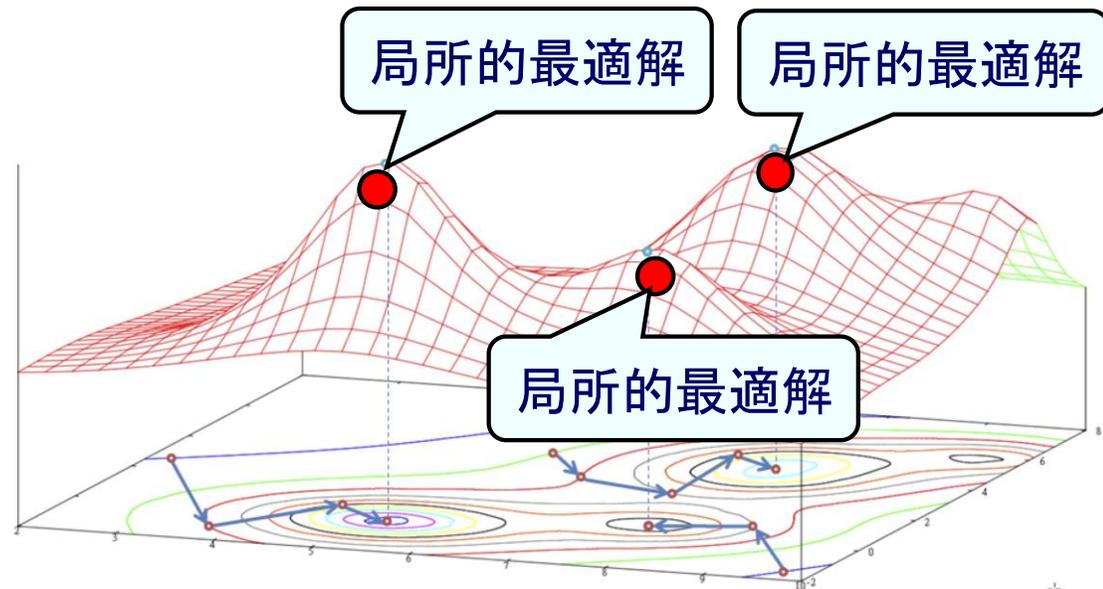


**【AIと人間の共進化】**

**CPS 2.0**

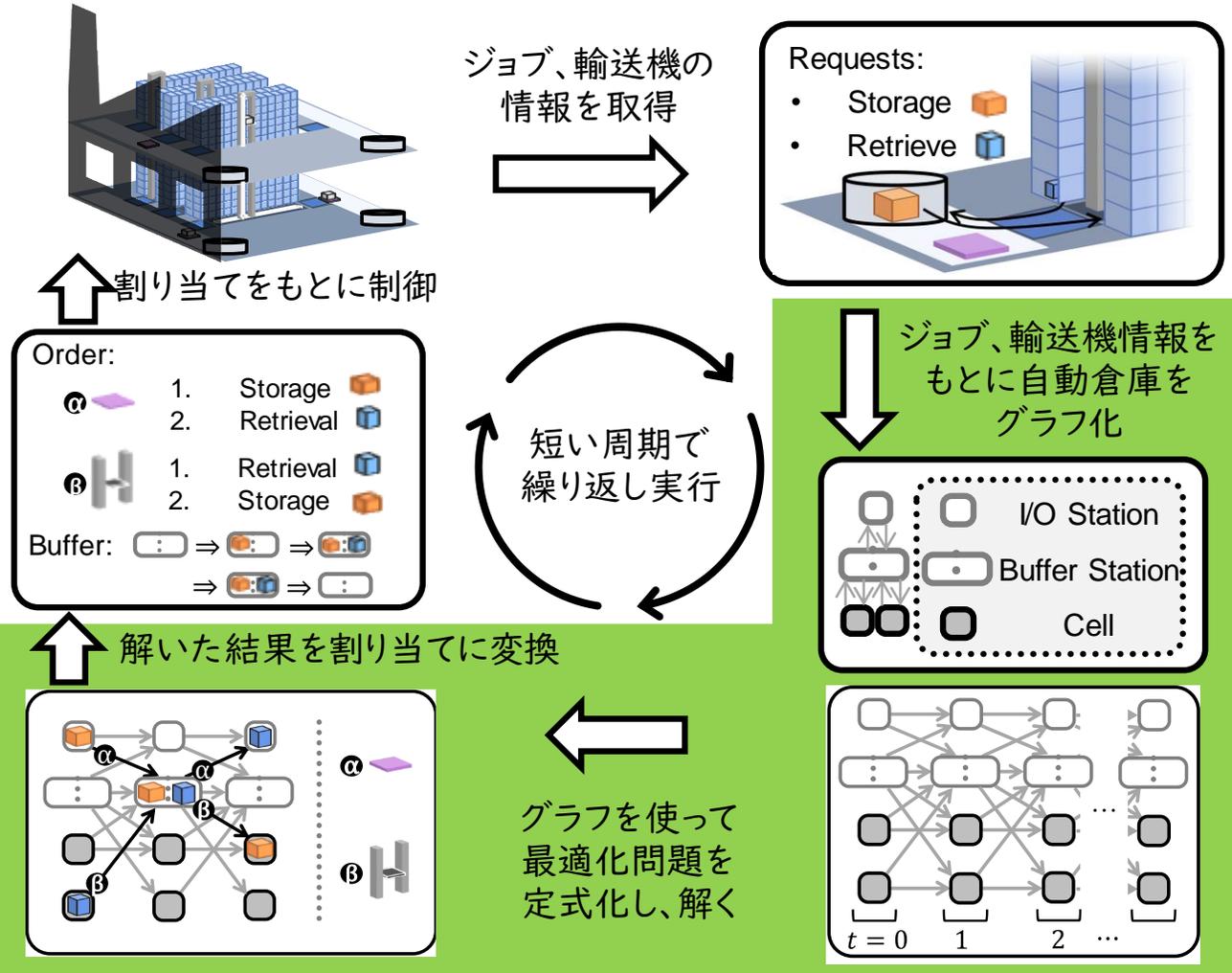


量子重ね合わせによる多様な局所最適解を生成  
⇒ 多様な学習結果(集合知)が得られる可能性



# 自動倉庫運用最適化の取り組み

## 自動倉庫運用最適化システムのサイクル



### 【メリット】

- 最適な運用方法を求解可能 (最適性の保証付)

