

# Deloitte.

デロイト トーマツ

*Together makes progress*

## 業界別 フィジカルAI活用のすゝめ

7つの主要業界にわたる、  
インパクトの大きいユースケースを厳選

GLOBAL AI & EMERGING MARKETS



注記：人工知能（AI）に関する規制は、世界各地で今なお進化を続けている。本資料で取り上げるユースケースはあくまで例示であり、フィジカルAI（物理空間で機能するAI）の活用可能性についての議論を喚起することを目的とする。AIシステムを導入する前に、各組織は自社固有のユースケースや導入環境に適用される規制要件を見極め、必要となる安全対策を検討すべきである。



## 本事例集の構成

01

業界横断



02

消費財 (Consumer)



03

エネルギー・資源・生産財 (ER&I)



04

金融サービス (FS)



05

行政・公共サービス (GPS)



06

ライフサイエンス・ヘルスケア (LSHC)



07

テクノロジー・メディア・通信 (TMT)



1. シミュレーションファースト開発とデジタルツイン
2. シミュレーション学習・人間監督によるクローズドループ修復
3. シミュレーション主導の遠隔操業・訓練
4. 自律的な自己校正による品質・プロセス制御
5. 半自律型の倉庫荷役ロボティクス
6. 産業オペレーション向け音声操作フィジカルAIアシスタント

1. 都市モビリティサービス向け自律輸送
2. 多目的家庭用サービスロボット
3. ビジョン対応の店舗オペレーション
4. フリートテレメトリと経路最適化
5. 消費者向けモビリティのエッジ・クラウドアーキテクチャ
6. ロボットによる格納・ピッキングシステム
7. 多品種な消費財物流向けビジョン対応ロボット投入
8. 消費財フルフィルメント環境における自律的な物品搬送
9. 消費財オペレーション向けプログラマブル汎用ロボット

1. 環境・労働安全衛生の予測モニタリング
2. 安全かつインテリジェントな鉱山操業に向けた自律運搬システム
3. 安全上危険な物理環境における自律点検
4. 高精度で高付加価値な製造
5. 自律型農業・精密農業
6. 最適な配員スケジューリングと派遣
7. ネットワーク・公益インフラの点検
8. 産業機械の欠陥検知
9. 化学製造ワークフローの自動化
10. 産業施設・スペースの最適化
11. 建設における自律型・半自律型ロボティクス



## - 業界横断



## - Consumer



## ER&I

1. 自律巡回と脅威検知
2. スマートシティ運営と都市インフラの近代化

1. IT・ATMインフラの予知保全
2. 支店業務向けヒューマノイドロボット
3. ATM現金需要予測・補充と自律的な現金物流



## GPS



## FSI

1. 医薬品研究開発の変革
2. 自動調剤システム
3. 微小手術向け手術ロボティクス
4. 病院運営向けサービスロボット
5. 高齢者ケア・認知症ケア支援システム
6. クリーンルーム製造の自動化

1. ネットワークのセンシング・品質保証・自律復旧
2. AMRを活用した予測型品質管理のためのフィジカルAI
3. 持続可能なネットワーク運用
4. データセンター運用
5. 半導体製造のオーケストレーション
6. 超低遅延ネットワーク保護
7. スタジアム運営・スポーツ中継向け四足歩行ロボット



## LSHC



## TMT

# 序文

## 人工知能は、画面から飛び出し物理世界へと 広がりつつある。



AIは、物理的な環境を認識し、状況を判断し、その中で行動できる、新たな段階へと進化した。フィジカルAIはもはや遠い将来の話ではない。工場、倉庫、公共インフラネットワーク、病院、農場、街中、そして家庭で、すでに導入が進んでおり、その普及は加速している。

本事例集では、消費財、エネルギー・資源・生産財、金融サービス、行政・公共サービス、ライフサイエンス・ヘルスケア、テクノロジー・メディア・通信の6つの業界にわたるユースケースに加え、業界を問わず幅広く適用できるユースケースを取り上げる。

各業界について、業務課題の解決、安全性・信頼性の向上、新たな価値創出に向けて、フィジカルAIが今どのように活用され、近い将来どう活用され得るかを考察する。取り上げるユースケースは、自律走行ロボット（AMR）、ドローン、ヒューマノイドロボット、自動運転車、四足歩行ロボット、特定用途の機械など、フィジカルAIの多様な用途と形態を網羅する。

この進化の最前線にあるのが「ダークファクトリー（無人工場）」である。フィジカルAIによって、生産設備が最小限の人的関与で継続稼働し、人間による管理・監督の下で運営される高度な自律型な操業が現実のものになりつつある。

フィジカルAIを本格展開するうえでの課題は、単なる技術面にとどまらない。仕事の進め方、人と機械の協働のあり方、そして自律システムが組織に代わって行動する際の説明責任の所在を、根本から問い直すことが求められる。以降では、フィジカルAIの現在地、今後の方向性、そして責任ある導入を支えるべきガバナンス原則を取り上げる。

本資料は、企業や行政のリーダーが、自組織にとってフィジカルAIが最も意味を持つ領域を見極め、導入の成功に何が必要かを理解し、野心と規律の双方をもって行動するための戦略的視座を得る一助となることを目指している。



**Nitin Mittal**  
Global AI Leader  
Deloitte LLP



**Jim Rowan**  
Deloitte US, Head of AI  
Deloitte Consulting LLP



**Sam Roddick**  
Chief Strategy Officer, Global Consulting Services  
Deloitte Global



**Chris Lewin**  
AP Strategic Growth Offering Leader  
Deloitte Singapore T&T Pte Ltd.



# イントロダクション

## AIは「判断」から「実行」の時代へ： 企業オペレーションの再構想

フィジカルAIは、単なる新たな自動化の波ではなく、企業が事業を設計し、運営し、拡大する方法を根本から変えるものである。AIがデジタル空間を飛び出して現実の物理空間へ広がるにつれて、人の働き方や設備の活用方法、さらには全社的な価値創出のあり方を抜本的に見直す道が開ける。フィジカルAIの真価は、個々のロボットの導入や単独タスクの自動化ではなく、現場のバリューチェーン全体を再設計する点にある。AI、ロボティクス、シミュレーション、デジタルツイン、そして人の知見を組み合わせることで、企業は事業の経済性を一変させ、新たなビジネスモデル、抜本的なコスト最適化、サイクルタイムの短縮、そして、より強靱なオペレーションを実現できる。フィジカルAIを個別ユースケースの寄せ集めではなく変革の梃子（てこ）として捉えるリーダー層は、部分的な効率改善の蓄積ではなく、オペレーションのあり方の抜本的な変革へと踏み出せる。この転換は、新たな成長源、拡張性のあるイノベーション、持続的な競争優位への扉を開く。フィジカルAIが切り拓くこの世界は、多くの企業が考えるよりもはるかに近い。

# インテリジェンスを実行力へ：リアルな事業を再構想する

## 現在

フィジカルAIシステム（物理世界を認識し、状況を判断し、自律的に行動する知能を備えたシステム）は、多くの業種でなお導入の初期段階にある。一部には、管理された物流環境での自動運転車、先進的な医療機関でのAI支援手術プラットフォーム、人にとって危険または遠隔すぎる場所で稼働するロボット点検システムなど、すでに実用段階に達している領域もある。しかし、広範かつ大規模な普及は依然として限定的である。

その理由は単純である。フィジカルAIは単なるソフトウェアのアップグレードではない。現場のハードウェアや機械設備、センサー、エッジコンピューティング、通信基盤、AIを融合し、変化する現実環境の中で安定的に機能させる必要がある。その実現には相応の投資が伴う。ソフトウェアと機械の双方が絡み合うため、その複雑さに見合った投資が求められるのである。実装コストは大きく、統合に長い期間を要することもあり、物理システムでの誤りの余地はほとんどない。

## 次なるAIの波

次なるAIの波を特徴づけるのは、対話ではなく行動である。コンピュータービジョン、推論モデル、センサー、エッジコンピューティングの進歩により、フィジカルAIの適用範囲は、従来の工場のような管理された環境の自動化を超えて、より複雑で変化の大きい環境へと急速に広がっている。これにハードウェアコストの低下とエネルギー効率の改善が重なり、実証実験から本格普及へと移る勢いが生まれている。

その中心的な役割を担うのは、企業が物理システムを大規模に展開する前に、仮想環境で設計・検証することを可能にするシミュレーションとデジタルツインである。このシフトにより、Robotics2Service（サービスとしてのロボティクス）、AIを活用した運用サービスモデル、成果連動型のサービス提供モデルといった新たなビジネスモデルの創出が後押しされる。

## 組織として考えるべきこと

フィジカルAIから最も恩恵を受けるのは、それを単なるテクノロジーの導入ではなく、戦略とオペレーション両面の変革と捉える企業である。フィジカルAIの価値を引き出すには、仕事の進め方そのものを再構築する必要がある。すなわち、どのタスクを自動化し、どこに人の判断を残し、人と機械の協働のあり方をどうするか、ということである。さらに、物理インフラ、機械設備、エッジハードウェア、ソフトウェアプラットフォーム、データパイプライン、AIモデルという企業の各層を横断した統合が必要となり、これらが一体となって機能することが求められる。

成功には、高い目標と規律の両立が欠かせない。それは、明確な価値仮説、設備投資と運用費のバランスの慎重な見極め、シミュレーションによる検証、そして責任ある導入を支えるガバナンスの整備である。本事例集のユースケースは、すぐに導入できるもの、これから台頭しつつあるもの、そして業界を横断して最も大きな機会が期待される領域を示す。フィジカルAIの技術は、多くの企業がその変化を取り込める以上のスピードで進化している。真に問われているのは、こうしたイノベーションが自社を変えるかどうか、ではない。その変革を自ら作り出す側になるのか、それとも変化に追随する側になるのか、である。

# 業界横断 フィジカルAI事例集



# サマリー： シミュレーション分野におけるフィジカルAI事例集

## シミュレーションはフィジカルAIの制御基盤



シミュレーションとデジタルツインは、フィジカルAIを支える基盤技術である。インテリジェントな機械を、実世界で稼働させる前に、安全かつ拡張性の高い環境で設計し、学習・検証し、適切に管理できる。<sup>1</sup>

シミュレーションは、物理法則に基づくモデリングや合成データ、AIによるシナリオ生成を組み合わせ、現実を高い精度で再現した仮想環境を構築し、ロボット、自律システム、物理インフラが、稀少で危険なエッジケース（通常では想定しにくい例外的なケース）を含む実際の運用条件下でどう挙動するかを検証する。デジタルツインはこの能力を実運用にまで広げ、物理的な設備や環境、業務プロセスの状態を継続的に反映し、仮想空間と物理空間の間で閉ループ型の学習を実現する。

シミュレーションとデジタルツインを組み合わせることで、導入リスクを低減し、開発サイクルを加速し、実験コストを抑えるとともに、安全性・信頼性・規制対応への確度を高める。このシミュレーションファーストのアプローチは、倉庫や工場から、電力・ガス・水道などの公益インフラ、通信ネットワーク、医療施設、金融インフラに至るまで、業界を横断して適用できる。

フィジカルAIが広がるにつれ、シミュレーションはもはや設計段階だけの道具ではなくなる。実験的な自動化を本番運用に耐えるシステムへと変える、全社共通の基盤となり、企業は迷いながらではなく確信をもって、より速く前進できるだろう。



# シミュレーションファースト開発とデジタルツイン（1/2）

## 実環境への展開前に物理システムを仮想空間で検証する

### 概要

シミュレーション環境、合成データ、デジタルツインは、機械・ロボット・車両を含むフィジカルAIシステムについて、実環境への展開に先立ち、設計、学習、テスト、検証、さらには認証取得を支援する基盤となる。シミュレーション基盤は、実害を伴わない反復学習を可能にし、リスクの洗い出し、プロトタイピングの加速、開発コストと期間の大幅な削減、そして展開前のロボット・自律システムの成熟度向上に役立つ。

### 課題・機会

フィジカルAIシステムは、不具合が物理的な危害に直結する環境で稼働する。そのため、シミュレーションによる検証を経ずに実環境で学習・試験・改良を行うことは、リスクが大きすぎる。

自律ロボット、車両、産業機器を実環境で試験すれば、作業員と機器をリスクにさらし、安全に評価できるシナリオの範囲も限られ、稀少・危険なエッジケースを一貫して再現することも難しい。加えて、開発チーム間でリスク分析の手法が統一されず、安全性評価の深さや文書の品質にばらつきがあることが、規制当局の承認をいっそう難しくしている。

機会は、開発・学習・検証の大部分をシミュレーションへ移すことにある。実機を展開する前に、物理的な再現が非現実的または危険なエッジケースも含め、数千のシナリオでAIシステムを試験できる。

### フィジカルAIによる解決

#### 大規模なシナリオ生成

AIが、通常運用からエッジケース、機器故障、危険シナリオまで幅広い試験条件を生成する。いずれも物理環境では再現が難しく、高コストで危険を伴うものである。

#### コンプライアンスを支えるエビデンス生成

シナリオログ、性能指標、故障モード分析といったシミュレーションの出力が、業界や法域を越えた規制当局への申請・認証を支える、構造化された文書となる。

#### 更新時のリグレッションテスト

再現可能なシミュレーションベースのテストスイートにより、ソフトウェア更新やモデル変更が既存機能を損なわないことを確認でき、物理的な全面再検証なしに継続的な開発を進められる。

#### 標準化されたリスク分析ワークフロー

AIツールが、開発チーム間でハザードの特定とリスク評価を一貫した形に整え、安全性文書のばらつきを抑えて、規制審査の予見可能性を高める。

#### 製造前の設計検証

デジタルツイン上で、物理機器・環境の仮想モデルに対してシステム設計やソフトウェア変更を試験でき、実機試験の前に問題を洗い出して、ハードウェア改修の必要性を減らせる。

#### 実環境試験負荷の軽減

広範なシナリオをシミュレーションで検証済みであれば、必要な実機試験は減り、開発コストとテスト関連の事故リスクとともに抑えられる。

### 期待される効果

#### 開発サイクルの短縮

設計上の欠陥や性能の不足を実機ではなくシミュレーションで把握するため、開発の反復が短くなる。

#### 導入リスクの低減

システムは、より広い検証範囲を経て、未検証の故障モードをほとんど残さない状態で実環境に展開される。

#### 承認プロセスの円滑化

構造化された文書により、規制当局とのやり取りが減り、認証までの期間が短縮される。

#### 再設計コストの低減

問題を早期に発見することで、高コストなハードウェア改修や後工程での手戻りを減らす。

# シミュレーションファースト開発とデジタルツイン (2/2)

## リスク管理と信頼の確保



### 堅牢性・信頼性

フィジカルAIの検証に用いるシミュレーション環境は、意味のある安全性の保証となるよう、実世界の条件を十分忠実に再現しなければならない。環境の変動、センサーノイズ、稀少なエッジケースを再現できないデジタルツインは、準備度を過大評価する検証エビデンスを生み、未検証の故障モードを残したままシステムを展開へと進めてしまいかねない。



### 責任とアカウンタビリティ

規制当局は、シミュレーションの網羅性が妥当であることの説明責任を求めると見られる。エッジケースをどう選定し、実世界との忠実度をどう検証し、シミュレーションのどのような限界を認識していたか、といった点である。こうしたガバナンス記録は、システムのライフサイクル全体にわたって維持し、規制上の認証や検査を支えるに足るものでなければならない。



### 透明性・説明可能性

シミュレーションに基づく検証エビデンスを審査するエンジニア、安全評価者、規制当局は、どのシナリオを、どのように生成して試験し、どの故障モードを網羅し、シミュレーションの限界がどこで結論に影響し得るかを理解する必要がある。手法が不透明なシミュレーションは、認証エビデンスの信頼性を損ない、フィジカルAI展開の規制審査を複雑にしかねない。



# シミュレーション学習・人間監督によるクローズドループ修復（1/2）

## 物理システムへの、シミュレーションで学習済みの安全な介入

### 概要

フィジカルAIシステムは、シミュレーションで学習したモデルを用いて、ネットワーク・系統・プラント・施設など稼働中の物理インフラを監視・推論し、是正措置を提案・実行する。物理的な介入の前にヒューマン・イン・ザ・ループの制御が変更を検証し、安全性が重視される環境全体で、安全かつ柔軟な修復を実現する。

### 課題・機会

フィジカルAIシステム（ロボット、ドローン、自動運転車、インテリジェントインフラ）は、複雑で安全性が重視される環境で確実に稼働しなければならない。しかし、実環境で直接試験・学習を行うことは、高コストで業務を妨げ、リスクも伴う。一方で、実世界のエッジケースは予見が難しい。各業界の企業は、安全性・コンプライアンス・業務継続性を損なわずにフィジカルAIを迅速に拡大する圧力に直面している。

機会は、シミュレーションとデジタルツインを用いて、実験・学習・検証を仮想環境へ移すことにある。これにより、最終判断の説明責任を人間が保持したまま、フィジカルAIシステムをより速く成熟させられる。

### フィジカルAIによる解決

#### シミュレーション学習済みの介入ポリシー

AIモデルはデジタルツイン内で学習し、稼働中の物理システムに変更を提案する前に、安全な修復手順を身につける。

#### エッジでの物理信号の解釈

フィジカルAIは、センサー、カメラ、メーター、機器コントローラーからのテレメトリを統合し、ソフトウェアのみの監視では見逃す異常を検知する。

#### デジタルツインによるクローズドループ学習

実環境からの性能データがデジタルツインにフィードバックされ、モデル・ポリシー・予測を継続的に改善していく。

#### 承認に基づく実行

人間が実装前に変更を承認することで説明責任を保つ。現場の知見から別の対応が望ましいと判断すれば、オペレーターは推奨を却下できる。

#### 実行前の影響予測

提案された修復手順は、承認前にシミュレーションでストレステストにかけ、下流の物理的影響（安全性・安定性・サービスへの影響）を予測する。

### 期待される効果

#### 解決の迅速化

AIが検証済みの解決策を即座に提示するため、定型的な修正が速くなる。オペレーターが手順を調べ、複数の画面を行き来して手作業で設定する必要がなくなる。

#### オペレーター負荷の軽減

オペレーターの役割が、診断や解決策の立案からレビューと承認へと移るため、手作業が減る。少人数の制御室チームでより広い系統範囲を管理できる。

#### ガバナンスと信頼の強化

ヒューマン・イン・ザ・ループによる検証が規制対応を支え、フィジカルAIシステムへの組織の信頼を高める。

#### 信頼の維持

人間の承認を必須とすることでリスクを管理下に保ち、規制要件や組織の懸念に応えながら、AI支援による効率化の効果も得られる。

#### 業界を越えて転用可能な修復パターン

いったん学習すれば、修復ロジックは公益、通信、製造、インフラの各分野へ、最小限の調整で適用できる。

# シミュレーション学習・人間監督によるクローズドループ修復（2/2）

## リスク管理と信頼の確保



### 堅牢性・信頼性

シミュレーションで学習した修復モデルは、稼働中の物理インフラに適用したときに確実に機能しなければならない。しかし実世界では、デジタルツインで完全には捉えきれない条件が必ず生じる。学習が実際の運用条件を反映していなければ、安全上重要な環境で誤った修復を提案し、本来防ぐはずの障害そのものを引き起こしかねない。



### 責任とアカウンタビリティ

実装前のあらゆる変更人間承認を必須とし、安全上重要な介入に対する説明責任を保つ。ただし、この設計原則は実務でも徹底されなければならない。実効的な説明責任には、AIが何を提案し、シミュレーションのストレステストが何を示し、誰が措置を承認し、どのような結果になったかを、明確かつ一貫して記録することが求められる。



### 透明性・説明可能性

AIが提案する修復を承認するオペレーターは、どの異常を検知し、どのような措置を提案し、シミュレーションとストレステストが下流にどんな影響を予測したかを理解する必要がある。AIの推論と出力が透明で説明可能であって初めて、人間による真の監督が成り立つ。



# シミュレーション主導の遠隔操業・訓練 (1/2)

## デジタルツインと没入型シミュレーションによる専門知識の拡張

### 概要

AR/VRデジタルツインは、洋上プラットフォームや生産施設の高忠実度な仮想複製を作り、専門家が危険な現場へ赴かずに、陸上から遠隔でのトラブルシューティング、技術的監督、オペレーター訓練を行えるようにする。

### 課題・機会

複雑・危険、あるいは地理的に遠隔な物理資産の運用・保守には、従来、専門人材が現地に立ち会う必要があった。この依存は、安全リスク、出張コスト、ダウンタイム、遅延を増大させる。とりわけ、専門家の手配、天候、立ち入り制約によって迅速な対応が阻まれる場合に顕著である。新人オペレーターの育成も同様に制約を受ける。実環境での実地訓練は高コストで規模を広げにくく、人員と資産を業務リスクにさらすためである。従来の遠隔監視ツールは、複雑な物理システムのトラブルシューティング、技能伝承、意思決定を十分に支えるだけの忠実度と双方向性を欠く。

機会は、監督・訓練・検証を高忠実度のシミュレーションとデジタルツインへ移すことにある。これにより、統制や説明責任を損なわずに、安全で拡張性のある知識活用、より迅速な意思決定、物理的な曝露の低減を実現できる。

### フィジカルAIによる解決

#### シミュレーションファーストの技能伝承と検証

AIは高忠実度のデジタルツインを用いて資産・手順・故障シナリオをモデル化し、オペレーターや専門家が、稼働システムに触れる前に、リスクのない仮想環境で訓練・リハーサル・検証を行えるようにする。

#### 状況認識を伴う遠隔意思決定支援

AIがシミュレーションモデルを稼働資産のデータと継続的に同期させ、遠隔の専門家は現状を読み解き、介入を仮想的に試し、予測される物理的結果に基づいて助言できる。

#### 統制されたヒューマン・イン・ザ・ループの運用

AIは推奨やシナリオ評価を支援する一方、物理的な行動の承認権限は人間が保持し、説明責任・安全性・規制適合性を保つ。

#### 知識の取得と再現

シミュレーション環境が、専門家の意思決定の道筋、診断ロジック、安全な運用範囲を記録し、現地に立ち会わずとも、稀少な専門知識を拠点やシフトを越えて一貫して再利用できるようにする。