### 【デメリット】

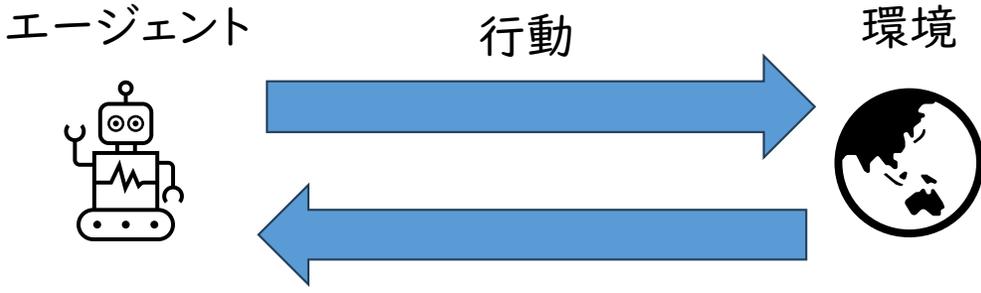
- 求解に時間がかかる場合あり (解ききれないことも)

### 期待する効果

- 短時間で割り当てを出力  
→ 学習モデルの推論にはほとんど時間がかからない
- ルールベースと比較して効果的な最適化を実行  
→ 最適性は保証されないが、学習を使ってある程度効果的な出力を期待

強化学習の基本的な学習プロセス

エージェント(学習対象)を何度も行動させ、変化する環境と得られる報酬をもとに、各状態における適切な行動は何かを学習する

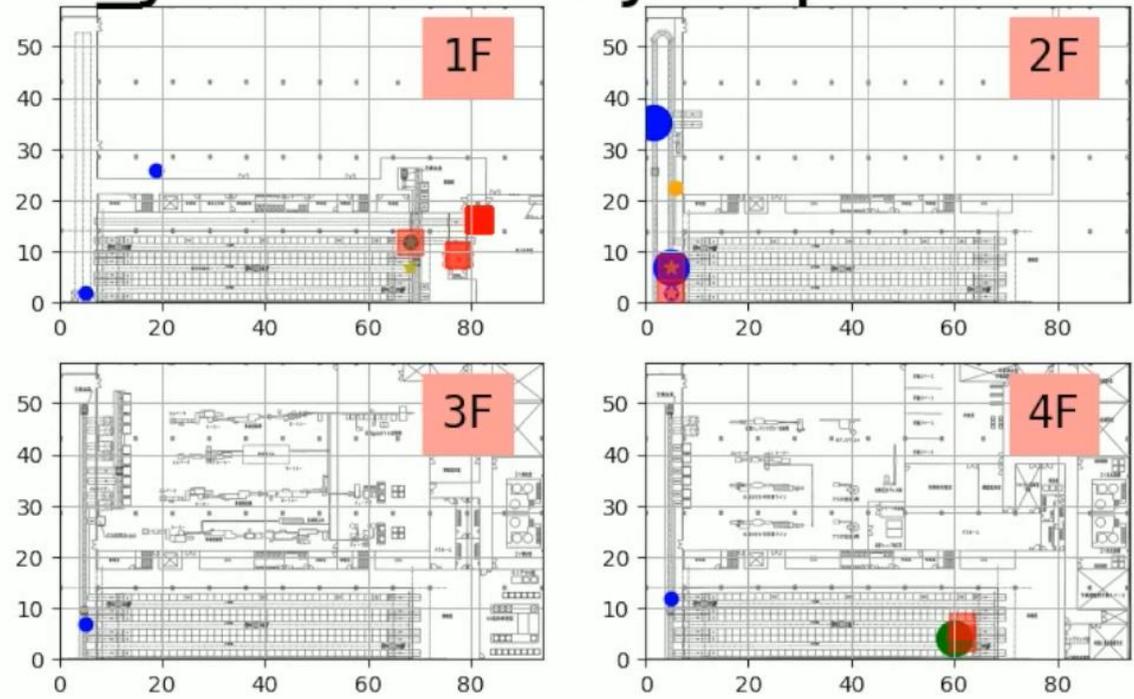


なるべく現実に即した環境を用意することが重要となる

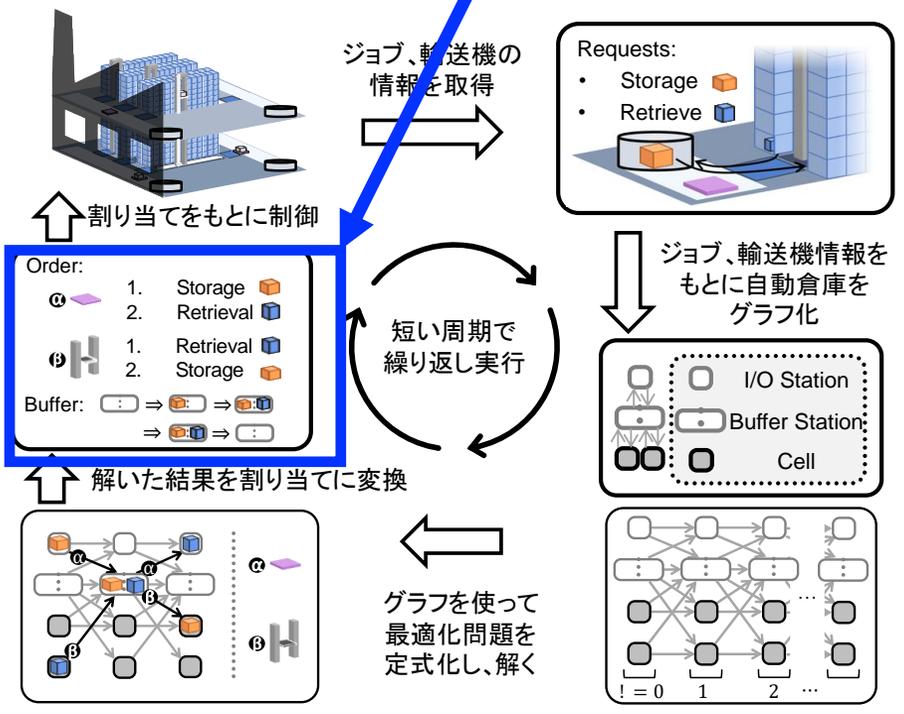
実際の挙動をを可能な限り正確に模倣する「環境(シミュレータ)」が必要

報酬・観測した環境

end\_jobs=496, jobqueue=22



自動倉庫運用最適化システムのサイクル



# 2024年度の取り組み【自動倉庫の日中最適化～学習方法の考案～】

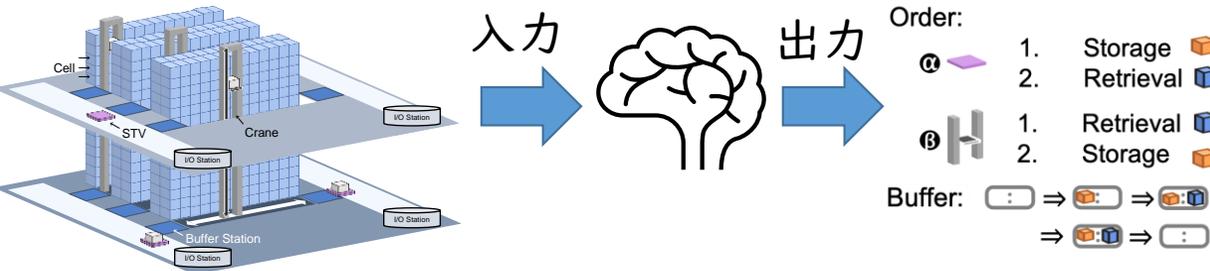
適用可能性のある2種類のアプローチ

## 1. 強化学習ベース

倉庫の状態

学習モデル

搬送指示