#### シミュレーション学習済みの行動ポリシー

フィジカルAIシステムは、実資産で行動する前にシミュレーションで安全な運用範囲を学習し、危険な環境での試行錯誤への依存を減らす。

### 期待される効果

#### 安全性の抜本的向上

定型的な技術サービスやトラブルシューティングにおいて、危険な洋上環境から人員を遠ざけることが最大の価値であり、洋上操業に内在する安全リスクへの曝露を減らす。

#### 大幅なコスト効率の向上

技術サービスやトラブルシューティングのための専門家の遠隔地への出張の大半を不要にし、大規模な洋上ポートフォリオ全体で積み上がる多額の航空・物流コストを削減する。

#### 人材育成の加速

オペレーターの訓練・立ち上げを洋上プラットフォームではなく陸上のバックオフィスで行うことで、技能開発を速め、訓練に伴う物流コストを削減し、新人グループをより柔軟に配置できる。

#### 実証済みの展開

デジタルツインによる遠隔操業技術は、洋上操業ですでに大規模に全面展開・検証済みであり、新興の概念実証ではなく、投資対効果（ROI）の確立した成熟した能力である。

#### スケラブルな知識移転

シミュレーションで学習したAIが専門知識を内包し、稀少な専門家に頼らずに資産間で一貫した実行を実現する。

#### 業界横断での適用可能性

フィジカルAIが安全性重視・遠隔・複雑な環境で稼働するあらゆる場面に適用できる。ER&I、物流、医療施設などが含まれ、シミュレーションファーストの検証が安全性・信頼性・運用上の確度を高める。

# シミュレーション主導の遠隔操業・訓練 (2/2)

## リスク管理と信頼の確保



### 堅牢性・信頼性

遠隔トラブルシューティングに用いるデジタルツインは、対象設備の現在の状況を忠実に再現していなければならない。同期の不備によりシミュレーションが稼働システムの実態と乖離すると、遠隔地にいる専門家が不正確な仮想モデルに基づいて介入策を推奨してしまうおそれがある。デジタルツインと稼働中の物理データを継続的かつ確実に同期させることは、安全な遠隔操業の前提条件である。



### 責任とアカウンタビリティ

本ユースケースでは、すべての物理的な介入について、最終的な承認権限を人間が保持する。AIは推奨を支援するが、自律的に行動することはない。説明責任を担保するため、組織は、シミュレーションが何を予測し、遠隔の専門家が何を推奨し、最終的にどの対応が承認・実行されたかを記録する必要がある。



### 透明性・説明可能性

デジタルツインを用いてトラブルシューティングを行う遠隔の専門家やオペレーターは、シミュレーションが現在の物理状況をどう表現し、予測される結果がどのような前提に基づき、また、シミュレーションの限界が推奨の信頼性にどのように影響を及ぼし得るかを理解している必要がある。



# サマリー：業界横断のフィジカルAI事例集

最も強力なフィジカルAIの能力の中には、特定の業界ではなく、解決する業務課題によって定義される「業界横断型」のものがある



フィジカルAIを業界の枠の中だけで捉えるのは難しい。本事例集で取り上げるインパクトの大きい能力の多くは、それが対象とする業界ではなく、解決する業務課題によって特徴づけられる。そうした課題は、業界を越えて似た形で繰り返し現れるため、同じ基本アプローチを幅広く展開できる。

本章で取り上げる業界横断型のユースケースには共通した特徴がある。解決する課題が普遍的で、解決策も転用しやすいため、特定の業界に特化した章に位置付けてしまうと、その重要性を十分に示せないという点である。例えば、品質保証、物流の自動化、物理環境での人と機械の協働、シミュレーションを活用したオペレーションは、多くの業界の企業が似た形で直面する課題である。ある業界でこうした課題を解決するために培われた能力は、一定の調整こそ要するものの、ゼロから作り直すことなく他業界にも展開できる場合が多い。

この業界横断性は、フィジカルAI投資の経済性を変える。この点を認識した組織は、複数の事業部門、地域、機能にわたって同じ実装を活用し、投資対効果を高めながら、単一的な導入にとどまらない全社的な能力を築ける。また、業界横断性はフィジカルAIの機会の評価軸を変える。問うべきは「自社の業界では何が行われているか」だけではない。「自社が解こうとしている業務課題は何か。そしてそれはどこで、応用できる形で既に解かれているか」である。

フィジカルAIが成熟するにつれ、業界特化型と業界横断型の能力の境界は、さらに曖昧になっていくだろう。本章で取り上げるユースケースは、その融合の最前線を示している。



# 自律的な自己校正による品質・プロセス制御 (1/2)

## 欠陥検知から、自らの性能を維持しながら欠陥を未然に防ぐ生産システムへ

### 概要

フィジカルAIシステムは、高度なビジョン、センシング、クローズドループ型のプロセス制御を組み合わせ、生産品質と自らの稼働性能を継続的に監視する。欠陥、プロセスのドリフト、センサーのずれ、環境変化をリアルタイムで捉え、センサーの再校正、モデルの再学習、機器パラメータの調整を自律的に行うことで欠陥の波及を防ぎ、定期的な人手の介入に頼らずに精度と安定性を保つ。

### 課題・機会

従来の品質システムは生産後に欠陥が発見されるため、スクラップ、手戻り、バッチ損失、そして根本原因の特定の遅れを招く。また、フィジカルAIシステムそのものも時間とともに性能が劣化する。カメラの位置ずれ、センサーのドリフト、照明条件の変化、温度環境の変動により、頻繁な手動校正と保守が必要となる。こうした課題は、生産効率の低下、品質リスク、継続的な運用負荷につながる。

機会は、事後的な検査や手動保守から脱し、欠陥の発生を未然に防ぐとともに、自らの性能を維持できるフィジカルAIへ移行することで、変化の大きい生産環境においても品質と信頼性を継続的に確保することにある。

### フィジカルAIによる解決

#### リアルタイム欠陥分析とクローズドループ制御

ビジョンシステムが品質問題の兆候を捉え、欠陥が広がる前に温度、圧力、速度、位置決めなどのプロセスパラメータを自動で調整する。

#### 工程横断の統合検査

品質データを各工程で共有し、下流工程の結果を踏まえて上流工程を調整することで生産ライン全体を最適化する。

#### 自己監視とドリフト検知

AIが自らの精度、誤検知率、環境入力を継続的に評価し、性能の劣化を早期に検知する。

#### 自動校正と補正

ずれやドリフトを検知すると、システムが生産を停止することなくカメラ、センサー、モデルを自律的に再校正する。

#### 予測的品質モデリング

機械学習モデルがプロセス変数から欠陥リスクを予測し、事後的な是正ではなく予防的な介入につなげる。

### 期待される効果

#### スクラップと手戻りの削減

欠陥の発生源で問題を防ぐことで、材料ロス、バッチ損失、高コストの手戻りを減らす。

#### 精度と信頼性の維持

自己校正システムは長期間にわたり一貫した性能を保ち、保守サイクルの間に生じる性能劣化を抑制する。

#### ダウンタイムと生産中断の最小

自動補正により、本来ならシステム停止を招く障害を未然に防ぐ。

#### 保守負荷の低減

手動の校正・検査への依存を減らし、専門人材をより付加価値の高い業務に振り向けられる。

#### 継続的な品質改善

クローズドループ学習により、人手では実現が難しいレベルまで一貫したプロセス制御を継続的に高度化する。

#### 監査可能性と検証の強化

品質データと工程データは、規制監査や顧客による認定を支える根拠となる。

# 自律的自己校正による品質・プロセス制御 (2/2)

## リスク管理と信頼の確保



### 堅牢性・信頼性

センサーの再校正、モデルの再学習、プロセスパラメータの調整を自律的に行うシステムは、それらを確実に実行しなければならない。誤った自己校正によって検知精度が低下すれば、欠陥を検知できないまま波及してしまうおそれがある。自己監視機能そのものも監視・検証し、生産を乱す不適切な再校正ではなく、実際のドリフトを正しく見極めていることを担保する必要がある。



### 責任とアカウンタビリティ

人間のレビューを伴わない自律的なプロセス調整は、出力品質や機器の挙動に悪影響を及ぼしかねない。組織は、どの調整が事前検証済みの安全な運用範囲に収まり、どの調整が実行前にエンジニアの検証を要するかを定める必要がある。これにより、レビューを経ていないAIの判断が、生産品質や機器の健全性に広範な影響を及ぼすことを防ぐ。



### 透明性・説明可能性

補正が適切かを検証し、自己校正ロジックが誤った信号に反応した場合を把握するため、プロセスエンジニアは、何が自己校正を引き起こし、どのような調整が行われ、その結果どうなったのかを理解する必要がある。不透明なまま自己補正するシステムは、生産現場で品質問題が生じた際の監査、認証、およびトラブルシューティングを難しくする。



# 半自律型の倉庫荷役ロボティクス (1/2)

## 変化の大きい倉庫荷役を支える、人間監督型のフィジカルAI

### 概要

移動ロボットが、監督下でコンテナの荷下ろし、商品の再配置、パレット配置の最適化を担い、人間によるフォールバックを残しながらスループットを高める。

### 課題・機会

倉庫での積み込み・荷下ろしは、身体的負担が大きく、反復的でありながら、倉庫全体の処理能力を左右する作業である。手作業では作業品質にばらつきが生じやすく、人間工学上のリスクも高い。また需要が集中するピーク時には、処理量を柔軟に拡大しにくい。作業員はコンテナから商品を下ろし、重い箱をパレットに積み、倉庫の所定位置に商品を配置する。こうした負荷の高い作業は、けが、疲労、高い離職率を招く。

繁忙期や販促期間には、増加したコンテナ量を処理するための人員を十分に確保できず、在庫として利用可能になるまでの時間が延びる。その結果、顧客の迅速な配送への期待に応えられないボトルネックが生じる。パレットの積み付け品質も、作業員の習熟度や疲労度によってばらつきがあり、商品が不安定に積まれたり倉庫スペースの利用効率が低下する。

一方、従来の固定式自動化は、多くの場合、コストの大きいインフラ再設計を必要とする。固定式コンベヤや自動倉庫は大規模な施設改修を伴い、標準化された製品には適しているものの、現代の物流センターで一般的な、多様なコンテナ内容物には対応しにくい。

機会は、判断・安全・説明責任のために人間を関与させたまま、物理世界を認識・推論し行動できるフィジカルAIを展開することにある。これにより、運用上のレジリエンスや統制を維持したまま、身体的負担の大きい作業を自動化できる。

### フィジカルAIによる解決

#### 構造化されていない物理環境の認識

ビジョンとセンサーフュージョンにより、システムは物体の識別、向きの評価、障害物の検知、空間的制約の把握をリアルタイムで行う。

#### 監督付き自律制御

ロボットは定められたタスクを実行し、通常の範囲を外れた状況や判断を要する場面に直面した場合は、人間の監督者にエスカレーションする。

#### 物理推論と適応的な把持・搬送

AIモデルが安定した把持点、荷重バランス、移動経路を見極め、状況の変化に応じて動作を動的に調整する。

#### 環境センシングの統合

ロボットは障害物を検知して経路をリアルタイムで調整し、作業員、機器などの往来が絶えない倉庫環境でも一時的な障害物を避けて移動する。

#### フォールバックによる継続性の仕組み

手動オーバーライド機能により、技術的な中断が発生した場合でも業務を止めずに継続できる。ロボットが停止した場合は作業員が手作業でタスクを完了できる。

### 期待される効果

#### 荷下ろし時間の短縮

機械を連続的に稼働させることで処理速度が上がり、繁忙期のコンテナ回転率を高められる。

#### スペース利用の改善

スペース効率の高いパレット構成を一貫して適用することで倉庫の収容力が高まり、垂直方向の保管を最大化し、無駄なスペースを最小化する。

#### 人間工学的負担の軽減

重要物の持ち上げや反復作業の自動化により作業員の身体的負担やけがのリスクを低減する。

#### フォールバック機構による運用レジリエンス

人間によるフォールバックによって障害時の業務継続性を確保できる。機器が故障しても、作業員が代替的に対応できるため、業務の完全停止を回避できる。

#### 業界横断での適用可能性

物流、製造、医療施設、建設現場、産業プラントなど動的な環境で物理的な物品を安全に扱う必要がある幅広い領域へ適用できる。

# 半自律型の倉庫荷役ロボティクス（2/2）

## リスク管理と信頼の確保



### 安全性・セキュリティ

共有の倉庫環境で稼働する移動ロボットは、人の存在を確実に検知し安全に対応できなければならない。これは特に、作業員が疲労し予測しにくい動きをする高負荷の繁忙期に重要となる。安全境界の検証にあたっては、ロボット支援の必要性が最も高く、人とロボットが最も近接する混雑したピーク時を含め、実際の運用環境を想定した検証を行う必要がある。



### 責任とアカウンタビリティ

監督付き自律の運用では、通常の運用範囲を外れた状況や人間の判断が必要な場面で、ロボットが人間の監督者へエスカレーションする。何がエスカレーションを引き起こすか、ロボットの行動が製品の損傷や作業員のけがを招いた場合に誰が責任を負うか、インシデント時の調査と責任の判断を支えるためにどのようなログを残すべきかを、明確なガバナンスとして定めておく必要がある。



### 透明性・説明可能性

エスカレーションに対応する人間の監督者は、要求を承認する際に十分な情報に基づいて判断できるよう、システムが何を認識し、なぜ例外を求めているのかを理解しなければならない。監督者が解釈できない不透明なロボットのエスカレーションは、本ユースケースの前提となるガバナンスモデルそのものを損なう。



# 産業オペレーション向け音声操作フィジカルAIアシスタント（1/2）

## 安全性が重視される現場におけるハンズフリーな人と機械の協働

### 概要

産業環境向けに設計された音声操作型フィジカルAIシステムは、作業員が機械やロボットと対話しながら、情報の参照や操作の実行、アラートの受信を行えるようにする。騒音の大きい工場などの現場でも利用できるよう最適化した音声認識と、音声・タッチ・視覚を組み合わせたマルチモーダルインターフェースにより、手がふさがった環境や危険を伴う作業環境での人とAIの協働を支える。

### 課題・機会

機械の操作、点検、保守を行う産業作業員は、物理作業をやりながらAIシステムと対話しデジタル情報にアクセスしなければならないことが多い。画面とキーボード、あるいはタッチスクリーンを前提とする従来のインターフェースは、対話のたびに作業員に物理作業の中断を強い、効率を下げるだけでなく、危険な作業から注意が逸らされることによる安全上のリスクも生じる。

一般的な音声アシスタントは、騒音の大きさ、タスクの複雑さ、運用文脈への対応不足といった理由から産業環境では十分に機能しない。本コースケースの狙いは、現場の実態に即した安全でハンズフリーな操作環境を実現することにある。

### フィジカルAIによる解決

#### ノイズに強い音声認識

産業環境向けに特化して学習させた高度な音声認識モデルが、機械音や周囲の会話を選び分け、騒がしい生産現場でも作業員の指示を正確に聞き取る。

#### 文脈を理解するAI

自然言語処理により、作業員は決まったコマンドを覚えることなく自然な言葉で質問や指示を行え、AIは現在のタスクや機器の状態という文脈から意図を正しく読み取る。

#### ハンズフリーで安全に配慮したインタラクション

作業員は作業を中断したり安全上重要なタスクから注意をそらしたりすることなく、情報へのアクセス、操作の実行、アラートの受信を行える。

#### マルチモーダルなインタラクション設計

システムは音声入力にタッチ、ジェスチャー、視覚的確認を組み合わせ、単一の方法を強いるのではなく、その場の状況やタスクに応じて作業員が最適な操作方法を選べるようにする。

#### ヒューマン・イン・ザ・ループの運用

アシスタントは自律制御を行わず、意思決定と実行を支援するにとどめ、人間の判断と説明責任を保つ。

### 期待される効果

#### 重要環境でのハンズフリー操作

作業員は物理作業を中断したり安全上重要な作業から視線を外したりせずに、情報アクセス、システム制御、AIの示唆の受信ができ、手がふさがった作業でも効率と安全性をともに高められる。

#### 学習・導入障壁の低減

自然な音声でのやり取りがAI導入の学習負担を軽減し、複雑なインターフェースの高度な研修やコマンドの暗記なしに、作業員がAIの能力を使いこなせるようにする。

#### AIのアラート・推奨への迅速な対応

音声による通知やアラート画面の確認をせずとも即座に受け取られるため、AI監視システムが捉えた品質問題、安全警告、プロセス異常へ素早く対応できる。

#### 業界横断での適用可能性

安全・時間・移動の制約の下で作業員が物理システムと対話するあらゆる場面に適用できる。製造、エネルギー、物流、医療施設、建設現場、フィールドサービスなどが含まれる。

# 産業オペレーション向け音声操作フィジカルAIアシスタント（2/2）

## リスク管理と信頼の確保



### 堅牢性・信頼性

音声認識は、管理されたテスト環境だけでなく、実際の産業現場においても安定して機能しなければならない。周囲の騒音、音響環境のばらつき、作業員ごとの話し方の違いは、いずれも認識精度に影響する。安全上重要な作業や時間的制約の大きい作業中に指示を誤認するシステムは、本来防ぐべき業務の中断と安全上のリスクを生んでしまう。



### 公平性・中立性

特定の言語やアクセントを中心に学習した音声認識は、学習データと異なる話し方や方言を持つ作業員に対して精度が低下する可能性がある。その結果、多様な人材の間でAI支援機能へのアクセスに格差が生じかねない。組織は、システムを利用する作業員の言語的・人口統計的な多様性全体を対象に認識精度を検証する必要がある。



### 透明性・説明可能性

安全上重要なガイダンスや機器アラートを音声AI経由で受け取る作業員は、それがAIによる推奨なのか事実情報なのか、また、システムがどの程度の確信を持っているのか、そして、必要に応じて出力をどう上書きできるのかを理解している必要がある。作業中で内容を容易に照合できない環境では、システムの限界に関する透明性が、安全な運用判断を行う上で重要となる。



# 消費財 フィジカルAI事例集



# サマリー：消費財のフィジカルAI事例集

フィジカルAIは、モノの流れ、店舗運営、そして消費者が身の回りの世界を体験するあり方を変革しつつある



消費財企業は、あらゆる業界の中でも特に広範かつ多様な物理的拠点とオペレーションを抱えている。大陸をまたぐサプライチェーン、数千拠点規模の流通ネットワーク、大規模な人員配置と運営が求められる小売環境、そして最終到達点である「家庭」という、最も予測が難しい物理環境が含まれる。この広がりはいままで、労働力への高い依存、オペレーションのばらつき、そして顧客接点全体にわたる一貫性の確保の難しさを意味してきた。

フィジカルAIは、こうした構造的な課題の一つひとつに直接対応する。労働集約的かつ反復的な業務では、自律システムが物理作業をより高い信頼性とスケールで担うことができる。品質管理やコンプライアンスが数百拠点における人の目視確認に依存している領域では、AIビジョンが、手作業による監査では実現できない継続的かつ一貫した監視を可能にする。さらに、消費者がより迅速で応答性の高いサービスを求める領域では、AIによって連携された物理システムが、コストを比例的に増やすことなく、その期待に応えることを可能にする。

一方で、消費財業界はフィジカルAIにとって最も導入難易度の高い環境の一つでもある。消費者環境は動的で予測が難しい。店舗レイアウトは変化し続け、配送ルートも絶えず変動する。また、家庭環境は一つとして同じものがない。統制された構造的環境で導入できる産業用途とは異なり、消費者向けのフィジカルAIは、人が生活する現実世界で安定して機能しなければならない。そのため、堅牢性と適応性に求められる水準は大きく引き上げられる。

さらに、消費者の信頼という論点も加わる。フィジカルAIが店舗や配送現場、そして今後さらに家庭の中へと浸透していくにつれ、透明性やプライバシーに関する基準は、規制当局だけでなく消費者自身によっても形作られるようになる。その信頼を獲得できる企業は、フィジカルAIを持続的な競争優位の源泉として活用できるだろう。



# 都市モビリティサービス向け自律輸送（1/2）

## 予測困難な都市環境におけるAI主導のモビリティ

### 概要

自動運転車が、配車サービス、モビリティサービス、物品配送を人間のドライバーを介さずに提供し、フィジカルAIを日常的な移動・輸送サービスの現場にもたらす。

### 課題・機会

都市モビリティは、ドライバー不足、コスト上昇、サービス提供の不安定化といった課題に直面している。従来の輸送モデルは効率的な拡張が難しく、配車サービスのドライバー確保が困難な地域や、利用需要はあるにもかかわらずドライバーが不足する閑散時間帯には、移動手段の空白が生じる。

機会は、人間のドライバーへの依存を減らしながら移動サービスへのアクセス性を高める自律型旅客サービスを展開することにある。安全性と社会的受容を支える規制の枠組みの下で、時間帯や地域に左右されない一貫したサービス提供を実現できる。

### フィジカルAIによる解決

#### 認識とナビゲーション

AIが交通の流れ、歩行者の動き、工事区域、路面状況などの複雑な都市環境を把握し、市街地を安全に走行する。

#### 乗客とのインタラクションシステム

車両は音声インターフェース、車内ディスプレイ、モバイルアプリを通じて利用者と直接やり取りし、乗車の手配、経路案内、各種要望への対応を行う。

#### 安全制約付き自律

運用は監督下に置かれ、速度制限や運行エリアの制約、乗客および公衆の安全を最優先する保守的な判断によって、厳格な安全要件を満たす。

#### フリートレベルの最適化

フリートテレメトリを活用して需要パターンに応じた車両配置を行い、利用が見込まれるエリアの近くに車両を配置することで、待ち時間を短縮しサービス提供範囲を拡大する。

#### 規制適合設計

システムは、地域の交通当局が求めるデータ報告、安全認証、運用制限などの承認要件に適合する。

#### 人間によるフォールバック機構

自律システムが運用設計領域（ODD）を超える状況に遭遇した際には、遠隔オペレーターが助言を行ったり制御を引き継いだりできるエスカレーション経路を備える。

### 期待される効果

#### アクセスの拡大

ドライバー不足が発生する地域や時間帯でもサービスを提供できるため、より多くの人々が移動手段を利用できるようになる。

#### コストの低減

ドライバーへの依存が低下することで運用コストを削減でき、運賃引き下げやサービス提供地域の拡大につながる可能性がある。

#### 拡張性の向上

ドライバーの採用や定着に依存せずに需要に応じた車両運用が可能となり、サービスの拡張が容易になる。

#### サービス品質の向上

車両の挙動、経路設定、サービス品質が標準化された手順に基づいて運用されるため、規制当局の承認と社会的受容を前提として、利用者体験の一貫性と予測可能性が高まる。

# 都市モビリティサービス向け自律輸送（2/2）

## リスク管理と信頼の確保



### 安全性・セキュリティ

自動運転車は高リスクなAIシステムであり、サイバーセキュリティは設計段階から組み込むべき基本要件である。システムは、センサーのなりすまし、敵対的攻撃、不正アクセスに対して十分な耐性を備えなければならない。また、明確なインシデント対応手順を整備するとともに、商用運用の開始前および運用期間を通じて、定期的に第三者によるセキュリティ評価を実施する必要がある。



### 責任とアカウンタビリティ

自動運転車が公衆を巻き込む事故やインシデントに関与した場合、責任の所在が曖昧であってはならない。責任の枠組みは運用開始前に明確に定めておく必要がある。また、詳細な運用ログや安全関連イベントの記録を維持し、インシデント調査、規制当局への報告、継続的な安全性向上に活用できるようにすべきである。



### 公平性・中立性

サービスが十分に行き届いていない地域や閑散時間帯へのアクセス拡大という自律モビリティの価値は、フリート配置アルゴリズムが効率性だけでなく公平性も考慮して設計されて初めて実現する。経路設定、サービス提供状況、料金モデルについては定期的に監査を実施し、居住地域、所得水準、またはデジタル決済手段へのアクセス可否によって利用者が体系的に不利益を被らないことを確認する必要がある。



# 多目的家庭用サービスロボット (1/2)

## 家庭環境向けの推論対応サービスロボット

### 概要

フィジカルAIを搭載したサービスロボットが、推論モデルを活用して、清掃支援、物品の取り寄せ、準備作業、基本的な見守りといった家庭内支援タスクを担う。これらのロボットは、定められた安全性および自律性の範囲内で、変化し続ける家庭環境に適応しながら動作する。

### 課題・機会

現在の家庭用ロボットは、個々の動作ごとに細かなプログラミングが必要であり、その活用範囲は限定的かつ事前に定義された作業にとどまる。利用者は、「どこへ行くか」「何を取るか」「どのように扱うか」「いつ止めるか」といった手順を一つひとつ指示しなければならず、導入に手間がかかるうえ、同じ作業を繰り返す用途にしか対応しにくい。さらに、家庭環境では物の配置変更や家具の移動、新たな物品の追加が日常的に発生するため、事前に設定したプログラムはすぐに陳腐化し、都度更新が必要となる。

導入の障壁となっているのは、ハードウェアの能力ではなく、タスクごとのプログラミング負荷である。家庭で求められているのは、固定的な手順に従うロボットではなく、周囲の状況や利用者の目的、安全上の制約を理解し、文脈に応じて適切な行動を自律的に判断できるロボットである。

機会は、スクリプト型の自動化から、文脈を理解して適切な行動を推論し、構造化されていない家庭環境でも確実に機能する推論ベースのフィジカルAIへ移行することにある。これにより、導入・設定の負荷を大幅に軽減しながら、実用的な価値と適用範囲を広げることができる。

### フィジカルAIによる解決

#### 文脈推論

AIは、作業ごとに詳細な手順を指示されなくても、現在の状況、利用者の目的、周囲の環境を理解し、適切な行動を判断できる。

#### タスクプログラミングの削減

類似タスクへの汎化能力と環境変化への適応により、手動での再プログラミングを最小限に抑えられる。

#### 人とのインタラクション

システムは会話による指示や周囲の状況に自然に反応し、利用者は細かな手順ではなく大まかな意図を伝えるだけでよい。

#### 安全制約付き自律

行動はあらかじめ定義した安全範囲内に制限され、物的損害の防止、人の安全確保、運用範囲外の挙動の抑制を実現する。

### 期待される効果

#### 使いやすさ

利用者は大まかな目標を伝えるだけでよく、実行方法の詳細はシステムが状況に応じて判断するため、操作負荷が大幅に軽減される。

#### 対応タスクの拡大

個別のプログラミングを行わなくても、状況の違いや新しいケースに柔軟に対応できるため、自動化可能な作業領域が広がる。

#### インタラクションの向上

専用のプログラミング画面やコマンド体系を学ぶ必要がなく、自然言語や状況に応じた対話によって直感的に利用できる。

#### 長期的な拡張性

推論能力の向上やモデル更新の積み重ねにより、より複雑な家庭内タスクへ段階的に対応範囲を広げられる。

# 多目的家庭用サービスロボット（2/2）

## リスク管理と信頼の確保



### 安全性・セキュリティ

家庭内で物を扱うロボットは、子どもや高齢者、ペットの近くで稼働するため、危害を引き起こす可能性がある。安全境界は、実験室環境にとどまらず、実際の利用環境を想定して厳格に定義・検証しなければならない。また、ネットワーク接続されたシステムは、第三者が私的な住居内の機器を遠隔から監視・操作できてしまうような不正アクセスから保護されなければならない。



### プライバシー

家庭用サービスロボットは、人々の生活の中でも特に私的な空間を観察し、子どもを含む同居者の音声、映像、空間マップ、行動パターンを継続的に取得する。データ収集は、タスク遂行に必要な範囲に厳格に限定し、可能な限り端末上で処理すべきである。また、同居者全員の明示的かつ十分な説明に基づく同意なしに、第三者と共有してはならない。



### 責任とアカウンタビリティ

ロボットが自律的な推論に基づく行動によって人的・物的損害を引き起こした場合、責任の所在（ハードウェアメーカー、AI開発者、プラットフォーム運営者など）を特定することは容易ではない。責任分担はインシデント発生後に争うのではなく、導入前に契約上明確に定めておく必要がある。さらに、運用ログには、その時点でシステムが何を認識し、どのように推論し、どのような行動を実行したのかを正確に再現できるだけの記録を残すべきである。





# ビジョン対応の店舗オペレーション（1/2）

## ビジョンによるリアルタイムの店頭実行

### 概要

ビジョン対応の店舗オペレーションは、店舗内のコンピュータービジョンとエッジ分析を活用して棚の実行状況とプラノグラム遵守を継続的に把握し、リアルタイムの状況に応じた商品配置の最適化を可能にする。

### 課題・機会

店頭実行と棚割遵守の確認は、これまで主に手作業による監査に依存してきた。しかし、その方法は時間がかかるうえ、一貫性に欠け、問題発見も後手に回りがちである。フィールド担当者は各店舗を巡回しながら、商品の陳列状況、在庫水準、販促ディスプレイを目視で確認し、実際の棚割をプラノグラム（棚割計画）と照合している。確認のたびに、理想的なレイアウトと現状を頭の中で比較し、陳列間隔やフェイス数を見積もり、逸脱箇所を後日の対応のために記録しなければならない。

担当者が週に訪問できる店舗数は限られており、監査結果が店舗へ共有される頃には棚の状態が変わっていることも少なくない。そのため、手作業による確認ではカバー範囲が限られ、是正対応も遅れがちになる。棚の実行状況にばらつきがあると、誤った場所に陳列された商品は顧客の目に留まりにくくなり、欠品も見逃されやすくなる。また、販促ディスプレイがブランド基準を満たさないことで、売上やブランド認知の低下につながる可能性がある。

このユースケースでは、コンピュータービジョンによって目視確認を自動化し、置き間違い、欠品リスク、最適ではない棚配置をより迅速に発見する機会を得れる。一方で、大規模展開において信頼性と実用性を確保するためには、照明条件、店舗形態、利用デバイスが異なる環境でも高い精度を維持する必要がある。

### フィジカルAIによる解決

#### 通路でのエッジビジョン

コンピュータービジョンモデルが棚の画像を解析し、商品の配置や間隔を把握するとともに、個々のSKUを識別し、フェイス数を数え、置き間違いを検知する。

#### 文脈を踏まえたプラノグラム推論

AIがERPと連携した照合結果を踏まえ、実際の棚配置を想定される棚割テンプレートと比較し、逸脱箇所を可視化するとともに是正の優先順位を提示する。

#### リアルタイムのフィードバックループ

フィールド担当者は是正に向けたガイダンスを即座に受け取り、どの商品を修正すべきかを示す視覚的なオーバーレイが表示される。

#### スケーラブルな検証カバレッジ

自動解析により人員を増やすことなく確認頻度を高められ、週次・月次の手作業監査に代えて日次での確認が可能になる。

#### ヒューマン・イン・ザ・ループの実行

フィールドスタッフが最終的な判断と実行を担い、AIは推奨事項や視覚的オーバーレイを提示することで、自律的な物理操作を行うことなく、迅速かつ的確な是正対応を支援する。

### 期待される効果

#### コンプライアンス検証の迅速化

逸脱をその場で検知できるため是正までの時間を短縮でき、監査結果の集計・共有を待つことなく、同じ訪問の中で修正対応を完了できる。

#### マーチャンダイジング効果の改善

商品を最適な位置に配置し続けることで視認性が高まり、販促施策との整合性も維持されるため、売上向上につながる。

#### 手作業の監査負荷の軽減

点検作業の自動化により監査に費やす時間を削減し、担当者は店舗との関係構築や戦略的なマーチャンダイジング改善に注力できる。

#### 実行の一貫性向上

標準化された確認プロセスにより店舗間でブランド表現の一貫性が高まり、店舗形態や地域を問わず統一された棚展開を実現できる。

# ビジョン対応の店舗オペレーション (2/2)

## リスク管理と信頼の確保



### 堅牢性・信頼性

実世界の小売環境におけるあらゆる条件下で高い精度を維持できることは、本ユースケースを大規模展開するための前提条件である。しかし、その条件は極めて厳しい。たとえば、変化する店舗照明、雑然とした棚、機器によって異なるカメラ性能、さらには商品カテゴリーや地域市場をまたいで存在する数千ものSKUのばらつきなどである。限られた店舗でのみ検証されたモデルは、新たな環境では十分な性能を発揮できない場合がある。そのため、性能評価は導入前の一度きりで終わらせるのではなく、稼働中の全展開範囲にわたって継続的に実施しなければならない。



### 責任とアカウントビリティ

AIが生成したコンプライアンス評価が、サプライヤーへのペナルティ、販促費用を巡る係争、契約上の紛争といった商業上の判断に影響を及ぼす場合、その評価根拠は単におおむね正しいだけでは不十分であり、第三者に対して合理的に説明できるものでなければならない。組織は、システムが何を検知し、それをどのように解釈し、最終的に誰がその結果に基づいて行動したのかについて、明確な監査証跡を維持する必要がある。また、自動検知の結果が重大な商業上の措置につながる前には、必ず人間による監督を介在させるべきである。



### 透明性・説明可能性

このシステムが前提とするヒューマン・イン・ザ・ループの運用は、フィールド担当者が「なぜ逸脱と判定されたのか」を理解できて初めて機能する。推奨事項には、視覚的な証拠に加え、想定された棚レイアウトと実際の棚レイアウトの差異を平易な言葉で説明した内容や、判定の確信度を示す指標を添えるべきである。そうすることで、担当者は理由の分からない出力にただ従うのではなく、その妥当性を確認し、必要に応じて異議を唱えながら適切な判断を下せるようになる。



# フリートテレメトリと経路最適化（1/2）

## エッジインテリジェンスが駆動する適応型物流

### 概要

フィジカルAIシステムは、配送車両にインテリジェンスを組み込み、車載センサー、エッジコンピューティング、リアルタイム接続を活用して運行状況を継続的に把握する。そして走行中に経路、運転行動、配送実行を動的に調整することで、物流オペレーションの最適化を実現する。

### 課題・機会

配送ネットワークは、多様な交通状況、配送上の制約、顧客ごとの配送時間枠に対応しながら運用されている。静的な経路計画ではリアルタイムの状況変化に適応できず、遅延や非効率を招く。さらに、複数の追跡ベンダーや統一されていないテレメトリ規格がシステム統合を難しくし、拡張の妨げとなる。こうした物流上の非効率は、燃料消費の増加、配送遅延、小売事業者に対するサービス品質の低下につながる。

機会は、車両そのものが知能を備えた主体として機能するフィジカルAI対応フリートを展開することにある。車両が状況を継続的に把握し、リアルタイムで運行を調整するとともに、フリート管理システムと連携することで、大規模な運用においても高いサービス信頼性を維持できる。ただし、システム全体を統合的に機能させるためには、相互運用性の確保、データ標準化、製造システムや倉庫システムとの安全な連携が前提となる。

### フィジカルAIによる解決

#### リアルタイム経路最適化

AIモデルが位置情報、交通状況、配送の進捗を分析し、状況変化や事故、予期しない遅延に応じて経路を動的に再計算する。

#### 運転行動の分析

テレメトリデータを活用して、急ブレーキ、過度のアイドリング、燃費悪化やリスク増加につながる不適切な速度管理など、非効率または危険な運転パターンを特定する。

#### 積載順序の最適化

アルゴリズムが配送順序と積載内容の組み合わせを最適化し、配送順に商品を積み込むことで、各配送先で品物を探す時間を削減し、作業効率を高める。

#### 予測的な遅延モデリング

エッジ環境に展開されたAIが、過去の交通パターン、天気予報、既知の工事区域などを踏まえて混乱要因を予測し、配送スケジュールに影響が及ぶ前に先回りして経路変更を提案する。

#### システム横断のデータ統合

フリートデータを生産スケジュールや倉庫の出荷システムと連携させ、注文の準備完了に合わせて車両を出発させ、荷受けドックの空き状況に合わせて到着させることで、出荷物流全体の最適化を実現する。

### 期待される効果

#### 小売業者までの所要時間短縮

動的な経路最適化により遅延を回避し、配送先での待機時間を抑えながら、約束された配送時間内での到着を実現することでサービス水準を向上させる。

#### 輸送コストの低減

経路最適化、不要な走行距離の削減、および運転行動の改善によって燃費を向上させ、アイドリング時間を削減することで輸送コストを抑制できる。

#### 安全監視の改善

運転行動の分析により、追加研修が必要なドライバーの特定、事故につながる兆候の早期発見、インシデント発生前の予防的な対応が可能となり、運用リスクを低減できる。

#### 配送信頼性の向上

リアルタイムでの運行調整によって混乱の影響を緩和し、物流管理者は小売事業者に対して正確な到着予定時刻を伝えながら、予期せぬ障害が発生した場合でもサービスレベルを維持できる。

# フリートテレメトリと経路最適化（2/2）

## リスク管理と信頼の確保



### プライバシー

継続的なフリート監視は、ドライバーに関する多量の個人データ（正確な位置履歴、行動パターン、勤務時間、ドライバー向けカメラを使用する場合は生体データなど）を生成する。生体データの収集に関する法規制への対応を含め、AI対応フリートソリューションには、導入前後を通じて、ドライバーからの明示的な同意取得、保存期間の明確な制限、定期的なベンダーのセキュリティ監査が求められる。



### 責任とアカウントビリティ

AIによる運転行動スコアは、懲戒処分、再研修の指示、さらには解雇など、雇用上の重要な判断に影響を及ぼす可能性がある。組織は、こうしたスコアが人事判断にどのように利用されるのかについて明確なガバナンスを定める必要がある。また、雇用上の処分を伴う最終判断は人間が担わなければならない。さらに、ドライバーは自身のデータにアクセスできるとともに、不正確だと考える評価に対して正式に異議を申し立てられる仕組みを備えるべきである。



### 公平性・中立性

過去のフリートデータで学習した運転スコアリングモデルは、都市部特有の渋滞、難易度の高い配送ルート、センサー性能の低い旧型車両の利用など、ドライバー自身では制御できない要因によって、一部のドライバーを不当に不利な立場に置く可能性がある。AIモデルは定期的に監査し、経路条件や機器の違いではなく、実際の運転行動を適切に評価していることを確認しなければならない。また、評価結果がフリート全体で公平に比較可能であることを担保する必要がある。



# 消費者向けモビリティのエッジ・クラウドアーキテクチャ（1/2）

## 車両でのリアルタイムな物理的行動を支える分散インテリジェンス

### 概要

エッジ・クラウドのフィジカルAIアーキテクチャは、車両と中央プラットフォームの間に知能を分散配置し、エッジ側ではリアルタイムな認識・制御を実行しながら、クラウド側ではフリート全体の学習、データ管理、継続的な改善を担う。

このアプローチにより、超低遅延が求められる安全要件と、地理的に分散したモビリティフリート全体における拡張性の高いモデル学習・展開の両立を実現する。

### 課題・機会

モビリティ車両は、動的で安全上重要な環境で稼働しながら、カメラ、LiDAR、レーダー、その他の車載システムから大量のセンサーデータを生成する。多くの運転判断はミリ秒単位で行う必要があり、ネットワーク遅延、帯域制約、接続品質の変動を考慮すると、クラウド処理だけに依存することは非現実的であり、安全上のリスクも伴う。

一方で、完全にローカルで完結する知能では、フリート全体の経験を活用した学習が難しくなり、認識・制御モデルの改善が遅れるほか、地理的に分散した希少なエッジケースから学ぶ機会も失われる。

また、生のセンサーデータを大規模に収集・転送・ラベリング・再利用することには多大なコストがかかり、開発上のボトルネックとなる。さらに、車載コンピューティング性能、ストレージ容量、通信帯域の制約により、扱えるデータ量にも限界がある。

このユースケースの機会は、リアルタイムのローカル実行を維持しながら、中央集約型の学習、データ管理、モデル展開を統合的に実現するエッジ・クラウドアーキテクチャにある。これにより、実世界のシステム制約を損なうことなく、自動運転技術の開発を加速できる。

### フィジカルAIによる解決

#### エッジでのリアルタイムな物理インテリジェンス

車両はカメラ、LiDAR、レーダー、テレメトリのデータをローカルで処理し、周囲を認識して即座に物理的な行動を実行する。エッジAIは、通信が途絶した場合でも、安全上重要な操作に対してミリ秒単位の応答を保证する。

#### クラウドでのフリートレベル学習

エッジ・クラウドのデータ基盤が、希少なエッジケースを含む実世界の走行シナリオを収集・整理し、優先順位付けや再現を行うことで、認識・制御モデルを継続的に高度化する。シミュレーションや合成データは実世界データを補完し、路上リスクを増やすことなく学習速度を高める。

#### 継続的なクローズドループ改善

エッジシステムは実世界での挙動からコンポーネントの健全性を推定し、センサー依存度を低減する。一方で、フリートデータとシミュレーションを活用してクラウド側でモデルを継続的に改善する。検証済みの更新はOTA（Over-the-Air）により配信され、ハードウェアを変更することなく車両全体の安全性、性能、信頼性を向上させる。

### 期待される効果

#### 運用レジリエンス

エッジ自律により、ネットワーク障害発生時でも車両は機能を維持できる。また、地域をまたぐ展開も容易になる。

#### システムコストの低減

必要なデータのみを送信し、推論をローカルで実行することで、通信帯域とクラウド計算資源のコストを削減できる。

#### シナリオカバレッジの拡大とモデルの堅牢性

フリート全体から収集したデータと合成データを組み合わせることで、多様な天候、交通状況、路面条件における性能を向上できる。

#### イノベーションサイクルの加速

フリート全体から得られる学習効果により、手動での再調整を行うことなく継続的な性能改善を実現できる。

#### 大規模でも一貫した体験

乗り心地、ブレーキ挙動、ナビゲーション性能がフリート全体で一貫して向上する。

#### より安全な消費者モビリティ

車両上でのリアルタイムな意思決定によって、動的な環境下での事故リスクを低減できる。

# 消費者向けモビリティのエッジ・クラウドアーキテクチャ（2/2）

## リスク管理と信頼の確保



### 堅牢性・信頼性

このアーキテクチャでは、エッジAIが安全上重要な判断（緊急ブレーキ、危険回避、衝突検知）をミリ秒単位で一貫して実行できることが不可欠である。テスト環境では良好な性能を示していても、センサーノイズ、悪天候、車両世代間のハードウェア差異といった実環境下で予測不能な性能劣化を起こすモデルは、直接的な安全リスクとなる。稼働中のフリート全体に対する継続的な検証は、任意の取り組みではなく、このアーキテクチャの基盤となる要件である。



### 責任とアカウントビリティ

継続的なクラウドベースのモデル更新は、このアーキテクチャ特有の説明責任上の課題を生む。AI起因の安全イベントが発生した際、フリート全体でモデル更新が継続的に行われている環境では、その時点での車両がどのモデルバージョンを使用していたのかを特定することは容易ではない。運用者は、安全関連イベント発生時のシステム状態を正確に再現できるよう、厳密なバージョン管理がなされた展開記録を維持しなければならない。また、ガバナンスプロセスには、更新が量産車両へ適用される前に独立した検証を必ず実施する仕組みを組み込む必要がある。



### 安全性・セキュリティ

新しいAIモデルを配備済みフリート全体へ一斉配信するOTA（Over-the-Air）更新パイプラインは、このアーキテクチャ最大の強みである一方、最も重大な脆弱性でもある。改ざんされた更新や検証が不十分な更新が配信された場合、一度に数千台規模の車両へ影響が及ぶ可能性がある。モデル学習から暗号署名、段階的な展開に至るまで、更新ライフサイクル全体を保護することは、単なるITガバナンス上のチェック項目ではなく、フリート全体の安全性を支える重要要件として扱うべきである。



# ロボットによる格納・ピッキングシステム（1/2）

## 倉庫における棚ベースのピッキングと格納

### 概要

ロボットシステムは、コンピュータービジョンによって乱雑な棚内の商品を認識し、空間モデリングによって棚の状態を把握しながら、力覚を活用した精密なマニピュレーションによって狭いスペースの商品を取り扱う。これにより、倉庫の棚や配送ステーションにおける格納およびピッキング作業の自動化を実現する。

### 課題・機会

棚ベースの倉庫作業では、作業員が密に詰まった棚へ何度も手を伸ばし、低い位置の棚にかがみ込み、頭上へ品物を持ち上げながら、重量や壊れやすさの異なる商品を狭いスペースで扱わなければならない。こうした反復動作は、腰痛や肩への負担、反復性ストレス障害といった人間工学上のリスクを生み、労災コストや離職率の上昇につながる。

従来の固定的な自動化システムでは、乱雑な棚の中で一部が隠れた商品を扱ったり、隣接する在庫を傷つけずに狭い隙間へアクセスしたり、形状の異なる商品を潰したり落したりすることなく把持したりすることが難しい。

フィジカルAIを活用したロボットシステムは、多数のSKU（在庫管理単位）に対する棚ベースのピッキングと格納を可能にし、人間工学上のリスクを軽減しながら、自動化の適用範囲を大幅に拡大できる。