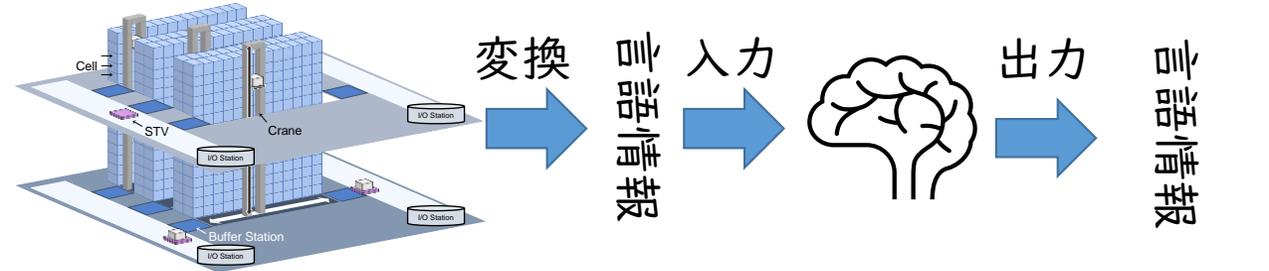


## 2. 大規模言語モデル(LLM)ベース

倉庫の状態

学習モデル

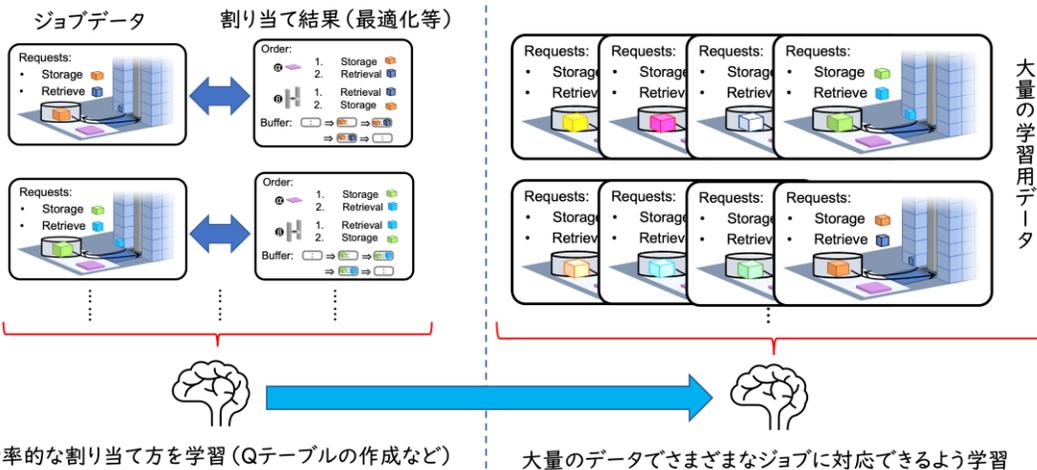
搬送指示



### 概要

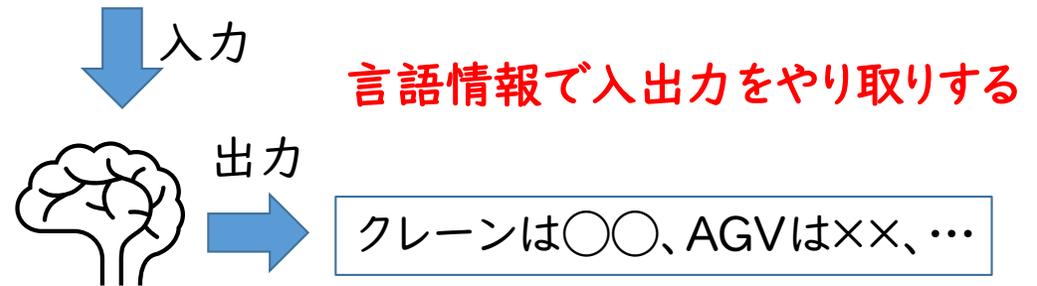
前半) 教師あり学習

後半) 強化学習



### 概要

倉庫の状態: どこに何が入っている  
 輸送機の状態: 何がどこで何のジョブを実行している



# みんなで創る次世代の工場：今後の CPS 戦略について

## サイバー・フィジカル(CPS)空間でのアプリケーション創出と産業展開

- 第一弾としての製造業(スマート工場)及びサプライ・チェーン分野
- ものづくり分野を中心に量子, AI, IoT, クラウド, 通信など最新の技術を結集

## ものづくり分野(スマート工場)を例とした CPS の差別化戦略

- 出来るところからではなく(データ連携や可視化)、困難かつ先進的な課題から挑戦
  - CPS 2.0 の実現 (後述：方針1, 2 など)
- 既存の操業に悪影響を与えることなく、量子系などの新技術を検証可能な環境を構築することが重要
  - **実プラットフォーム(実際の工場等)を対象に検証可能な環境を構築できれば圧倒的に有利**
    - 例(量子)：古典コンピュータのアルゴリズム(厳密解法, 近似解法等)を量子での最適化計算と同時に実行して、規定時間内 (デジタルツイン 1 周時間) に最も良い解を選択

## 異分野連携と先端技術の融合によるキラーアプリケーションの構築

- 量子コンピュータはクラウド搭載を前提(地域分散型データ基盤の整備)
- 各地域における CPS アプリケーションを量子による高速計算&低遅延通信で支援
  - **量子&光技術によるデジタルツイン 1 週の超高速性能が日本のキラーアプリケーションとなる**