### フィジカルAIによる解決

#### 密集した棚における高精度な認識

ビジョンモデルは、部分的な遮蔽や棚ごとの照明条件の違い、商品同士が近接して配置された環境であっても、対象商品を正確に識別できる。

#### 力覚フィードバックによる精密マニピュレーション

力覚センサーが把持中にリアルタイムでフィードバックを提供し、商品の特性に応じて把持力を調整するとともに、棚との接触を検知して損傷につながる動作を未然に防ぐ。

#### SKU単位での自動化判断

AIが各SKUの物理的特性を評価し、ロボットで確実に処理できる商品と作業員による対応が望ましい商品を判別することで、最適な作業分担を実現する。

#### 棚環境のワールドモデリング

AIが棚の占有状況や商品の配置状態、利用可能な空間を継続的に把握し、棚や周辺在庫との衝突を回避する動作計画を立案する。

#### 設置面積を考慮したシステム設計

AIが限られたスペースの有効活用を支援し、効率的な設備レイアウトの設計を可能にする。

### 期待される効果

#### 人間工学的リスクの低減

重量物や不自然な姿勢を伴う作業をロボットが担うことで、作業員の身体的負担を軽減できる。

#### 自動化カバレッジの拡大

従来の固定型自動化では対応できなかったSKUにも適用範囲を広げられ、より高い自動化率を実現できる。<sup>2</sup>

#### 運用の一貫性向上

シフトや拠点、人員構成の変化に左右されにくくなり、安定したスループットを維持できる。

#### 労務コストの削減

手作業への依存を減らしながら、生産性を維持または向上するとともに、人員をより高度な業務へ振り向けることができる。

#### 注文精度の向上

一貫したピッキングロジックにより人的ミスを削減し、誤出荷や返品、手戻りの発生を抑制できる。

# ロボットによる格納・ピッキングシステム（2/2）

## リスク管理と信頼の確保



### 安全性・セキュリティ

人間の作業員の近くで稼働するロボットアームは、力制御や物体検知が失敗すると、その場で物理的な安全リスクとなる。安全境界は、統制されたテストシナリオだけでなく、実際の運用条件の全範囲にわたって検証しなければならない。また、想定された運用範囲を超える状況や予期しない物体・人の接近が発生した場合にも、安全な状態へ移行できる信頼性の高いフェールセーフ動作を備える必要がある。



### 責任とアカウントビリティ

問題が発生した際の責任分担の枠組みは、インシデント発生後に協議するのではなく、導入前に明確に定めておかなければならない。システムが何を認識し、どのように推論し、どのような物理的動作を実行したのかを記録する運用ログは、インシデント調査、保険金請求、責任判断を支えるために十分な精度と詳細さを備えている必要がある。



### 堅牢性・信頼性

本システムの事業価値は、不規則な梱包、部分的な遮蔽、重量や脆さのばらつきといった実世界の複雑な条件下においても、ビジョンAIと力覚を活用したマニピュレーションが高い信頼性で棚作業を遂行できることにある。一般的な商品では良好な性能を示しても、見慣れない梱包や扱いが難しい商品で性能が低下するモデルは、単に効率を損なうだけでなく、人とロボットの最適な役割分担というシステム全体の前提を揺るがしかねない。



# 多品種な消費財物流向けビジョン対応ロボット投入（1/2）

## 産業スループットでのSKU多様性への対応

### 概要

ビジョン対応のロボットシステムは、高度なコンピュータービジョン、認識技術、機械学習モデルを用いて、多様な品物を識別し、向きを整え、把持し、移送する。コンベヤ投入に加え、床積みやパレット積みのトレーラー荷下ろしにも対応し、高いSKU多様性、反射する・損傷した梱包、不揃いな配置、非構造化環境においても産業スループットで運用できる。

### 課題・機会

物流センターのコンベヤ投入工程では、形状、重量、梱包材、ラベルの異なるSKUが混在するため、手作業による投入が身体的負担の大きいボトルネックとなり、ミスも発生しやすい。従来のルールベースの自動化は、固定的なテンプレートや既知の形状に依存するため、反射する表面、損傷した梱包、不揃いな配置、ラベルのない製品といった実環境では十分に対応できない。

機会は、動いている物体を認識・推論し、再設定することなくマニピュレーション動作をリアルタイムに適応させるフィジカルAIを、産業スループットで運用できる形で展開することにある。

### フィジカルAIによる解決

#### ばらつきへの許容性

AIモデルは、形状、表面の反射率、ラベル位置、梱包状態に大きな違いがあっても品物を識別・分類でき、SKUごとの事前設定テンプレートを不要にする。

#### 物理的結果からのクローズドループ学習

実行結果（落下、誤搬送、正常配置など）がモデルへフィードバックされることで、新たなSKUや梱包状態のばらつきに対する堅牢性を継続的に向上させる。

#### リアルタイムの分類とルーティング

ビジョンモデルが流れてくる品物を連続的に処理し、高速コンベヤ環境においても遅延なくルーティング判断を行う。

#### 物理ループ内の適応的マニピュレーション

AIが観測された品物の特性に応じて把持位置、配置時の力、リリースタイミングを動的に調整し、詰まり、誤搬送、落下を低減する。

#### エッジでの実行

AI推論は、継続的な産業スループットに必要な低遅延を実現するため、ロボット近傍のローカル計算基盤上で実行される。

#### 非安全重要な展開環境

システムは作業員から隔離されたエリアで稼働するため、協働ロボット用途と比べて、安全認証や責任に関する負担を軽減できる。

### 期待される効果

#### スループットの向上

入荷工程における手作業のボトルネックを解消し、単位時間当たりの投入処理量を増やす。

#### 労働生産性の向上

反復的な投入作業への依存を減らし、作業員が例外処理や品質検証など付加価値の高い業務に集中できる。

#### 運用の一貫性

システムの再調整を行うことなく、SKU変更、季節変動、需要ピーク時にも安定した性能を維持できる。

#### エラー率の低減

品物の識別と配置がより一貫して実行されることで、誤ルーティング、誤ラベル、下流工程での例外処理を削減できる。

#### 人間工学的負担とけがリスクの低減

反復的な投入作業への依存を減らし、作業員が例外処理や品質検証など付加価値の高い業務に集中できる。

# 多品種な消費財物流向けビジョン対応ロボット投入 (2/2)

## リスク管理と信頼の確保



### 堅牢性・信頼性

高スループットの産業環境では、わずかな誤りも許容されない。反射する梱包、損傷したラベル、見慣れないSKUを取り違えるビジョンモデルは、単にラインを遅延させるだけでなく、物流センター全体に波及する誤ルーティングや例外処理の増加、ボトルネックの発生を招く。性能は、設計・テスト段階で想定したSKUだけでなく、本番環境で実際に扱うあらゆる品物に対して継続的に検証しなければならない。



### 責任とアカウンタビリティ

本システムのクローズドループ学習という設計は、実世界での運用結果に応じてモデルの挙動が継続的に変化することを意味する。これにより、このシステム特有の説明責任上の課題が生じる。今日誤ルーティングを発生させたシステムは、1か月前のシステムと同一ではない可能性がある。運用ログは、根本原因分析、契約上の紛争解決、継続的な改善を支えるため、分類結果、マニピュレーションの実行結果、モデルバージョンを十分な精度と詳細さで記録しなければならない。



### 透明性・説明可能性

運用フィードバックに基づく継続的なモデル更新は、静的な自動化システム以上に厳格なガバナンスを求める。運用者は、モデルの挙動がいつ、何を契機に変化したのか、新たなSKUへの対応改善が他の商品群での性能低下を招いていないかを把握する必要がある。モデル更新は適切に記録し、全SKUを対象に検証したうえで、本番ラインへ展開する前に運用チームへ周知しなければならない。



# 消費財フルフィルメント環境における自律的な物品搬送 (1/2)

## 動的で人と共有する施設におけるフィジカルAI主導の物流

### 概要

自律走行ロボットが、作業員と共有する倉庫や工場フロアで物品を安全に搬送する。AIによる認識とエッジ自律により、ロボットは人、設備、障害物をリアルタイムで検知し、経路と速度を動的に調整する。さらに、フリートレベルのオーケストレーションによって複数ロボットを連携させ、混雑の緩和とスループット向上を図りながら、固定インフラに依存しない安全で柔軟な運用を実現する。

### 課題・機会

倉庫や製造施設の内部物品搬送は、フォークリフト、パレットジャッキ、手押し車を使う手作業に大きく頼っている。従来の無人搬送車 (AGV) は、固定の誘導軌道、磁気テープの経路、あるいは作業員から隔離した専用ゾーンを必要とする。施設レイアウトやワークフローのパターンは、季節需要、新製品ライン、プロセス改善に応じて頻繁に変わるため、固定経路の自動化は運用の柔軟性を縛る制約となる。

恒久的なインフラ改修を要さず、動的な環境で作業員と並んで安全に稼働できる移動式の自動化があれば、自動化された物品フローを保ちながら、施設はレイアウトやプロセスを効率よく組み替えられる。

ロボットフリートが拡大すると、個別ロボットの自律制御だけでは構造的なボトルネックが生じる。利用の多い通路での渋滞、人気のワークステーションでのタスク待ち、混乱発生時の連鎖的な遅延である。機会は、動きながら安全に推論し行動できるフィジカルAIを展開し、人と並んで稼働しつつ実世界の状況に絶えず適応する、柔軟な物品搬送を実現することにある。

### フィジカルAIによる解決

#### 人と物体の識別

コンピュータビジョンと機械学習による認識モデルが、人間をパレット、保管ラック、カート、構造物などの静的な対象と区別し、ロボットが検知対象に応じて異なる行動ルールを適用できるようにする。

#### 適応的な速度制御

ロボットは所定の近接範囲内で人を検知すると自動的に減速または停止し、接近角度、人の動き、安全要件に応じて挙動を調整する。

#### 人を考慮した安全領域の設定

ロボットは、現地の安全基準、施設内のゾーン区分、規制要件に応じて、速度制限、停止距離、接近時の挙動を動的に制御する。

#### 動的ナビゲーション

AIが、混雑状況、一時的な障害物、床面状態、人の動きに関するリアルタイムの観測結果を基に経路を継続的に再計算し、レイアウト変更のたびに更新が必要となる固定経路を不要にする。

#### エッジでの意思決定実行

エッジ自律により、中央の交通管制システムと通信しなくても、突発的な障害物や人の動きに即座に対応できるため、遅延を抑え、ネットワーク障害時でも安全な稼働を維持できる。

#### フリートレベルのオーケストレーション

AIによるフリートオーケストレーションが、タスク割り当て、経路計画、負荷分散をリアルタイムで最適化し、ボトルネックや待機時間を削減しながら複数ロボットを連携運用する。

### 期待される効果

#### 搬送作業の省力化

反復的な物品搬送作業への依存を減らし、作業員が判断や器用さを要する業務に注力できる。

#### 運用の柔軟性向上

ロボットの経路再設定や新たな誘導インフラの導入を行うことなく、施設レイアウト、保管場所、ワークフローを変更できる。

#### スケーラブルな展開

インフラ要件が小さいため、大規模な施設改修やダウンタイムなしに複数拠点へ迅速に展開できる。

#### 安全性の向上

一貫した検知と、人の周囲で予測可能かつ慎重に行動するロボットの挙動により、人とロボットが共有する空間での衝突リスクを低減できる。

#### 資産稼働率の向上

タスクの順序付けや経路最適化によってロボットの待機時間を減らし、追加投資をせずに既存フリートでより多くの作業を処理できる。

# 消費財フルフィルメント環境における自律的な物品搬送（2/2）

## リスク管理と信頼の確保



### 安全性・セキュリティ

本システムの成否は、ロボットが作業員と安全に空間を共有できるかにかかっている。人と物体の識別は、暗い照明、混雑するピーク時の通路、標準的でない姿勢の作業員、学習データに十分含まれないエッジケースなど、稼働中のあらゆる条件で確実に機能しなければならない。ここでの失敗は単なる性能不足ではなく、人の負傷や死亡につながりかねない。



### 責任とアカウンタビリティ

AMRが作業員との衝突やニアミスに関与した場合、AI開発者、ロボットメーカー、システムインテグレーター、施設運営者の間で過失をどう割り当てるかは、深刻で複雑な問題になり得る。説明責任の枠組みは展開前に確立しなければならない。また、安全イベント発生時のロボットの認識、判断、動作を捉える運用ログを、規制当局への報告、保険金請求、責任判断を支えるに足る正確さと詳細さで残さなければならない。



### 透明性・説明可能性

自律ロボットと施設を共有する作業員は、ロボットが自分の周囲でどのように振る舞うのか（何が減速・停止を引き起こすのか、接近された際にどう対応すべきか、予期しない挙動を見た場合にどうすべきか）を理解することに直接的な利害を持つ。ロボットの行動ルールを明確に伝えることは、倫理的な責務であると同時に運用上の要件でもある。ロボットの挙動を理解・信頼できない作業員は、システムが前提とする人とロボットの協働を損ない、危険なやり取りや不適切な回避行動を引き起こす可能性がある。



# 消費財オペレーション向けプログラマブル汎用ロボット（1/2）

## 変化する消費者向け環境に適応して稼働するフィジカルAIシステム

### 概要

ヒューマノイドや移動型ロボットを含む汎用フィジカルAIロボットは、変化する消費者向け環境の中で複数の業務を担うことを想定して設計されている。統合されたビジョン・言語・行動モデルを基盤とし、ソフトウェア更新によって検査、物品搬送、保守支援などの業務へ適応できる。これにより、柔軟な配置、人間監督下での自律運用、そして運用ニーズの変化に応じた同一ハードウェアの継続活用を実現する。

### 課題・機会

ほとんどの産業用ロボットは特定の物理作業に特化して設計されており、製品、レイアウト、プロセスが変化すると柔軟に対応できない。例えば、溶接ロボットを物品搬送へ容易に転用することはできず、ピッキングロボットも大幅なハードウェア改修や機器の交換なしに品質検査を行うことはできない。

こうした特化型設計は、運用ニーズが変化するたびに多額の再設備投資と長い導入期間を招く。また、特定の作業が不要なときには遊休化する単機能機器を多数保有しなければならない。従来の自動化は、固定レイアウト、硬直的なプログラミング、限定的なタスク定義に依存しているため、このような環境への適応が困難である。ワークフローの変更に合わせた再構成には時間とコストがかかる。そこで求められるのが、環境をリアルタイムに認識・推論し・行動できるフィジカルAIである。同一のロボットプラットフォームを活用しながら、物理的な再設備を行うことなく、新たなタスクや環境、ワークフローへ適応し、人と安全に協働できるようになる。

### フィジカルAIによる解決

#### リアルタイムの環境認識

ロボットはビジョンとセンサーフュージョンを活用して、棚、商品、人、工具、障害物を継続的に認識し、静的な地図ではなく最新の環境モデルを維持する。

#### ソフトウェア主導の能力拡張

新たな業務はハードウェア変更を伴わず、ソフトウェア更新やモデル学習によって追加できる。そのため、同一のロボットプラットフォームが時間とともに担える業務を拡大していく。

#### タスク間の共有学習

ある用途で得た知識や学習成果を別の用途へ転用できるため、例えば検査で習得した物体認識能力を保守業務での部品識別にも活用できる。

#### 人間監督下の自律

ロボットは人間の監督の下で運用され、定型業務は自律的に実行しながら、複雑な状況や判断が必要なケースについては人間のオペレーターへエスカレーションする。

#### 安全制約付きの挙動

AIは定められた安全範囲の中で行動を制御し、人とロボットが共存する作業空間において、速度・力・距離に関する制約を順守しながら稼働する。

#### マルチタスク適応性

ロボットはピッキング、物品搬送、検査、支援業務の間を柔軟に切り替え、単一のプラットフォームで複数の役割を担うことができる。

### 期待される効果

#### 柔軟性の向上

単一プラットフォームで複数の業務に対応できるため、用途ごとに専用機器を追加導入することなく、運用上の優先順位の変化に応じてロボットを再配置できる。

#### ハードウェア寿命の延長

ソフトウェア更新による機能追加と新たな業務への適応により、プラットフォームの活用期間が延び、ハードウェア更新頻度を抑えながら投資対効果を高められる。

#### 再設備の手間の削減

プロセス変更時も、機器を交換したり大規模に再設計したりする代わりに再プログラムによって対応できるため、業務ごとの専用自動化への投資を削減できる。

#### 将来に強い自動化の道筋

汎用的なソフトウェア定義型プラットフォームは、業務プロセスの変化やSKUの増加に合わせて拡張可能であり、運用変化のたびに大規模な再設計を行う必要を減らす。

# 消費財オペレーション向けプログラマブル汎用ロボット（2/2）

## リスク管理と信頼の確保



### 安全性・セキュリティ

ハードウェアを変更することなくソフトウェア更新によって新たな能力を獲得する汎用ロボットは、単機能の自動化システムにはない安全認証上の課題を生み出す。特に、導入時に実施した安全性検証が、その後のソフトウェア更新によって無効になる可能性がある。そのため、ソフトウェア主導で能力が拡張されるたびに、既存認証の範囲内の定常的な更新として扱うのではなく、改めてリスク評価を実施すべきである。



### 責任とアカウンタビリティ

ソフトウェア更新によって新たな物理的能力が追加され、その能力を用いた業務の中でロボットが損害や事故を引き起こした場合、責任の所在を明確にすることは容易ではない。契約上の責任分担の枠組みは、インシデント発生後に協議するのではなく、新たな能力を展開する前にあらかじめ定義しておく必要がある。



### 透明性・説明可能性

人間監督下の自律は中核的な設計要件である。しかし、それが機能するためには、作業員や監督者が、ロボットが現在どのような業務を実行できるのか、どのような制約の下で動作しているのか、そして前回の更新以降に何が変更されたのかを理解していなければならない。実効性のある人間による監督を実現するには、現在の能力と限界を明確に示した分かりやすい文書を整備し、新しいタスクやモデルを導入するたびに更新することが不可欠である。



# エネルギー・資源・生産財 フィジカルAI事例集



# サマリー：エネルギー・資源・生産財のフィジカルAI事例集

資産（アセット）を多く保有し、地理的にも広く影響し、そして妥協のない高い安全基準で特徴づけられるセクターにおいて、物理世界で感知・行動・適応できるフィジカルAIは、革新的な能力を提供する



エネルギー・資源・産業機械・産業施設ほど、フィジカルAIの恩恵を受けやすい業種はない。だが、その恩恵を実現するまでの道のりがこれほど険しい業種も少ない。地理的に分散した巨大な物理資産、遠隔・過酷から極めて危険にまで及ぶ環境と絶え間ない高い圧力下にある人、そして問題が起きたときの帰結が金銭だけでなく人命の安全や環境への影響でも測られること——これらがこのセクターの特徴である。

これらの業種に共通する根本的な課題は、規模とアクセスの問題である。資産は数が多く、広く分散し、ときに危険すぎて、最適な操業が求める頻度では人による点検・監督が難しい。早期に捉えれば防げたはずの障害が、高コストまたは壊滅的なイベントになる。計画できたはずの保守が緊急対応になる。網羅的なデータで下せたはずの判断が、断片的に集めた不完全な情報で下される。

フィジカルAIは、この課題を解決する。危険な環境で休まず稼働し、人の点検を阻む地理的な距離を埋め、数千の資産からのセンサーデータを同時に束ねられるシステムは、運用の可視性と統制をこれまでより高い水準に引き上げる。脱炭素化、レジリエンスの構築、より少ない人員での操業という圧力が高まる今、フィジカルAIは生産性向上策にとどまらない。戦略上の必須事項となる。

しかし、これを展開する上での課題は、機会の大きさに比例して重い。作業員の近くや重要インフラで稼働するAIシステムの安全検証は要求水準が極めて厳しく妥協が許されない。また、レガシーな運用技術（OT）との統合は複雑である。そして産業操業を律する規制環境は地域によって大きく異なり、フィジカルAIに何ができるか、どれだけ速く展開できるかに影響を与える。



# 環境・労働安全衛生の予測モニタリング（1/2）

## 映像によるリアルタイムな安全徹底

### 概要

映像装置を備えたドローン、ロボットや固定インフラに組み込まれたフィジカルAIが、エネルギー・資源・産業機械・産業施設の全体で安全状態を絶えず把握する。そして、状況に応じて変化するリスクを読み解き、予測モニタリング（機器異常や進行する危険の早期検知など）を行い、被害が出る前にインシデントを防ぐための、統制された物理的介入やエスカレーションを実行する。

### 課題・機会

環境・労働安全衛生（EHS）モニタリングは、手作業の観察と報告に頼ると、しばしば一貫性を欠き事後的になる。危険な行動はインシデントが起きるまで見過ごされることになり、徹底の度合いもシフトや拠点でばらつく。監督者は作業区域を絶えず見ていられず、監督の目がない場面では作業員が手を抜くこともあり、事故が露呈するまで積み上がっていくことで、安全コンプライアンスの隙間が生じてしまう。

手作業のインシデント報告は、作業員がニアミスや違反に気づき記録することに頼るが、報告率は、処分を恐れる場合や、生産納期の順守が安全手順の順守に優先する場合に下がる。徹底の度合いはシフトによって異なり、監督者ごとに安全ルールの厳しさも違う。コンプライアンスは監督者がいるときに最も高く、監督者がいなくなる時に最も低くなりやすい。

継続的で自動化されたモニタリングは、運用の混乱を最小限に抑えながらコンプライアンスを高め、シフト、立地、監督者の有無を問わず一貫した徹底を実現する。

### フィジカルAIによる解決

#### 継続的な映像分析

AIがカメラ・ドローンの映像をほぼリアルタイムで確認し、対象区域の全体で安全に関わる行動や状態を同時に捉え、マニュアルでの観察では届かない範囲をカバーする。

#### 誤検知フィルタリング

AIは、認可された作業員が正当な保守のために一時的に制限区域へ入る場合や、保護具（PPE）の要件が作業ごとに異なる複雑な環境でも、本当の違反と問題のない行動とを見分け、間違った判断を減らす。

#### スケーラブルな多拠点展開

一貫した検知フレームワークを各施設へ展開でき、立地、施設規模、現地の監督慣行を問わず、統一された安全基準と比較可能な指標を保てる。

#### ルールベースの安全解釈

モデルは、あらかじめ定めたルール（区域、PPE要件）と、ロボット・ドローンのセンサーから得た判断を組み合わせ、シフトや個人の判断差によるばらつきなく違反を一貫して捉える。

#### イベント駆動のアラート

検知したリスクが監督者やEHSチームへのアラートとフォローアップを起動し、定期安全監査を待たずに、危険な状態を捉えたその場での介入につなげる。

#### 非侵襲的な統合

システムは既存のカメラインフラを活かし、現行の手順と並行して稼働することで、新たなセンサーネットワークの設置や施設レイアウトの再設計にかかるコストと混乱を避けられる。

### 期待される効果

#### コンプライアンスの改善

自動モニタリングが、シフトや生産が忙しい時、監督者の有無を問わず同じ警戒を保つため、安全ルールや制限区域の徹底がより一貫する。

#### モニタリング負荷の軽減

手作業の観察・報告の負担が減り、EHS担当者や監督者が、日常的な監視ではなく、根本原因の調査、是正措置の実施、安全教育の改善に注力できる。

#### 実践の標準化

拠点間で比較できるモニタリングと指標が、全社的な安全ベンチマーク、高リスク拠点の特定、エビデンスに基づく安全リソースの配分を行う。

#### インシデントリスクの低減

ドローン映像を含むリアルタイムの環境モニタリングが危険な行動を早期に捉え、怪我や機器損傷、環境への放出に至る前の介入を促す。

# 環境・労働安全衛生の予測モニタリング (2/2)

## リスク管理と信頼の確保



### プライバシー

施設の全体で作業員を継続的に映像監視し、シフトを通じて行動・位置・移動を記録することは、雇用者が導入し得る最も広範な職場監視の一つである。組織はデータ最小化の原則を適用し、運用上必要な期間に限って映像を保持し、可能な場合は匿名化し、何を監視し、データをどれだけ保持し、誰がどのような状況でアクセスできるかを作業員に明示すべきである。



### 責任とアカウンタビリティ

AI支援の安全モニタリングは、双方向の説明責任リスクを生む。すなわち、運用を乱したり不当な処罰を行うような間違った結果に基づいて行動した責任と、実際に起こってしまった怪我などの本当の危険を見逃した責任である。ガバナンスは、AIの出力があくまで人間の判断への入力にすぎず、安全上の結果に対する説明責任は正しい判断が行えるEHS担当者が負うことを、明確に定めなければならない。



### 公平性・中立性

安全徹底における偏った検知は、倫理上の問題にとどまらず、直接的な法的帰結を伴う。特定の人口統計グループを過大に含む過去の違反データで学習したモデルは、それらの作業員を不均衡に監視対象としてフラグ付けし、雇用法上の差別リスクを生みかねない。



# 安全かつインテリジェントな鉱山操業に向けた自律運搬システム（1/2）

## 安全性と稼働率、運搬効率を最適化する自律トラック

### 概要

自律型の鉱山トラックとAMRが、LiDAR、レーダー、AI管理のビジョンセンサーを用い、その他センサーとの連携を行い、運搬・点検・保守を担う。同じ技術で、電力系統や変圧器を調査し、インフラの欠陥や安全上の危険を自律的に検知する。

### 課題・機会

鉱山操業では、危険な条件下で大型で高価な車両が稼働する。人的ミスと視界の制約が、事故リスクと機器損傷を高める。手動のオペレーションはまた、生産性を伸び悩ませる。

運搬トラックのオペレーターは、視界が限られ粉じんと騒音の多い環境で長時間シフトをこなし、ピットウォールに刻まれた狭い道に沿って数百トンに及ぶ巨大車両を操る。疲労、注意散漫、判断ミスは、他の機器との衝突、道路からの逸脱、徒歩の作業員との接触など、壊滅的な事故を招きかねない。遠隔地、過酷な労働条件、反復的な運搬サイクルの単調さを踏まえると、ドライバーの採用・定着は難しい。過積載、不適切な排出、衝突などオペレーターのミスによる機器損傷は、鉱山の経済性を大きく左右する高コストなダウンタイムと修理費を生む。

機会は、冗長性と継続的なモニタリングで極めて高い安全基準を保ちながら自律運用を実現するフィジカルAIを展開し、危険な役割から作業員を外しつつ、運用の一貫性を高めることにある。

### フィジカルAIによる解決

#### センサーの融合

AIが、トラックのLiDAR、レーダー、カメラを補完するドローンのRGB・サーマル画像やAMR・四足歩行ロボットの3Dマッピングと組み合わせ、正確で多高度の現場モデルを構築する。

#### 冗長な安全検証

複数のセンサーが検知を相互に照合して誤報を抑え、行動に移る前に、重要な安全判断が独立したセンサーシステムで確認されるようにする。

#### 安全ゾーンの徹底

AIが、速度、積載重量、路面状況、他の機器や人員との距離に応じて変わる動的な安全バッファを、車両の周囲に保つ。

#### フェイルセーフな自律設計

センサーからのデータの不一致、予期せぬ障害物、システム異常を検知すると、不確実性の即時停止トリガーが発動し、生産性より安全を優先する。

#### 継続的なテレメトリ監視

車両の健全性と稼働を中央で追跡し、フリート管理者が性能を監視し、保守ニーズを予測し、必要に応じて遠隔で介入できるようにする。

#### 統制環境での展開

自律運転は、特性の分かった特定の鉱山区域に限り、統制された区域の外の公道や予測困難な環境での走行を避ける。

### 期待される効果

#### 事故リスクの低減

自律システムはオペレーターの疲労、注意散漫、判断ミスを減らしながら安全手順を一貫して順守できるため、危険な環境での事故リスクを大きく下げられる。

#### 機器損失の低減

衝突、過積載、道路からの逸脱などオペレーターのミスによる損傷を防ぐ精密な車両制御により、高価な機器の損失を避け、数百万ドル規模の運搬トラックの寿命を延ばす。

#### 効率の向上

休憩やシフト交代なしに一定のサイクルタイムを保つ、継続的で予測可能な車両運用により、運用効率が高まる。機器の稼働率が24時間にわたって最大化できる。

#### 作業員の安全向上

閉鎖空間や極端な条件での重機操作を伴う危険な役割から人間のオペレーターを外すことで、危険な環境への人の曝露が減り、作業員をより安全な監督・保守の職務へ振り向けられる。

#### 全体的な生産性の向上

自律フリートは人手よりも容易に増やせるため、安全を損なわずに鉱山の生産性が高まる。

# 安全かつインテリジェントな鉱山操業に向けた自律運搬システム（2/2）

## リスク管理と信頼の確保



### 堅牢性・信頼性

自律運搬の安全性は、システムが人間のドライバーの能力を上回るためである。しかし自律トラックは、鉱山環境を特徴づける条件の下で、独自の故障パターンが発生することがある。牽引力センシングを鈍らせる濡れた路面、視界を奪う粉じん、測位を狂わせるGPS制限区域、緊急停止や車線逸脱を招く突然の障害物検知などである。検証ではこれらの条件を例外扱いせず、明示的に織り込まなければならない。



### 安全性・セキュリティ

GPSのなりすまし、信号妨害、不正なアクセスは、いずれも自律運搬システムへの攻撃経路となり得る。巨大車両が高速で動く稼働中の鉱山現場では、攻撃が成功すれば車両を誤誘導し、安全アラートを抑え込み、フリート全体を停止させて、致命的な結果を招きかねない。サイバーセキュリティは物理的安全と同じ厳しさと統制し、多層防御と定期的な敵対的テストを標準の運用要件とすべきである。



### 責任とアカウンタビリティ

規制当局は、自律システムに対する正式なガバナンス要件につながる、強制力のあるインシデント報告・調査の義務を課す可能性がある。車両の認識、判断、制御状態を捉える運用ログを、規制当局の要求を満たし責任判断を支えるに足る詳細さと正確さで残さなければならない。



# 安全上危険な環境における自律点検（1/2）

## ドローン主体の点検とロボットによる介入

### 概要

フィジカルAIロボットが、油井、エネルギー施設、産業プラントなどの危険な環境で稼働する。空撮点検用のドローンと、簡単な操作のロボットハンドを備えた地上機からなる小規模なハイブリッドフリートを用いて、人をリスク区域の外に保つ。

### 課題・機会

危険な環境での人による点検は、作業員を大きなリスクにさらし、点検の頻度を少なくする。点検員は、機器の状態確認や進行する問題の把握のために、有毒ガス、高温、放射線被爆のある閉鎖空間に入らなければならない。広範な安全手順、個人用保護具、待機する救助チームが必要のため、点検は一回ごとに高コストで時間がかかる。

点検頻度は、伴う危険によって制約を受ける。継続的なモニタリングが望ましい場合でも、施設は重要機器を四半期ごとや年1回しか点検できないことがある。だが、障害の検知が遅れたり点検の合間に発生したりすれば、爆発、火災、有毒物質の放出、環境汚染など、極めて深刻な結果を招きかねない。

機会は、休まず点検・介入するフィジカルAIロボットを使い、人の立ち入りが危険すぎる区域で常時の警戒監視を行うことにある。

### フィジカルAIによる解決

#### 選択的な介入

ロボットは、バルブの閉鎖、継手の締め付け、一時的なシール材の塗布など、軽微な問題が大規模修理に至る前に封じ込めるなどの簡単な修正を行う。

#### 危険箇所での自律ナビゲーション

ドローンが頭上のアクセスや不安定な面を遠隔で扱う一方、堅牢化したロボットハンドプラットフォームが、車輪式AMRの入れない短距離の危険なポケットに接近して作業する。

#### 障害の早期特定

継続的なロボット巡回が、頻度の低いマニュアル点検では見逃される機器状態の微細な変化を捉えるため、問題が深刻化する前に検知できる。

#### マルチセンサー異常検知

AIがガス、温度、視覚の信号を読み解き、漏れを示すガス濃度の変化、機器のストレスを示す熱異常、腐食や構造劣化の視覚的証拠など、進行する問題を捉える。

#### 遠隔の人間による監視

オペレーターは制御室からロボットの挙動を監督し、センサーデータを確認し、点検の優先順位を指示し、危険区域に立ち入らずに介入を承認する。

### 期待される効果

#### 安全性の向上

人の曝露が減り、徹底した点検範囲を保ちながら、作業員を有毒・爆発性・構造的に損なわれた環境から遠ざける。

#### 障害の回避

早期検知が、人命と操業を脅かす壊滅的な障害に至る前に軽微な機器劣化を捉え、インシデントを防ぐ。

#### 運用の継続性

ロボットシステムは、生産を止める機器停止、安全ロックアウト、退避ゾーンを要せずに作業できるため、点検中も施設の稼働を保てる。

#### コストの削減

先回りによる検知によって、高コストな計画外停止、割増人件費を伴う緊急修理、長期停止による生産損失を防ぐため、緊急修理が減る。

# 安全上危険な環境における自律点検（2/2）

## リスク管理と信頼の確保



### 堅牢性・信頼性

ガス漏れ、熱異常、構造欠陥などにおいて、人による点検が危険すぎる、あるいは頻度が低すぎるという理由で見逃される場合、モニタリングがまったくない場合よりもむしろ危険になりかねない。AIの検知モデルは、統制された実験室のベンチマークだけでなく、これらの環境を特徴づける固有の劣化モード（粉じん、熱、湿度、ガス干渉など）に対して継続的に検証しなければならない。



### 安全性・セキュリティ

重要なエネルギーインフラの内部で物理的な介入能力をもって稼働する自律システムは、フィジカルAIの領域で最も狙われやすいサイバー攻撃の標的の一つである。介入のワークフローは、いかなる状況でも、自動プロセスや外部からのアクセスに対する人間の確認を、必須としなければならない。



### 透明性・説明可能性

制御室から自律点検システムを監督する遠隔オペレーターは、なぜAIが特定の異常を検知したのか、検知の確信度はどの程度か、どのような介入が推奨されているかを理解できなければならない。アラートや推奨の出力には、それを導いたセンサーの証拠、検知ロジック、確信度を添え、オペレーターが十分な情報に基づいて承認を判断するために必要なものを示すべきである。



# 高精度で高付加価値な製造（1/2）

## AIを使った、厳しい基準を満たす高精度な組立製造

### 概要

フィジカルAIシステムは、センシング、推論、ロボットの動作を組み合わせ、許容度・安全度・信頼性に妥協が許されない環境で高精度な組立作業をこなす。位置合わせ、力、表面状態を絶えず把握し、許容される運用範囲を見極め、人間の監督の下で物理的なアクションを行うことで、手作業ではなしえない規模と精度で一貫した成果をもたらす。

### 課題・機会

航空機、船舶、スペースクラフトといった複雑な機械の重工業製造は、極めて厳しい公差と厳格な安全基準を満たさなければならない高精度な組立作業を伴う。作業員は、わずかな逸脱でも構造的健全性や安全認証を損ないかねない巨大構造物の全体で、穴あけ、ファスナーの取り付け、シール材の塗布、寸法検査といった反復作業を行う。手作業では、作業員の疲労、注意の度合い、個人の技量が品質の一貫性に影響し、ばらつきが生じる。例えば、航空機の胴体には数万本のファスナーを精密なトルク仕様で取り付けが必要があり、スペースクラフトの部品は人間の限界に挑むミクロン単位の精度を要する。

生産の後工程で見つかる品質欠陥は、納期を遅らせる高コストな手戻りを招き、見逃されたエラーは壊滅的な安全上のリスクを生む。機会は、重要な判断ポイントには人間の監督を残しながら、反復的な高精度タスクにロボットシステムを展開し、自動化の一貫性と熟練技術者の判断を組み合わせることにある。

### フィジカルAIによる解決

#### 精密なセンシング

AIが、人間の視覚を超える水準で寸法、位置合わせ、表面状態を測る高度なセンシングにより、微細な公差を捉え、部品が厳しい仕様を満たすことを確かめる。

#### 再現可能な実行

ロボットは数千回の反復にわたり、同じ技法、トルク、位置決めで一貫して動作し、人間の疲労や注意の途切れによるばらつきを取り除く。

#### 人間による監督下での運用

重要な工程は、ロボットの性能を監視し、品質チェックポイントを検証する。また、判断を要する場面や通常の範囲を外れた場面では介入する熟練技術者が監督する。

#### 最適な製造方法の統合

ロボットは既存のプロセスや生産ワークフローに溶け込み、施設の全面再設計や実績ある製造手法の置き換えを要せずに、人間のチームと並んで作業する。

### 期待される効果

#### スループットの向上

安全で高品質な制約の下での予測可能なスループット。ロボットが休みなく稼働し、一定のサイクルタイムを保ち、遅延を抑えるため、生産が加速する。

#### 品質の一貫性

不適切なトルク、位置ずれ、不均一な材料塗布など、手作業で生じやすい欠陥要因を取り除く。再現可能な実行により、エラーが減る。

#### 労働効率

手作業の反復が減り、人間の知見を、負担の大きい反復作業ではなく、判断を要するタスク、品質検証、人の知恵を要する問題解決に振り向けられる。

#### コスト管理

ロボットの一貫した実行が、本来なら高コストな修理、納期遅延、ひどい場合には高付加価値部品・組立品の廃棄を招く欠陥を減らすため、手戻りが最小限になる。

# 高精度で高付加価値な製造（2/2）

## リスク管理と信頼の確保



### 堅牢性・信頼性

本システムの価値提案そのもの、すなわちAIロボットの作業が人間の作業より一貫し精密であることは、航空宇宙・防衛などの業種で展開される前に、規制当局や認証機関に対して実証できなければならない。検証は、稼働開始時の構成だけでなく、生産条件の全範囲を網羅しなければならない。



### 責任とアカウントビリティ

完全なトレーサビリティは、航空宇宙・防衛製造における規制要件である。AIによるガイドのすべての測定、実行ステップ、人間による検証の承認は、何が起き誰が責任を負ったかを正確にたどれるだけの詳細さと正確さで記録しなければならない。



### 透明性・説明可能性

人間による監督下での運用は中核的な設計要件だが、その監督が成り立つのは、技術者がAIの測定内容、検知された公差逸脱、特定の行動が推奨された理由を把握できる場合に限られる。AIの出力に意味のある異議や検証を行えない技術者は、真の監督を担えない。



# 自律型農業・精密農業（1/2）

## AIを使った農業圃場オペレーション

### 概要

フィジカルAIシステムが、ドローンと自律的な地上ロボットを束ねて圃場条件を絶えず感知し、作物や環境の信号を分析し、人間の監督の下で適切な対応を支援する。

### 課題・機会

農業オペレーションは、労働力不足、投入コストの上昇、限られた耕作地での生産性向上の必要から、課題が高まっている。農家は、除草、間引き、収穫といった労働集約的な作業のための季節労働者の確保に苦労している。一方で、圃場全体への種子、肥料、農薬、水の一律散布は資源を無駄にしている。

マニュアルでの圃場モニタリングは時間がかかり、精度も低い。農家は圃場を歩いて作物の健康状態を目で確かめるが、問題の初期兆候を、問題が広がるまで見逃すことが多い。従来の精密農業は周期的なデータ収集と手作業の意思決定に頼るため、急速に変わる圃場条件への対応が遅れることが多かった。

機会は、環境の信号を絶えず分析し、物理的な行動をリアルタイムで連携させるフィジカルAIを展開し、常時の立ち会いなしに、広大な農業オペレーション全体へ専門的な判断がおこなえることである。

### フィジカルAIによる解決

#### 環境センシング

ドローンが定期的にマルチスペクトル・サーマル飛行を行って作物のストレスや害虫のホットスポットを地図化し、近接センサーを備えたAMRがそれを検証して、植物単位のサンプルを採取する。

#### 選択的介入

行動は一律処理ではなく実際の必要に応じて特定の区域や個々の植物を対象とし、雑草が見つかった場所に除草剤をまき、土壌の状態に応じて播種密度を変える。

#### クローズドループの物理タスク実行

AMRとドローンが圃場を自律的に動き、播種、除草、散布、収穫を行いながら、期待される結果に照らして成果を絶えず確かめる。

#### 統制されたヒューマン・イン・ザ・ループ制御

オペレーターが介入ポリシーを承認し、例外を確認し、影響の大きい判断の権限を保持して、安全・コンプライアンス・環境への説明責任を確保する。

#### シミュレーション・モデル主導の介入ポリシー

介入戦略は、展開前に過去の圃場データや季節シミュレーションで検証し、大規模な農業オペレーションでのリスクを下げ、予測可能性を高める。

### 期待される効果

#### 収量の最適化

適切な時と場所で植物のニーズに応える精密な介入により作物の出来が良くなり、過剰・過少処理によるストレスを減らし、健全な生育を最大化する。

#### 労働の削減

自律システムが反復的な圃場作業を担うため手作業が減り、確保がますます難しくなる季節労働への依存を抑える。

#### 投入効率

対象を絞った散布が一律処理の無駄をなくすため、資源がより精密に使われ、種子・肥料・農薬・水のコストを下げつつ環境への流出を抑える。

#### 拡張性

自律システムが一定の品質で広い面積をカバーできるため、大面積を効率よく管理でき、農家は労務負担を比例して増やさずに運用規模を広げられる。

# 自律型農業・精密農業（2/2）

## リスク管理と信頼の確保



### 堅牢性・信頼性

特定の地域、作物品種、季節のデータで学習したAIモデルは、異なる状況への対応が難しい。自律システムを大規模な稼働に任せられるようになる前に、対象とする環境における気候、土壌タイプ、作物条件の全範囲に対して検証しなければならない。



### プライバシー

継続的なドローン・センサー監視が生む農場データは、個々の農場経営者の経済状況まで明らかにしかねなく、これは商業上機微な情報である。大手農業技術ベンダーが圃場データの集約と収益化を積極的に追う業界では、何を収集し、誰が所有し、ベンダーが明示的な同意なしに農場データを共有モデルの学習へ使えるかどうかを、ガバナンスポリシーで明確に定めなければならない。



### 公平性・中立性

主に大規模な商業オペレーションで開発・検証されたAIシステムは、商品作物の単作向けに最適化され、小規模で多様な、あるいは混作の農場に十分対応できないことがある。





# 最適な配員スケジュールリングと派遣（1/2）

## 予測に基づいた、技術者の最適スケジュールリング

### 概要

フィジカルAIモデルが、過去の障害、環境データから、将来起こり得るネットワーク障害を予測し、技術者のスケジュールリングを絶えず更新して、スキル・近さ・緊急度に応じた適切な技術者を配員し派遣する。次世代の点検ウェアラブルである軽量の産業用グラスは、ヘッドアップ・オーバーレイを通じてハンズフリーでリアルタイムのガイダンス、機器データ、AI診断を技術者に届け、タブレットやマニュアルに取って代わり、完全ハンズフリーの保守を実現する。

### 課題・機会

フィールドサービス業務は、障害が読みにくく、アセットが地理的に分散し、必要なスキルも多様なため、高コストで最適化が難しい。静的なスケジュールとマニュアルによる配員が、非効率、修理の長期化、必要のない移動が生じてしまう。これは、広範囲に散らばるエネルギー・産業・資源の操業でとりわけ目立つ。配員派遣担当者は、専門クルー、競合する緊急対応、技術者の一日の大半を奪いかねない長距離の移動を調整しなければならず、安全インシデントと生産損失を抑える迅速な対応が決定的に重要になる。

また、現場では、技術者はいまだ手順や診断のためにタブレット、電話、紙のマニュアルに頼り、使い分けを強いられて作業が遅れ、安全リスクも高まる。初期のAR（拡張現実）の代替手段は、産業利用には大きすぎ、信頼性も低い。

機会は、フィジカルAIで物理的な介入が必要になる場所を見越して、フィールドのリソースを動的に組み替えて、より速く低コストに対応することにある。

### フィジカルAIによる解決

#### 障害可能性の予測

AIモデルが、アセットの経過年数、運転条件、保守履歴、天候や負荷といった環境ストレス要因をもとに、物理的な機器トラブルが最も起こりやすい場所を予測する。

#### スケジュールの最適化

予測がそのまま要員スケジュールリングシステムに反映され、緊急の呼び出しを待つのではなく、障害が見込まれる地域へ技術者を先回りで割り当てられる。

#### スキルベースの割り当て

技術者を能力に応じてジョブに割り当て、高電圧変圧器や圧力容器などの専門機器が、適切に認定された技術者に割り当てられるようにする。

#### 継続的なスケジュール更新

状況の変化に応じて割り当てを頻繁に更新し、より優先度の高い緊急対応が生じたときや、予測された障害が想定より早く現実になったときに、技術者を組み替える。

#### 管理者による監督

監督者が最終判断の権限を保持し、AIの推奨を確認し、顧客との関係や運用上の優先度など、システムには測れない要因に基づいて割り当てを調整する。

#### リアルタイムの視覚ガイダンス・オーバーレイ

ARグラスが、作業中の物理機器に直接重ねて、ステップごとの修理手順、測定値、機器仕様を表示し、別の画面を見る手間をなくす。

#### 遠隔専門家との協働

技術者はARの視界を遠隔の専門家と共有でき、専門家は現地に赴かずに助言し、技術者の視界に注釈を添え、複雑な修理で力を合わせられる。

### 期待される効果

#### 生産性の向上

最適化されたルーティングが無駄な移動時間を減らし、技術者がそのスキルを最も必要とする現場へ向かう助けとなるため、技術者の稼働率が高まる。

#### 物理的修理の迅速化

障害が見込まれる地点の近くへのクルーの予測的な配置と、リアルタイムの交通や現場の立ち入り制約を踏まえたインテリジェントなルーティングにより、対応時間が縮む。

#### コストの削減

AIが不要な走行を抑え、近隣のサービス呼び出しを一度の移動にまとめ、先回りの保守で緊急の時間外勤務を減らすため、移動の非効率性が下がる。

#### サービス信頼性

リソース配分が改善して問題がより早く片づき、軽微な問題が生産・安全・顧客サービスに響く大規模障害へ発展するのを防ぐ。

#### 技術者の生産性の向上

情報とガイダンスにハンズフリーでアクセスできるため、技術者はマニュアルの検索、機器の測定、工具とタブレットの持ち替えに時間を取られず、より速く効率的に作業できる。

# 最適な配員スケジューリングと派遣（2/2）

## リスク管理と信頼の確保



### 堅牢性・信頼性

フィールドクルーを繰り返し誤って差し向けるAIの予測（技術者を誤った場所へ送る、あるいはその後の障害を見越せず停電を招くなど）は、システムの運用を危うくし、配員・派遣担当者の信頼性を低下させる。モデルの精度は、季節変動や、時間とともにリスクプロファイルが変わる老朽インフラを踏まえ、アセットポートフォリオ全体の実際の障害結果に照らして継続的に検証しなければならない。



### 透明性・説明可能性

人間の監督者による監督は中核的な設計要件だが、真の監督が成り立つのは、配員・派遣担当者と技術者が、なぜシステムが特定の推奨をしたのかを理解できる場合に限られる。スケジューリングのロジックが不透明だと、作業員は割り当てに意味のある異議を唱えられず、監督者も十分な情報に基づく調整ができず、ヒューマン・イン・ザ・ループの設計は実質的な歯止めではなく建前になってしまう。



### 公平性・中立性

運用効率ばかりを狙ったスケジューリングアルゴリズムは、公平な扱いが最適化の基準に組み込まれていないと、作業負荷、移動の負担、望ましくない割り当てを人材間で偏って配分しかねない。システムの学習や調整に使う過去の配員・派遣パターンは、それ自体が不公平だった過去の管理判断を映していることがあり、客観的に見えて実は不公平な結果を大規模に再現し推奨してしまう。





# ネットワーク・公益インフラの点検（1/2）

## 物理的な資産のビジョン（視覚による）点検

### 概要

ビジョン主導のフィジカルAIシステムは、衛星画像、LiDAR、ドローン、環境データを用いる。柱、鉄塔、変電所、ケーブル、周辺環境を監視し、物理的劣化、植生の侵入、環境リスクを、マニュアルの点検より早く一貫して検出する。

### 課題・機会

分散したインフラのマニュアル点検は、とりわけ遠隔地で、遅く、高コストで、頻度も低い。障害はしばしば緩やかな物理的劣化から生じる。公益事業者は、森林、山地、農地など多様な地形に広がる数千マイルの送電線、配電柱、鉄塔を維持しており、現地に行くだけで専用車両と相当な移動時間を要する。点検員は、柱の腐朽・亀裂・腐食を目視で調べ、ケーブルのほつれを確かめ、植生の侵入を評価し、鉄塔の構造的な問題を見つける。

マニュアル作業の点検サイクルは、コストを抑えるため、数年に一度しか回せないことがあり、訪問の合間に問題が検知されないまま進む可能性がある。

アクセスの難しい場所の重要インフラは、点検の頻度がさらに下がり、予期せぬ障害のリスクが高まる。気象イベント、野生動物による損傷、自然な老朽化が、点検サイクルの合間に積み重なる劣化を引き起こす。

### フィジカルAIによる解決

#### 大規模なビジョンベース点検

ドローンと移動式点検プラットフォームが、広大でアクセスの難しいインフラ全体に対し、高解像度の視覚・サーマル・LiDARデータを取得し、現地へ立ち入らずに頻繁な点検を可能にする。

#### AI主導の欠陥・リスク検知

コンピュータビジョンモデルが、腐食、構造疲労、導体の摩耗、植生の接近など、資産劣化の初期兆候を、停電や安全インシデントに至る前に捉える。

#### 広域カバレッジ

地上点検なら数か月かかる数百マイルのインフラを数日でカバーできる空撮調査により、広い地理に散らばる資産を体系的に点検する。

#### リスクベースの介入優先順位付け

AIが、重大度、資産の重要性、環境条件、想定される顧客影響に応じて検知された問題をランク付けし、フィールドチームが最も高リスクの資産にまずリソースを集中できるようにする。

#### 人間による検証

点検員が、修理を承認する前に結果を確認し、AIの所見を検証し、緊急の問題と監視で済む状態を見分けるために知見を働かせる。

### 期待される効果

#### 点検コストの低減

空撮点検が広い区域を短時間でカバーするため現地訪問が減り、車両費、労働時間、遠隔地へのアクセスに必要な専用機器を抑える。

#### リスクの早期検知

植生の侵入、導体の摩耗、構造疲労をより早く捉え、停電リスク、山火事への曝露、計画外停止を抑える。

#### 資産信頼性の向上

点検の頻度と網羅性が高まることで、機器寿命を延ばし連鎖的な障害を防ぐ先回りの保守ができ、インフラの健全性が改善する。

#### 安全性の向上

危険な柱を昇る作業や難しい地形での作業が減り、現地訪問を日常的な目視確認ではなく実際の修理に充てられるため、フィールドでの曝露が下がる。

# ネットワーク・公益インフラの点検（2/2）

## リスク管理と信頼の確保



### 堅牢性・信頼性

本システムの価値は、AI点検が頻度の低いマニュアルによる訪問よりも、一貫して網羅的である点に拠って立つ。つまり、性能の劣るモデルは効率を下げるだけでなく、最も危険な場所で点検の空白を生む。検証は、学習データに十分含まれた条件だけでなく、展開地域全体の環境・資産条件の全範囲を明示的に網羅しなければならない。



### 責任とアカウンタビリティ

AI主導のリスク優先順位付けがどの資産にまず対応するかを決め、優先度を下げた資産がその後に障害を起こした場合、そのトリアージ判断の根拠は、規制当局、影響を受ける顧客、公衆に対して監査可能で、説明可能なものでなければならない。人間による検証のステップは、点検員が中身を検証できない出力への名ばかりの承認ではなく、何を、どのような根拠で評価したかを明確に記録した、真のレビューでなければならない。



### 公平性・中立性

資産の重要性と顧客影響に最適化されたAIの優先順位付けは、資産がより古く脆く、障害がそこに住む顧客にとってより孤立的になりがちな農村部や低密度地域を後回しにして、都市部や商業的に重要なインフラへ体系的に保守リソースを差し向けるおそれがある。公益事業者は地域全体への公共サービスの義務を負っており、AI主導のトリアージがその義務を公平に果たしているかを定期的に監査すべきである。





# 産業機械の欠陥検知（1/2）

## 人間による検証を伴うビジョン支援（視覚による） 点検

### 概要

AI対応のビジョンシステムが、大型産業部品（タービン部品やブレードなど）の修理ライフサイクルをエンドツーエンドで支える。入庫時の識別を自動化し、点検中の欠陥検出を補強し、ロボット点検と選択的な修理を可能にしつつ、安全上重要な判断には人間の専門家を意思決定ループに残す。本ソリューションは、コンピュータービジョン、運用上のコンテキスト、ロボティクスを組み合わせ、修理・保守業務全体の一貫性、カバレッジ、安全性、サイクルタイムを高める。

### 課題・機会

複雑な産業部品のマニュアル点検は、時間がかかり、専門知識を要し、点検員・シフト・施設によってばらつく。欠陥は初回点検で見逃されたり、修理サイクルの後半で見つかったりして、手戻りコストを増やし機器のダウンタイムを長引かせる。一方、完全自動の点検システムは、照明の変動、表面の汚れ、反射によるアーティファクトに起因する誤検知や、難しい視認条件で微細な欠陥を取りこぼす誤検知のため、安全上重要な用途には十分に信頼できない。

AIベースのビジョンシステムで人間の点検員を補強すれば、最終的な合否判定の権限を人間に残しつつ、点検の範囲と一貫性を高められる。コンピュータービジョンのパターン認識と、熟練点検員がもたらす判断・説明責任を組み合わせることが必要である。

### フィジカルAIによる解決

#### 欠陥パターン認識

ビジョンモデルが部品画像を解析し、点検員がより詳しく確かめるべき亀裂、摩耗パターン、侵食、異常な表面状態を強調して、見逃されがちな微細な欠陥の検出を高める。

#### ヒューマン・イン・ザ・ループによる確認

AIの出力は専門家の検証を要する推奨として扱い、最終的な部品の処置に対する点検員の判断と説明責任を保つ。

#### 点検の優先順位付け

AIが、部品の種類、運転履歴、観測されたパターンに応じて高リスク領域へ点検員の注意を向け、限られた点検リソースを専門家のレビューが最も効くところに集めて効率を高める。

#### 点検段階をまたぐ欠陥パターン認識

コンピュータービジョンモデルが、手作業・ロボット・その場（in situ）点検の画像を解析し、亀裂、侵食、摩耗、層間剥離、異常な表面状態を強調して、専門家のレビューが必要な高リスク領域へ点検員の注意を向ける。

#### 運転履歴との相関

AIが、捉えた欠陥を現場の運転条件、センサーデータ、保守履歴と結び付けて根本原因分析の手がかりを示し、損傷パターンが想定どおりの摩耗か、異常な運転条件の表れかを点検員が見極める助けとなる。

#### 点検アーティファクトへの堅牢性

多様な画像で学習したモデルは、誤検知を生む照明の変動、グレア、表面の汚れ、反射によるアーティファクトへの感度を下げ、人間のレビュアーにとっての信号対雑音比を高める。

#### 境界付きの意思決定支援

AIは自動的な合否判定の権限ではなく、支援と強調の役割にとどめ、安全上重要な判定に対する人間の責任を保つ。

### 期待される効果

#### 欠陥の早期特定

潜在的な問題が修理サイクルのより早い段階で表面化し、事前の修理計画を支え、欠陥が複数の点検段階を検知されないまま通り抜けるリスクを下げる。

#### エンジニアリング効率

低リスクのスキャンや文書作成にかかる時間が減り、点検員が重要な評価、根本原因分析、判断を要する意思決定に知見を集中できる。

#### 品質の一貫性

点検員・シフト・施設をまたぐ検出率のばらつきが減り、点検結果の再現性が高まって、より予測可能な修理計画と部品のライフサイクル管理を支える。

#### 点検カバレッジの向上

AI支援システムが、点検員の作業負荷、疲労、経験差によるばらつきを減らし、部品・拠点・期間をまたいでより一貫した徹底的なレビューにつながる。

#### サイクルタイムとダウンタイムの短縮

自動化された入庫と優先順位付けされた点検が、エンジニアリングのトリアージと修理計画を速め、資産の回転を上げ、タービン停止の期間を縮める。

#### 資産寿命の延長とコストの低減

早期検知と的を絞った修理が損傷の進行を防ぎ、部品の早期交換と全体的な保守コストを抑えられる

# 産業機械の欠陥検知 (2/2)

## リスク管理と信頼の確保



### 堅牢性・信頼性

誤検知は点検員の時間を奪い、信頼を損なう。誤検知は、本物の欠陥を安全上重要な部品を通じて検知されないまま見送ってしまう。いずれも、タービンや産業部品の修理といった重要な場面では深刻な結果を招く。堅牢性は、好ましい学習条件だけでなく、システムが会う照明条件、表面状態、部品種類の全範囲にわたって検証しなければならない。



### 責任とアカウンタビリティ

本ユースケースでは、最終的な合否の権限を人間が保持する。ただし、それが真の歯止めとなるのは、実務で守られる場合に限られる。点検記録は、どの欠陥をAIがフラグ付けし、人間の専門家が何を結論づけ、誰が最終判断を下したかを記録し、規制対応と責任判断に足る監査証跡を残さなければならない。



### 透明性・説明可能性

ヒューマン・イン・ザ・ループの設計が機能するのは、点検員が何が、なぜフラグ付けされたのかを理解でき、不透明な出力への形だけの追従ではなく真の判断を下せる場合に限られる。AIが捉えた欠陥を運転履歴と結び付けて根本原因を示唆する際、点検員はそれに従って動く前に、その推論が妥当かを見極められるだけの説明可能性を必要とする。



# 化学製造ワークフローの自動化（1/2）

## 化学ラインの自律的な引き継ぎ制御

### 概要

組み込みAI（ロボットや機器上のフィジカルAIシステムを含む）が、製造ライフサイクル全体で工程引き継ぎを管理し、材料の調整、タスクの順序付け、資源配分、定型的な例外処理を自律的に行って、ボトルネックを抑えスループットを加速する。AMRが材料と工程間の移動を担い、ロボットハンドが人の立ち入りなしに、機器の引き継ぎ箇所ですばやく操作、サンプリング、小さな調整を行う。

### 課題・機会

化学製造は、情報・材料・判断が工程や担当者の間を渡る数百もの工程引き継ぎを伴う。ある生産段階が終わると、オペレーターは次のチームに知らせ、材料の在庫を確認し、機器の準備状況を検証し、タイミングを合わせなければならず、全体のスループットを遅らせる調整上のボトルネックが生じる。各引き継ぎは、承認待ちの作業員、段階間で滞る材料、誤った順序を招く伝達のずれなど、遅延・エラー・非効率の温床となる。

これらのワークフローを手作業で調整すると相当な労働時間を費やし、監督者が例外対応やプロセス改善ではなく活動の段取りに時間を取られるため、生産速度が頭打ちになる。従来の自動化は、バルブ制御や温度調整といった反復的な個別タスクには対応するが、優先度・資源配分・例外処理の判断を伴う、エンドツーエンドのプロセス全体に必要な複雑な意思決定と調整には対応できない。

断片的で機械ごとに固有の自動化は、複雑さをさらに増す。異なるOEM機器はしばしば孤立した制御ロジックを用いるため、ラインや拠点をまたぐ統合が難しく、改善の横展開を遅らせ、操業を拡大するエンジニアリングの手間を増やす。

ロボット、AMR、四足歩行ロボット、自動運転車、プロセス機器に組み込んだ、フィジカルAIファーストのワークフロー自動化・AIプラットフォームを展開すれば、その潜在力を引き出し、生産性を大きく高め、人手を比例して増やさずに生産量を伸ばす機会が生まれる。

### フィジカルAIによる解決

#### 物理タスクの順序付け

フィジカルAIがAMRの動きを束ね、材料・サンプル・中間製品が手作業のスケジュールリングや待ち時間なしに滞りなく流れるようにする。

#### 異種機器をまたぐ統合的な物理制御

フィジカルAIがOEM機械、ロボット、マテリアルハンドリングシステムを横断して束ね、機械ごとに孤立した自動化ではなく、システムレベルの最適化を支える。

#### 人とエージェントのハイブリッドプロセス

安全上重要な行動や標準外の条件は人間の承認を要する。フィジカルAIは定められた安全範囲内で稼働でき、説明責任と規制対応を保つ。

#### 機器をまたぐ統合AI制御層

標準化されたAI制御アーキテクチャが複数の機械種別とOEMにまたがり、孤立した個別ソリューションに取って代わって、機械ごとの調整ではなくシステムレベルの最適化を実現する。

#### リアルタイムのプロセス対応順序付け

AIモデルが、スループット、安全制約、ジックが、ラインや拠点をまたぐ一貫した機器の状態に応じて物理タスクを並べ替え、工程間のアイドル時間を減らし、下流のボトルネックを防ぐ。<sup>3</sup>

#### スケーラブルで再現可能な操業

標準化されたフィジカルAIの制御ロジックが、ラインや拠点をまたぐ一貫した実行を支え、ワークフローの作り直しや調整層の追加なしにスケールアップを後押しする。

### 期待される効果

#### 生産性の向上

引き継ぎの遅れと調整負荷を解消し、工程段階間の待ち時間をなくすることで、生産サイクルを大きく加速する。

#### エラーの低減

毎回同じロジックを適用する一貫した自動引き継ぎと意思決定により、工程の移行点での人的ミスを取り除く。

#### 機器をまたぐシステムレベルの最適化

フィジカルAIが、異種のOEM機器、ロボット、AMRをまたぐ統合的な制御層を提供し、機械ごとではなくラインやプラントのレベルでワークフローを最適化できる。

#### 拠点間の再現性向上

標準化されたエージェントと制御ロジックが、生産ラインや施設をまたいで一貫したプロセス成果をもたらす。

#### 統合の手間の低減

統合的なAIのオーケストレーションと制御層により、個別のエンジニアリングやインターフェース作業を減らす。

# 化学製造ワークフローの自動化（2/2）

## リスク管理と信頼の確保



### 堅牢性・信頼性

化学製造における工程引き継ぎの自律的な調整は、性能が悪くなることで不便が生じるで済むことではない。工程段階の間で危険物の順序を誤れば、容易には元に戻せない状況を招きかねない。検証は、異種機器の組み合わせ、エッジケース、そしてシステムが本番で出会いそうな例外シナリオの全範囲を網羅しなければならない。



### 安全性・セキュリティ

本システムが制御する物理的行動（バルブ操作、材料移送、ロボットの動作）は、AI制御層の完全性を、サイバーセキュリティだけでなく安全性の問題にする。化学施設で工程順序付けロジックへの不正アクセスや改ざんが起されれば、危険な物理的行動を引き起こしかねない。セキュリティ保護は、束ねるプロセスの危険度に見合ったものでなければならない。



### 責任とアカウンタビリティ

安全上重要な行動や標準外の条件に対する人間の承認が真の歯止めとなるのは、監査証跡が正確かつ完全である場合に限られる。規制された化学製造環境では、どの判断が自律的に実行され、どれがエスカレーションされ、誰が承認したかの記録は、任意のガバナンスではなく規制要件であり、責任判断の土台である。



# 産業施設・スペースの最適化（1/2）

## AIとセンサーが支える建物の効率化

### 概要

建物全体のフィジカルAIセンサーとエッジデバイスが、在室・環境の信号をエッジAIコントローラーへ送り、照明と空調（HVAC）、そしてスペース利用をほぼリアルタイムで最適化する。

### 課題・機会

オフィスビルは、静的な運用ルールと、実際の利用状況が見えないことから、しばしば非効率に陥る。照明、暖房、冷房のシステムは、たいてい実際の在室を無視した固定スケジュールで動き、空いた空間でエネルギーを浪費する一方、需要が容量を超えるピーク時には対応しきれない。手作業のプロセスが、エネルギーの浪費とスペースの遊休を招く。施設チームは、スケジューリングシステムが想定する使われ方に対して、建物が実際にどう使われているかをリアルタイムで把握できず、観測に基づく最適化が阻まれる。

機会は、実際の在室データを使って建物をより機敏に運用しつつ、AIによる調整が運用上または緊急時のニーズと衝突したときに施設管理者が割って入れる、安全性と手動によるオーバーライドの仕組みを保つことにある。

### フィジカルAIによる解決

#### 在室パターン分析

AIがセンサー、入退室、予約のデータを突き合わせて実際のスペース利用を把握し、活かされていない区域を見つける。

#### 動的な環境調整

照明とエネルギーのシステムが、スケジュールではなく実際の利用に応じて調整され、無人区域での無駄を減らす。

#### 会議室利用の最適化

AIが予約システムを実際の在室と突き合わせ、予定と実利用のずれを減らす。

#### エネルギー需要予測

モデルが消費を予測し、パターン分析から無駄を減らす余地を見つける。

#### ローカルでの実行

判断は、応答性のために建物システムの近くで下し、中央での取りまとめを要さない。

#### オーバーライドと安全制御

施設チームは、運用上または安全上の必要が生じたときにAIの調整を一時停止できる手動によるオーバーライドを保持する。

### 期待される効果

#### エネルギーの節約

固定スケジュールや余裕を見込んだ前提ではなく、実際の在室に応じて最適化した暖房・冷房・照明により、運用コストを下げる。

#### スペース効率

AIが、活かされていない区域を見つけ、理論上の容量ではなく実際の利用パターンに基づくスペース配分の最適化を支えるため、オフィスの使い方が改善する。

#### 従業員体験

会議室が実際の空き状況を映し、環境が在室に応じて整い、ワークスペースが手動の要求なしに従業員のニーズに応えるため、日々の小さな摩擦が減る。



## 産業施設・スペースの最適化（2/2）

### リスク管理と信頼の確保



#### プライバシー

継続的な在室モニタリングは、勤務時間を通じて個人が建物内をどう動くかの詳細な記録を生む。これは、施設最適化ツールに対して多くの在室者が想定する範囲を超える。データは建物管理の目的に限って用い、明確な保持期間の制限を設け、何を監視しデータをどう使うかを在室者に明示すべきである。



#### 責任とアカウントビリティ

自動的な調整は、すぐに体感できる一方で原因をたどりにくい形で、在室者の快適性と健康に影響する。施設チームは意味のある監督を保ち、調整が問題を起こした際に使いやすいエスカレーション経路を備えなければならない。建物の状態に対する説明責任は、在室者が見ることも異議を唱えることもできない最適化システムに事実上委ねるのではなく、有資格の施設管理者に残さなければならない。



#### 公平性・中立性

人流の多い区域を優先する最適化は、実際のニーズではなく座る場所に応じて、利用の少ない空間の作業員に、悪い条件の照明・温度・空気を与えかねない。これは効率優先の設計から予見でき、防げる結果である。組織は、AIによる最適化が建物の利用者全体に公平な環境条件をもたらしているかを、能動的に監視すべきである。



# 建設における自律型・半自律型ロボティクス（1/2）

## 建設現場全体でのフィジカルAIの活用

### 概要

自律型・半自律型の機械が、土工、整地、鉄筋結束、レンガ積み、現場での付加製造といった重要な建設作業を担いつつある。台頭する「プリント・トゥ・ビルド」のアプローチは、物理システムとデジタルツインの結び付きを強め、MEP（機械・電気・配管）成果物の設計から現場への移行を円滑にし、AIにより、機器が現場作業を行う際の引き継ぎ時間と実行エラーの双方を減らす。

### 課題・機会

建設におけるロボティクスは、喫緊の課題であると同時に戦略的な機会でもある。慢性的な労働力不足、プロジェクトの複雑化、より高い効率への要求は、従来のやり方を続ければスケジュール、予算、安全を脅かす。一方で、ロボティクスをデータ取得やAIと結び付けることは、人材ギャップを埋め、現場の生産性と精度を高め、安全リスクを減らし、予測的でデータ主導の計画・管理を可能にする明確な道筋となり、プロジェクトを手作業で断片的なワークフローから、統合された拡張性のあるデリバリーモデルへと移す。

### フィジカルAIによる解決

#### 自動レンガ積みシステム

ロボットのレンガ積み機は1日あたり最大約3,000個のレンガを積める。<sup>4</sup>これは典型的な手作業の出力をはるかに上回る。反復的な組積作業を担い、熟練の左官が複雑な作業や細部に専念できるようにする。

#### 解体・改修ロボット

無線または遠隔操作の解体ロボットが、危険な閉鎖空間の作業を精密にこなし、作業員の危険への曝露を下げ、選択的な解体・改修の制御を高める。

#### 3Dプリンティングと付加製造

大判のロボット3Dプリンターは構造物全体を数日で築け、工期を大幅に縮める。実証プロジェクトは、このアプローチが住宅供給をより速く、資源効率の高いものにできることを示している。

#### ドローンによる測量・モニタリング

高性能な光学センサーを備えたAI対応ドローンが、数時間で詳細な3D現場マップを作り、現場測量、進捗追跡、安全点検を速め、チームがリスクをより早く把握し対処できるようにする。

#### モデルから現場への実行

デジタルツインとBIM（ビルディング・インフォメーション・モデリング）モデルが、そのまま物理的行動に変換され、解釈の誤りと手戻りを減らす。

### 期待される効果

#### 効率の向上

自動化は、反復的なタスクを速く一貫して片づけることで、ワークフローを洗練し、人員コストを下げ、工期を縮める。

#### 安全性の強化

ロボットが危険な作業や閉鎖空間の作業を担い、作業員の曝露を減らし、けがを抑える。

#### 品質の改善

自動システムは再現可能な精度と一貫性をもたらし、エラー、欠陥、コストのかかる手戻りを減らす。

#### サステナビリティの向上

ロボティクスは材料の無駄とエネルギー使用を減らし、よりグリーンな建設手法と環境負荷の低減を支える。

#### 長期的なコスト削減

初期の資本コストは大きくなり得るが、ロボティクスは人材ニーズの削減、無駄の低減、完了までの時間短縮を通じて、ライフサイクル全体での節約をもたらすことが多い。



# 建設における自律型・半自律型ロボティクス（2/2）

## リスク管理と信頼の確保



### 安全性・セキュリティ

建設現場は最も危険な作業環境の一つであり、人の接近を確実に検知できなかったり運用境界を徹底できなかったりする自律システムは、まさにこの技術が減らすはずであった怪我のリスクを生む。安全境界は、統制されたテストだけでなく実際の現場条件の下で検証しなければならず、自律ゾーンへの予期せぬ人の進入に対応する堅牢な仕組みを備える必要がある。



### 責任とアカウンタビリティ

建設は、AIが入る前から既に複雑な多者間契約の世界である。自律機器が構造上のエラー、物的損害、作業員のけがを引き起こした場合、開発者・メーカー・インテグレーター・請負業者にまたがる責任の切り分けは、いっそう難しくなる。システムの判断と人間の監督行為を捉える運用ログは、インシデントに対する説明を要する段になって事後的に組み立てるのではなく、常時残しておかなければならない。



### 公平性・中立性

建設における人材の置き換えは、即時的で特定の作業に集中する。レンガ積み、鉄筋結束、解体は、別の仕事が難しい低スキル労働者の重要な雇用を占める。自律システムによる生産性向上は、移行支援とリスクリングへの意味ある投資なしに、この人材を犠牲にすべきではない。これは倫理的義務であると同時に、展開する組織にとっての評判上の配慮でもある。



# 金融サービス フィジカルAI事例集



## サマリー：金融サービスのフィジカルAI事例集

信頼性が事業の土台であり、規制当局の厳しい監督を常に受ける金融サービス業界において、フィジカルAIは大きな可能性をもたらす一方、それに見合う高度なガバナンスが不可欠である



金融サービスは、一見すると物理的な要素が大きい業界には見えないかもしれない。しかし、デジタル化されたサービスの背後では、金融機関がATMネットワーク、データセンター、サーバーファーム、取引端末、支店内の機器といった広範かつ重要な物理インフラを運用しており、顧客、市場、規制上の義務はこれらのインフラに直接支えられている。他業界への多くの物理資産とは異なり、こうしたインフラは目に見える形で徐々に劣化するとは限らず、突然故障し、顧客や取引先に即時かつ目に見える影響を及ぼす可能性がある。

この特性により、金融サービスのインフラは、フィジカルAIの予測能力が特に大きな価値を発揮し得る領域となる。障害が発生してから対応するのではなく、発生前に予兆を捉えることの価値は極めて高い。予防に要するコストは事後対応よりもはるかに小さく、障害が発生した場合のレピュテーション上・規制上のコストは、本来それを防ぐために必要だった保守コストを大きく上回る。

同時に、金融サービスは、AI導入に伴うガバナンスの重要性がとりわけ大きい業界でもある。金融機関は、あらゆる業界の中でも最も厳格な規制監督を受ける組織の一つであり、システムの信頼性、監査可能性、データ所在地、説明責任について厳しい要件を満たす必要がある<sup>5</sup>。予測の根拠を説明できず、推論過程を追跡できず、規制上求められる水準で一貫した性能を示せないフィジカルAIシステムは、技術的に優れていたとしても、この環境では導入できない。

こうした要求は厳しいものの、結果として金融サービス業界にとって有益な規律をもたらす。規制当局が求めるガバナンス水準に合わせてフィジカルAIの導入を設計する金融機関は、より緩やかな条件で導入されたシステムよりも、信頼性が高く、監査しやすく、レジリエンスに優れたシステムを構築できるはずである。



# IT・ATMインフラの予知保全（1/2）

## 物理機器のエッジ統合による予測型モニタリング

### 概要

AIモデルが、分散した物理資産（ATM、サーバー、冷却システム）から得られる実世界の信号を継続的に感知・解釈し、それに基づいて対応する。自律的なエッジベースの検知と介入により障害を未然に防ぎ、稼働率を維持し、接続性が限られる環境でも運用継続性を支える。

### 課題・機会

物理的な情報技術（IT）・運用技術（OT）インフラやATMの障害は、顧客のサービス利用、取引オペレーション、規制上の義務に影響を及ぼす。ATMが故障すれば、顧客は必要なタイミングで現金サービスを利用できなくなり、信頼と満足度が損なわれる。現金処理部品の摩耗やセンサー障害は、よく見られる物理的な故障モードである。サーバー、ネットワーク、電源、冷却設備の障害は、市場アクセスや各種チャネルを停止・混乱させ、機会損失や報告漏れにつながる可能性がある。従来の事後対応型の保守は、障害の長期化、緊急対応、運用リスクの上昇を招く。

根本的な課題は、種類の異なる機器を横断したエッジ統合が不足していることにある。これがなければ、高頻度の信号を安定的に収集することも、接続が失われた際にローカルで対応することも、一貫したデバイスIDとセキュリティを徹底することもできない。その結果、モデルは劣化の兆候を十分に捉えられず、対応も遅れがちになる。

機会は、AIを活用した予知保全により物理資産の劣化をより早く把握し、インシデントを減らすことにある。同時に、説明責任に関する規制要件を満たす厳格なガバナンスと人間の監督の下で、限定的かつ統制されたアクションへ慎重に進むことも重要である。

### フィジカルAIによる解決

#### テレメトリ主導の障害予測

AIモデルが、エッジゲートウェイ・エージェント経由で集めた過去とリアルタイムのテレメトリを分析し、障害に先立って現れることが多い劣化パターンを特定。これによりルールベースの監視より早い段階で介入できるようにする。

#### 是正措置の準備

低リスクのシナリオでは、AIシステムが再起動、パッチ適用、部品交換といった是正手順の候補を準備するにとどめ、自律的には実行しない。

#### ヒューマン・イン・ザ・ループ制御

すべてのアクションは人間の承認を前提とし、説明責任、監査可能性、規制対応を支える。

#### 資産別の健全性モデリング

汎用的なしきい値を当てはめるのではなく、ハードウェアの種類、経過年数、使用強度、運転条件を踏まえ、種類の異なる物理資産を個別にモデル化する。

#### リスクに応じた評価

予測された障害を、顧客への影響、業務上の重要性、規制上の機微性の観点から評価し、チームが対応の優先順位を付けられるようにする。

#### エッジ対応の推論

遅延、信頼性、データ所在地の要件を満たすため、物理資産の近くで推論を実行できる。

### 期待される効果

#### ダウンタイムの低減

予知保全によりATMやインフラの障害をサービスへの影響が出る前に防ぐことができる。さらに、エッジでのローカル検知により、検知からトリアージまでの時間を短縮するため、顧客向けサービスの停止を減らせる。

#### 運用リスクの低減

より早く計画的な介入により、規制当局の注視や顧客からの苦情につながり得る緊急事態の発生可能性を低減する。

#### 保守効率

事後対応型から予知型の保守へ移行することで、技術者は緊急障害への対応に追われるのではなく、計画された作業時間内に問題に対処できるようになる。

# IT・ATMインフラの予知保全（2/2）

## リスク管理と信頼の確保



### 堅牢性・信頼性

ここでの根本的な課題は、エッジ統合の信頼性が低いために、モデルが劣化の兆候を十分に捉えられないことにある。旧式または標準外の資産の障害を見逃す予測システムは、本来回避すべき事後対応型の保守に逆戻りさせ、顧客アクセス、運用の継続性、導入の事業合理性に直接影響を及ぼす。



### 責任とアカウントビリティ

すべての是正措置に人間の承認を求めることは、このシステムが規制要件への適合を維持するための重要な仕組みである。そのためには、AIが何を予測し、どの是正措置案を準備し、誰が承認し、その後どのような結果になったのかを記録した証跡が必要となる。この監査証跡がなければ、ヒューマン・イン・ザ・ループの設計は、原則としては規制対応の根拠になっても、実務上は機能しない。



### 透明性・説明可能性

金融機関は、規制当局に明確に説明できない予測システムを導入することはできない。モデルは、どの信号が劣化を示したのか、障害発生確率をどのように評価したのか、なぜ特定の資産を優先したのかを、規制当局の審査に耐え得る水準で示せなければならない。



# 支店業務向けヒューマノイドロボット（1/2）

## ガバナンスを伴うフロント業務の自動化

### 概要

ヒューマノイドロボットが銀行支店で「デジタル受付係」として働き、顧客の存在、動き、行列の様子を感知して、チェックイン、トリアージ、案内を自律的に管理する。実体を伴うインタラクション、デバイス上の認識処理、統制された人間の監督を組み合わせ、規制された金融環境で支店フロントの運営を最適化する。

### 課題・機会

支店ロビーでは、いまだに人手による受付や場当たりの行列対応に大きく依存しており、特に混雑時には、顧客体験のばらつき、待ち時間の長期化、不要なスタッフ負荷を招いている。顧客が必要としているのは、窓口での本格的な手続きではなく、誰と話せばよいのか、どこへ行けばよいのか、何を持参すべきかといった手早い案内であることも多い。しかし、従来のプロセスでは、こうした案内業務を効率よくさばききれない。銀行はまた、サービスの継続性を維持し、支店での顧客体験の水準を高めながら、受付時の手間や滞留を減らす方法を求めている。

機会は、ヒューマノイドロボットを導入し、支店受付をデジタル化・自動化することにある。自動チェックイン／アウト、予約受付、リアルタイムの待ち時間案内により、遅延を減らし、顧客が必要な情報を得やすくとともに、店舗スタッフをより付加価値の高い顧客対応に振り向けることができる。

### フィジカルAIによる解決

#### 空間認識と混雑センシング

ロボットがビジョンと近接センサーで行列の長さ、混雑、顧客の流れを捉え、人手による監督なしにトリアージの方法を動的に調整する。

#### 会話型トリアージ

一般的な質問に答え、適切なスタッフ／チームへ案内する。「カード再発行」「口座開設」などの意図を素早く把握し、最初の引き継ぎを適切に行う。

#### レジリエンスのためのエッジ実行

中核となるセンシングとルーティングのロジックがローカルで動き、ネットワーク遅延や部分的な障害が発生している間も支店運営の継続を支える。

#### 支店を意識した挙動

ロボットは支店レイアウト、時間帯、リアルタイムの人員配置に応じて顧客とのやり取りの仕方を変える。これは画面ベースのシステムにはできない。

#### 実体を伴うエスカレーション制御

ロボットが物理的にその場にいることで、統制された引き継ぎが可能になる。ロボットが顧客をサービス窓口やスタッフのもとへ実際に案内できるため、誤案内や混乱を減らせる。

### 期待される効果

#### 待ち時間の短縮

受付が速くなり行列の流れが改善する。並び直しが減り案内が速まることで、ピーク時の処理能力が高まる。

#### 人間スタッフの例外対応負荷の低減

フィジカルAIが曖昧な依頼、VIP対応、規制上の例外を検知した場合にスタッフが関与することで、重要な場面では人間の判断を維持できる。

#### 支店間の運用の一貫性

実体を伴う挙動により、スタッフ構成、支店規模、現地慣行を問わず、標準化された受付と案内を徹底できる。

#### 測定可能な物理KPI

デジタル指標だけでなく、行列密度、滞留時間、引き継ぎ精度、物理的な混雑の把握を支える。

# 支店業務向けヒューマノイドロボット（2/2）

## リスク管理と信頼の確保



### プライバシー

銀行支店で顧客の存在、動き、行動を継続的に感知するヒューマノイドロボットは、来店する顧客について、自動的に観察・把握されることに明示的に同意していない可能性のある個人を特定し得る生体データ・行動データを取得する。組織は、取得するデータの内容を明確に説明し、厳格な保存期間を設定するとともに、収集目的である当該支店での顧客対応を越えてデータが別目的に利用されないよう担保しなければならない。



### 責任とアカウントビリティ

金融サービスの規制当局は、顧客対応を人間が行うか自動システムが行うかにかかわらず、対応の結果について金融機関に説明責任を求める。規制された顧客対応の現場で何か問題が起きたとき、その説明責任を技術ベンダーへ転嫁することはできない。



### 公平性・中立性

大多数の顧客には有効に機能しても、言語、コミュニケーションの方法、アクセシビリティ上のニーズが異なる顧客に対して十分な性能を発揮できないトリアージシステムは、支店サービスへのアクセスの不均衡を生む。多様な顧客に対応する規制された金融環境では、これはレピュテーション上・コンプライアンス上の双方の懸念となる。システムの性能は、幅広い顧客層全体にわたって検証しなければならない。



# ATM現金需要予測・補充と自律的な現金物流（1/2）

## エッジインテリジェンスによる予測的な現金供給

### 概要

エッジを備えたATM上で動くAIモデルが、物理的な機械信号と文脈要因（曜日、時間帯、季節性、地域イベント）を用いて現金切れを予測する。現金需要予測とインテリジェントな補充は、現金物流の自律的な調整を見据えて導入が進みつつある。

### 課題・機会

現金切れのATMは顧客の信頼を損ない、緊急対応コストを押し上げる。現金切れのATMに遭遇した顧客は、不満と不便から満足度とロイヤリティが低下し、より確実に現金を引き出せる競合サービスへ流れる可能性がある。静的な補充しきい値は、祝日、地域イベント、悪天候、地域環境の変化で変動する引き出しパターンに追従できず、需要が変動する状況では十分に機能しない。

手作業の計画もまた、不規則ではあるものの予測可能な需要急増（コンサート、スポーツイベント、給料日サイクルなど）を織り込むことが難しい。エッジ統合がなければ、機械の健全性、現金残高、地域の需要シグナルをリアルタイムに把握できず、検知と対応が遅れる。

機会は、物理的な機械信号と文脈的な需要要因を絶えず読み解くエッジインテリジェンスをATMに備え、正確な現金需要予測、リスクベースの優先順位付け、最適化された補充計画を実現することにある。これにより、実行を厳格な人間とセキュリティの管理下に置きながら、現金切れや物流コストを減らすことができる。

### フィジカルAIによる解決

#### エッジ対応の現金需要予測

エッジ接続されたATM上でAIモデルを実行し、現金残高のテレメトリやデバイス信号を利用パターンと組み合わせることで、固定しきい値を使うよりも正確に現金切れまでの時間を予測する。

#### 動的な補充推奨

AIは静的な補充スケジュールに頼らず、予測需要に応じて補充のタイミングと数と金額を調整する。

#### 物流計画の支援

将来的には、AIが現金処理チームのルートとスケジュールの調整を支援し、運用効率を高めることが期待される。

#### 文脈信号の統合

モデルは、引き出し行動を左右する時間帯の効果、季節パターン、地域イベントを取り込み、需要の変化が起きる前に見越す。

#### リスクベースの優先順位付け

顧客への影響が最も大きくなる可能性のあるATMを、立地の重要性和現金切れの発生確率に基づいて優先的に手当とする。

#### 人間の監督下での実行

補充と物流に係る判断は人間の監督下に置き、セキュリティ上機微な業務に対する説明責任を担保する。

### 期待される効果

#### 現金切れ発生の減少

予測により、顧客に影響が及ぶ前に現金切れを防ぎ、ATMの稼働率を高める。

#### 物流コストの低減

現金切れリスクと機械の状態をエッジでリアルタイムに把握できるため、緊急補充の回数が減り、補充ルートの効率を高める。

#### 顧客体験の改善

必要なときにATMを利用できるようにすることで、現金へのアクセスをより確実にして、顧客の信頼と満足度を高める。

# ATM現金需要予測・補充と自律的な現金物流 (2/2)

## リスク管理と信頼の確保



### 堅牢性・信頼性

不正確な予測は、本来このシステムが解消すべき現金切れや不要な物流コストを、かえって生み出すことになる。モデルは、固定しきい値や過去の平均では見越せない、地域イベントや地域環境の変化による不規則な需要急増も含め、実運用で直面する需要条件の全範囲にわたって検証しなければならない。



### 安全性・セキュリティ

補充のタイミングやATMの現金状況を示すAI予測の出力は、漏えいすれば現金物流業務が犯罪の危険に晒されるリスクを直接的に高める、運用上機微な情報である。これは一般的なサイバーセキュリティの懸念にとどまらず、本ユースケースに特有のリスクである。予測出力とATMごとの現金データは、現金輸送・補充業務に伴う物理的なセキュリティリスクに応じて、厳格に管理・保護しなければならない。



### 公平性・中立性

利用量の多い、あるいは商業的に重要なATMを優先するリスクベースの優先順位付けは、顧客が代替手段を最も持ちにくい低所得地域や人口密度の低い地域で、現金の使いやすさを体系的に下げるおそれがある。現金へのアクセスは基本的な金融アクセスのニーズであり、公共的なサービス提供責任を負う金融機関にとって、サービスの行き届かないコミュニティを不利にするAI主導の優先順位付けは、規制上およびレピュテーション上の懸念となる。



# 行政・公共サービス フィジカルAI事例集



# サマリー：行政・公共サービスのフィジカルAI事例集

フィジカルAIは、人々の安全を守り、サービスを届け、公共インフラを管理するための強力な手段を政府にもたらす。ただしその導入には、最高水準の説明責任と公共の信頼が求められる



国や地方自治体を含む行政機関は、限られた予算・人員の中でより多くの役割を果たすことが求められている<sup>6</sup>。具体的には、すべての市民の安全を守り、経済的事情によって必要なサービスへのアクセスが左右されないようにし、地域社会を支える物理インフラを維持・管理し、民間企業以上に高い水準の透明性と説明責任をもってそれらを遂行することが求められる。フィジカルAIは、こうした役割の一つひとつに関わるため、大きな可能性をもたらす一方で、政府・公共機関ならではの難しさも伴う。

機会は明確である。政府・公共機関の組織は、道路、公益インフラ、公共建造物、交通システム、公共安全インフラなど、広範な物理資源を管理している。しかし、それらの保守・監督に必要な予算や人員は慢性的に不足している。また、緊急対応、公衆衛生、教育、福祉・社会的支援といった、公共サービスも担っており、多くの国・地域では、人手だけでこれらのサービスを維持・拡大することが難しくなっている。

フィジカルAIは、市民にとって意味のある形で、行政サービスの到達範囲と実効性を広げることができる。ただし、政府・公共部門での導入条件は、民間部門とは根本的に異なる。たとえば、公共空間で稼働し、法執行に関わる判断に影響を与え、地域社会が頼るインフラを管理するAIシステムには、一般的な商用利用を大きく上回る公平性、透明性、人間による監督が求められる。こうしたシステムの誤りや偏りは、単なる業務上の不具合にとどまらず、実在する人々に具体的な不利益や危害を及ぼし、民主的な統治を支える制度への信頼を損ないかねない。

規制や制度面の複雑さも、導入を難しくする。行政機関は、民間企業とは異なり、厳格な法制度、調達ルール、省庁・部局間の調整プロセスの中で動く。プライバシー保護、市民の自由の保障、公的説明責任に関する要件は、政府・公共機関においてフィジカルAIに何が可能か、そしてどのような形で実装できるかを左右する。



# 自律巡回と脅威検知 (1/2)

## 政府施設向けのロボット巡回

### 概要

自律走行ロボット (AMR) が建物や施設を巡回し、環境を絶えず監視して潜在的な脅威を検知し、重大度に応じてインシデントをエスカレーションする。システムは現場で状況を読み解き、介入が必要な場合に警備担当者へアラートを出す。

### 課題・機会

施設の物理セキュリティを常時確保するにはコストがかかり、人員だけで対応することは難しい。固定カメラは視点が固定されているため、移動しながら状況を確認したり、現場の流れを踏まえて判断したりすることには限界がある。警備員が決まったルートを巡回する、またはチェックポイントに常駐する運用では、警備範囲に予測可能な空白が生じ、長時間監視されない区域が残る。

夜間勤務や長距離の巡回では、疲労や注意力の低下により警戒水準が下がりやすい。特に、発生頻度の低いインシデントを反復的に監視する環境では、異常の見落としリスクが高まる。警備員は複数の場所を同時に確認できないため、施設側は、大規模な警備体制によって網羅的な監視を行うか、日常巡回に残る死角を受け入れるかの選択を迫られる。固定カメラは静的な映像を提供するにとどまり、不審行動の確認、施設内での対象追跡、移動しながらの状況把握が必要な事案への対応には限界がある。

フィジカルAIロボットは、継続的かつ機動的な監視を担うことで、対応の判断や事態の沈静化、物理的介入が必要なインシデントに、人間の注意を集中させることができる。

### フィジカルAIによる解決

#### 自律ナビゲーション

ロボットは建物内を自律的に動き、巡回ルートに沿って移動しながら障害物を避け、エレベーターを使い、区域が封鎖されたりアクセスが制限されたりした際には経路を切り替える。

#### 視覚的なシーン解釈

AIが視覚情報を解析し、制限区域への無許可立入、時間外に開いたままのドア、放置物、漏水や煙などの環境リスクを識別する。

#### 脅威エスカレーションのロジック

検知した事象を重大度で仕分け、軽微な異常は後続確認用に記録する一方、緊急性の高い脅威についてはライブ映像を添えて警備担当者へ即時アラートを送る。

#### 人間へのアラート

必要な場合にのみ警備チームへ通知し、状況説明、ロボットの位置、映像証拠を提供する。これにより、ロボット映像を常時監視させることなく、対応判断を支援できる。

#### 継続的な稼働

ロボットは疲労なく巡回できるため、配置が難しくコストも高くなりやすい夜間、週末、祝日にも、一貫した監視体制を維持できる。

### 期待される効果

#### 警備範囲の拡大

ロボットが休憩、シフト交代、注意力低下なしに24時間巡回することで、施設を継続的に監視し、警備上の空白を減らせる。

#### 人員依存の低減

ロボットが反復的な巡回を担うため、警備員は事象の対応や調査など人間の判断を要する状況に注力できる。

#### 検知の迅速化

定期巡回でインシデントを偶然発見するのではなく、継続的な移動監視によって進行中の状況を深刻化する前に捉え、脅威をより早く特定できる。

#### セキュリティの一貫性

ロボットが時刻・曜日・導入期間を問わず同じ巡回パターンと警戒水準を保つため、対応時間による監視品質の低下等が起きない。

#### 物理的意思決定に係る監査証跡

センサーデータ、移動経路、エスカレーションの判断を記録し、インシデント後の検証、公的な説明責任、法的な確認に活用できる。

# 自律巡回と脅威検知 (2/2)

## リスク管理と信頼の確保



### 堅牢性・信頼性

ロボットが日常的な活動を脅威と誤判定することを繰り返すと、警備チームがロボットからのアラートを軽視するようになる「アラート疲れ」を招く。本物のインシデントを見逃すロボットは、導入目的そのものを損なう。ロボットによるこのような問題行動は深刻である。照明条件、人の多寡、施設構成などが異なる環境でも安定して機能することが、システムが持続的に運用価値を生むために欠かせない。



### プライバシー

人が利用する施設を巡回しながら継続的に映像を記録する自律ロボットは、稼働時間を通じて人々の移動と行動に関する詳細なデータを取得する。組織は、何を記録するか、映像をどれだけ保持するか、誰がアクセスできるか、そして巡回データが正当なセキュリティ目的を越えて従業員監視へ転用されないようにする仕組みについて、明確な制限を定めなければならない。



### 公平性・中立性

特定の施設タイプや集団で学習した脅威分類モデルは、外見や行動が学習データ上の標準的パターンとは異なる人に対して、偏った誤検知を生むおそれがある。一般市民が利用する政府施設では、偏った脅威検知は市民的権利に係るリスクを生み、正当なセキュリティ業務の前提となる制度への信頼を損ないかねない。



# スマートシティ運営と都市インフラの近代化 (1/2)

## 監視、住民サービス提供、レジリエントな運営のための都市規模のインテリジェンス

### 概要

フィジカルAIは、都市センサー、ドローン、自律走行ロボットを組み合わせ、都市インフラをリアルタイムで監視・管理する。エッジインテリジェンスが事象を検知し、分析と意思決定のためにクラウドプラットフォームへデータを送る一方、ロボットが点検や保守などのタスクを実行することで、都市全体で「感知」と「行動」をつなげる。

### 課題・機会

スマートシティの取り組みは、高いサービス品質と運用効率を備えた、密度が高く持続可能な都市環境を目指している。しかし実際には、都市インフラも大規模な公共施設も、いまだ断片的なデータ、手作業の点検、労働集約的な運営に大きく依存している。交通、公益インフラ、公共安全、環境といった都市システムは個別最適のまま運用されることが多く、街路レベルのリアルタイムな状況把握が十分ではない。そのため、問題の早期検知、対応の調整、保守の優先順位付けが難しい。同時に、大規模な住宅・商業開発は清掃・保守・配送などの業務を大規模な人手に頼っており、高い運営コスト、サービス品質のばらつき、需要増への対応力の限界が課題となっている。

機会は、フィジカルAIを都市運営の基盤インフラとして導入することにある。エッジ統合されたセンサー、ドローン、自律走行ロボットにより、都市と施設全体を継続的かつリアルタイムに監視・確認できるようになる。エッジで危険を検知し、整理・選別したイベントデータをクラウドへ連携し、複数のシステムにまたがる知見を束ねることで、フィジカルAIは部門間で連携した出動判断、先回りした介入、需要に応じたリソース配分を支える。これにより固定的なスケジュールや手作業の監督に頼らずに、より一貫した住民向けサービス、より良い住民体験、よりレジリエントな都市運営を実現できる。

### フィジカルAIによる解決

#### 都市規模のセンサーとエッジの統合

AIが交通・公益・環境センサーのデータをエッジコンピューティングで集約し、危険、漏えい、混雑などの異常を現場で捉え、遅延を最小限に抑えたイベントアラートを発信する。

#### インフラ健全性モニタリング

橋梁の振動パターン、水流の異常、系統の変動など多様なデータを分析して都市システムのストレスや障害を捉え、障害がサービスを乱す前に保守ニーズを見つける。

#### ロボットによるサービス実行

AMRが、公共建築、交通ターミナル、学校のキャンパス、住宅複合施設などにおいて、清掃、廃棄物処理、内部物流、定型保守を担う。サービススケジュールは実際の利用パターンに応じて動的に調整される。

#### モビリティと群集分析

混雑パターンの把握、ラッシュ時のボトルネック予測、公共イベントでの群集密度の監視、異常な人流の検知により、交通と歩行者の流れを改善する。

#### 運用者向けの意思決定支援

AIは自律制御を行うのではなく計画担当者に判断材料を提供する。AIによって提示された推奨行動は、人間の運用者が確認・承認した上で実行される。

#### 人間の監督下での実行

政策判断と運用変更への制御を保持し、AIシステムは分析と推奨を担う。

### 期待される効果

#### 運営コストの削減

清掃、保守、配送などの反復業務を自律システムが担うことで、大規模な人手に依存する施設運営を見直し、施設管理費を大きく抑えながら、スマートシティ開発の財務的な持続可能性を高める。

#### 一貫したサービス品質

人員配置の状況によるサービスのばらつきをなくし、スマートシティの居住性に関する基準が意図するように、住民が均質な保守と支援を受けられるようにする。

#### 24時間365日の施設運営

シフト勤務に伴う人件費や調整負荷を増やすことなく、清掃、配送、保守などのサービスを24時間体制で提供できる。これにより、スマートシティインフラに求められる常時稼働を支えられる。

#### 都市レジリエンスの向上

都市システムを横断した状況把握により、連鎖的な障害をより早く検知し、部門をまたいだ対応を調整し、予測可能な混乱を先回りして緩和できるため、都市はストレスやインシデントにより適切に対応できる。

#### よりの確な計画立案

意思決定者が都市運営の実態をより明確に把握できるようになり、エビデンスに基づくインフラ投資、より正確なサービス需要予測、そして提案した変更が相互につながった都市システムへどのような影響を及ぼすかについて、より深い理解を得られる。

# スマートシティ運営と都市インフラの近代化（2/2）

## リスク管理と信頼の確保



### プライバシー

公共空間や住宅地で継続的に稼働する都市規模のセンサー、ドローン、ロボットは、市民が実質的にオプトアウトできない形で、都市全体の住民を広範に監視し得る仕組みを生み出す。行政機関は、取得するデータ、その保持期間、そして導入目的であるインフラ管理を越えた目的外利用を防ぐ仕組みについて、厳格で公的に文書化された制限を定めなければならない。



### 責任とアカウンタビリティ

本ユースケースは設計上、人間によるガバナンスを維持することが大前提である。しかし、アラート件数が増え、運用担当者の対応が追いつかなくなるにつれ、AIの推奨が事実上の意思決定として扱われやすくなる。AIの推奨と人間による判断は運用記録上で明確に区別しなければならない。また、説明責任の枠組みは、一度設計すれば維持・実施できるようなものではなく、運用の中で継続的かつ意識的に維持・改善しなければならない。



### 公平性・中立性

行政機関は、民間事業者にはない、公平性に係る固有の責務を負う。AI主導の都市資源配分によって、保守やサービスが人口密度の高い地域や商業活動が活発な地域へ体系的に偏る場合、それは単なる運用上の不備ではなく、導入の目的や狙いであったはずの公的責務を果たせていないことを意味する。所轄区域全体で公平な結果が実現されているかを監視する仕組みを、導入当初からガバナンスに組み込まなければならない。



# ライフサイエンス・ ヘルスケア フィジカルAI事例集



# サマリー：ライフサイエンス・ヘルスケアのフィジカルAI事例集

高い精度と信頼性に加え、健康や安全を最優先に考える必要がある分野でフィジカルAIはこれまで実現が難しかった新たな可能性を切り開きつつある



ライフサイエンスおよびヘルスケアにおいては、技術上の不備や運用上の遅延が、直ちに患者や生活者への不利益につながり得る。手術時のミス、医薬品供給の遅れ、院内での適時投与の不履行は、いずれも人の健康に重大な影響を及ぼし得る。したがって、これらの分野で求められているのはイノベーションの抑制ではなく、より高い安全性、信頼性、実効性を備えたイノベーションである。<sup>2</sup>

したがって、ライフサイエンス・ヘルスケアにおけるフィジカルAIは、極めて厳格な要件の下で運用される。臨床や製造のプロセスに触れるAIシステムの基準は、設計からして厳しい。AI支援の医療機器・処置に対する規制の道筋は、展開に時間とコストを上乗せする。そして臨床現場での人間の監督要件に妥協の余地はない。ヘルスケアにおけるフィジカルAIは臨床医を補強するものであり、その判断に取って代わるものではない。

しかし、その制約の中でも機会は大い。ヘルスケアは構造的に労働集約的で、熟練の専門職が自らの臨床知識を要しないタスクに多くの時間を費やしている。ライフサイエンス研究は、人間が設計・実行・分析できる実験の数という物理的な限界に縛られる。医薬品製造は、人間のプロセスでは大規模に保ちにくい水準の精度と一貫性を求められる。これらの特徴の一つひとつが、フィジカルAIが意味ある貢献を果たせる地点を指し示している。

これらのセクターは共通して人材不足に直面している。採用だけでは埋められない、臨床・科学人材の世界的な不足である。だからこそ、既存の専門職を単に置き換えるのではなく、その実効的なキャパシティを広げられるフィジカルAIは、運用上有用であるだけでなく、患者と医療システムが必要とするケアの質と発見のペースを保つために欠かせない。



# 医薬品研究開発の変革 (1/2)

## 創薬のためのフィジカルAIスマートラボ

### 概要

フィジカルAIを活かした「スマートラボ」が、創薬の設計・合成・試験・分析（DMTA）サイクル全体を自律的に回す。AI主導の計算モデル（「インシリコ」）で分子を設計し、合成計画を立て、統合されたロボットラボプラットフォームを通じてそのまま実行する。実行を段取りし、分子を物理的に合成し、自動ハンドリングシステムでサンプルを移し、接続されたラボ機器でアッセイを行い、結果を分析し、次の反復を始める。これらを、監督と例外処理を除けばほとんど人手をかけずに行う。

### 課題・機会

医薬品探索では、手作業中心のDMTA（設計・合成・評価・解析）サイクルに1回あたり8～12週間かかり、評価できる化合物数が限られ、新薬開発の遅れにつながっている。従来は実験準備、サンプル搬送、機器操作が人手に依存しており、作業のボトルネックやミスが発生しやすい。特に資金や人員が限られるバイオテック企業では、開発スピードが事業継続に直結する。

フィジカルAIとロボティクスにより標準化された作業の70～80%を自動化できる可能性がある<sup>8</sup>。これによりDMTAサイクルを短縮し、失敗候補を早期に見極め、有望な候補に集中できる。自律型システムは継続稼働でき、実験処理量を増やせるため、創薬期間の短縮とポートフォリオNPV（正味現在価値）の向上が期待できる。

### フィジカルAIによる解決

#### AI主導の分子設計・合成

AIアルゴリズムが新規分子をインシリコで設計し、合成経路を予測し、試薬のプレーティング、液体ハンドリングの手順、ロボットの段取りを含む実行計画を組み立てる。

#### 自律的なサンプル搬送 (AMR)

AMRが合成・精製・試験の各ステーション間でサンプルを運ぶ。自動アッセイプラットフォームが有効性・安全性のスクリーニングを実行し、結果をそのままAIシステムへ送って、次サイクルの意思決定へとループを閉じる。

#### AI最適化された実験設計

機械学習モデルが、最も多くの情報をもたらすような実験を見極め、不要なデータ生成を最大50%減らし、既存のラボキャパシティからのスループットを最大化する。<sup>9</sup>

#### ロボットによる合成・精製

ロボットアームと自動合成プラットフォームがAI生成のプロトコルを自律的に実行し、人手を介さずに液体ハンドリング、反応セットアップ、精製、品質管理（QC）を行い、施設が許せば24時間365日稼働する。

#### リアルタイムのデータ分析と適応的反復

AIが実験結果をリアルタイムで監視し、目標に照らして性能を評価し、失敗を早期に捉え、次のDMTAサイクルを自律的に設計して、反復の時間を数週間から数日へ縮める。

### 期待される効果

#### サイクルタイムの抜本的圧縮

自律型スマートラボは、DMTAサイクルタイムを8～12週間から2週間未満へ縮め得る。実用的な創薬候補をより速く前へ進め、失敗を早期に見切り、ポートフォリオの正味現在価値（NPV）を大きく高められる。

#### バイオテックの資本効率

小規模バイオテック企業は、スマートラボを展開して大規模な発見チームに代え、人員を抑えつつより高いスループットを達成できる。これは資金の燃焼と競う製品企業にとって決定的に重要である。

#### スケラブルなイノベーション基盤

製薬企業は、並列のロボットワークステーションを足すことで発見業務を広げられ、人材の制約なしに、継続的でファクトリー型の創薬への道が開ける。

#### 発見キャパシティの増大

標準化されたワークフローの80%を自動化することで、ラボは同じ物理インフラと人材でより大きなポートフォリオを扱え、人間の労力を、標準化できない職人的なタスクの20%に集中できる。

#### 信頼性と再現性の強化

ロボットシステムが反復タスクでの人的ミスを抑え、プロトコルの一貫した実行を支え、本来失われがちな暗黙の操作知識を取り込んで、データ品質と実験の再現性を高める。

# 医薬品研究開発の変革（2/2）

## リスク管理と信頼の確保



### 堅牢性・信頼性

最大の信頼性リスクは、エラーが気づかれず連鎖し、判断全体を歪めてしまうことである。ロボットによる合成やサンプル処理、AIの判断に誤りがあると、その影響は複数のサイクルにわたって蓄積し、不適切な候補を前進させる一方で、有望な候補を見落とす可能性がある。これは、薬事申請を支える科学的根拠そのものを揺るがす。したがって信頼性は個々の工程ではなく自動化ワークフロー全体を通じて検証すべきである。



### 責任とアカウンタビリティ

規制当局は、科学的判断に対する文書化された人間の説明責任を求める。ほとんど人手を介さずに稼働するシステムは、その期待に応えるために、とりわけ堅牢な監査証跡を備えなければならない。組織は、各段階でAI生成の推奨と人間が検証した判断の境界を明確に記録し、実験判断の完全なトレーサビリティを、後づけのガバナンスではなく展開の前提条件としなければならない。



### 透明性・説明可能性

規制上の説明責任は、有資格の科学者がAIの科学的推論を単に出力を検証するだけでなく評価し支持できることを求める。AIが予測される性質に基づいて候補の見切りや分子の前進を判断する際、その推論は、社内の科学的レビューと社外の規制審査の双方に耐える基準で込めなければならない。



# 自動調剤システム（1/2）

## 正確でスケーラブルな投薬管理のためのAI搭載ロボットシステム

### 概要

AI搭載のロボット薬局システムは、フィジカルAIとロボティクスにより調剤業務を自動化する。調剤ロボットは薬剤の計数、包装、ラベル貼付を行い、充填ロボットはボトルやプリスターパックに正確に薬剤を充填する。自動保管・取り出しシステムは在庫を整理し、必要な薬剤を迅速に取り出せるようにする。

さらにAIアルゴリズムやコンピュータービジョンを組み合わせることで、処方内容の確認、用量計算、低エラーで継続的な薬局業務を最小限の人手で実現できる。

### 課題・機会

従来の薬局業務は、薬剤の計数、充填、在庫管理などの反復作業に依存しておりミスの増加や業務の遅れが起こりやすい。これらの作業は、正確性と一貫性を保ちながら拡大することが難しく、薬剤師の負担増や待ち時間の発生につながる。

フィジカルAIを活用したロボットシステムにより、調剤、充填、保管業務を自動化できる。これにより、ミスの削減、業務効率の向上、大量処理に対応できる薬局運営が可能になる。

### フィジカルAIによる解決

#### AI主導の処方箋処理

AIが処方箋を検証し、正確なデータ確認を支え、手動レビューの手間を減らして処理を速める。

#### ロボット調剤システム

薬剤の計数・包装・ラベリングを自動化し、反復タスクの精度と一貫性を支える。

#### コンピュータービジョンによる検証

正しい薬剤の識別とラベリングを支え、相違を捉えて調剤エラーを防ぐ。

#### ロボット充填システム

バイアルやプリスターパックを高精度で充填し、ばらつきを抑え用量精度を高める。

#### 自動保管・取り出し

在庫を管理し、薬剤への素早いアクセスを支えつつ、在庫配置を最適化し取り出し時間を縮める。

#### リアルタイムの安全チェック

薬物相互作用と患者リスクを捉え、より安全な調剤に向けた十分な情報に基づく判断を支える。

### 期待される効果

#### エラーの削減と安全性の向上

調剤・充填での手作業エラーを抑え、患者安全を高め有害事象を減らす。

#### 処理時間の短縮

処方箋の処理と受け渡しを速め、患者の待ち時間を減らしサービス水準を高める。

#### 人材効率の向上

薬局スタッフの反復作業の負荷を減らし、患者ケアにより注力できるようにする。

#### 一貫した正確な運営

標準化された信頼性の高いプロセスを支えつつ、品質管理と再現性を高める。

#### スケーラブルな24時間365日運営

継続的で大量の調剤を支え、薬局が増える需要を効率よくさばけるようにする。

#### 最適化された在庫管理

在庫配置と取り出し速度を改善しつつ、欠品を減らし在庫の見通しを高める。

# 自動調剤システム (2/2)

## リスク管理と信頼の確保



### 堅牢性・信頼性

投薬調剤のエラーは患者に直接の危害を及ぼす。人間のエラーに代えて自らの故障を持ち込むシステムは患者の安全を高めるのではなく、一つのリスクを別のリスクに置き換えるにすぎない。信頼性は、設計・テスト時だけでなく、扱うすべての薬剤と剤形の全範囲にわたって継続的に検証しなければならない。



### 安全性・セキュリティ

調剤システムが侵害され、用量指示が改ざんされたり、薬物相互作用チェックが無効化されたりすれば、それは単なるIT上の問題ではない。文字どおり患者の生死に直結する問題である。したがって、セキュリティは、ITガバナンスではなく患者安全の課題として扱うべきである。システム侵害や処方データ・調剤ロジックの改ざんが臨床現場にもたらす直接的な影響を前提に、相応の保護策を講じる必要がある。



### 責任とアカウンタビリティ

最終的な調剤判断に対する薬剤師の責任は、規制上・職能上の要件であり、AI支援によって代替できるものではない。したがって、どの確認をAIが支援し、どの判断に薬剤師の承認を必須とするのかを、ガバナンス設計として明確に定め、確実に運用し、記録する必要がある。この設計こそが、そのシステムを規制下の医療環境に導入できるかどうかを最終的に左右する要素である。



# 微小手術向け手術ロボティクス（1/2）

## AI支援の精密手術

### 概要

高精度の手術ロボット／ロボットハンドが、人間の直接の監督の下で微小手術処置を支援する。これらのシステムは、極めて低い遅延、高い精度、そして稼働中の手術におけるAIの認識と物理的動作の緊密な統合を特徴とする。

### 課題・機会

微小手術では人の手の能力を超える高い精度が求められ、ミスは許されない。神経修復、血管再建、眼科手術などでは、ミリ単位以下の繊細な動きが必要だが、外科医の手には自然な震えや疲労が生じる。

そのため、手術結果は外科医の器用さ、経験、体調に左右されやすく、同じ手術でも患者ごとに結果のばらつきが出る可能性がある。また、高度な微小手術は大規模医療機関の専門医に限られやすく地域や医師の状況によって患者のアクセスも制約される。

フィジカルAIを活用すれば、医師が主導権を持ったまま手術精度を高められる。ロボットハンドにより、外科医の意図を接触点での精密な動きに変換し、手の震えを抑えながら、繊細な力加減を正確に制御できる。

### フィジカルAIによる解決

#### 高解像度の認識

AIが手術中の視覚・センサーデータを読み解き、拡大、フィルタリング、そして精密な介入を導く重要な解剖学的構造の強調によって、外科医の視野を補強する。

#### 精密な動作制御

ロボットハンドがサブミリメートルの精度で動作し、手の震えを取り除き、外科医の手の動きをより細かい器具の動きに縮尺して、繊細な組織操作を行う。

#### 遅延制約付きの実行

外科医の入力とロボットの応答の間の遅延を極力抑え、判断と動作をリアルタイムに保ち、手術判断に欠かせない、組織に直接触れている自然な感覚を維持する。

#### 人間が制御する運用

外科医が行動の権限を保持し、ロボットシステムは自律的な手術判断を行わず、外科医の指示を精密な物理的動作へ変換する。

#### 安全上重要な統合

AIは、動作境界、力の上限、周囲構造への不慮の損傷を防ぐ解剖学的安全ゾーンといった、厳格な手順上の制約の中で稼働する。

### 期待される効果

#### 手術成果の改善

ロボットハンドがより細やかな組織操作とより正確な縫合を支え、外傷と合併症率を減らし、微小手術症例の回復を早める。

#### 治療能力の拡大

ロボットの精度が手作業の限界を超える手術を可能にし、従来は複雑すぎるとされた症例にも高度な微小手術技術をもたらすため、実施できる処置が広がる。

#### 一貫性

ロボットハンドによるエンドエフェクタ単位の動作とセンシングが、外科医の疲労や震えによらず均一な精度をもたらし、結果のばらつきを抑える。

#### 患者の便益

組織外傷の軽減、瘢痕の縮小、入院期間の短縮、合併症率の低下を通じて回復が改善し、より良い長期機能につながる。

# 微小手術向け手術ロボティクス（2/2）

## リスク管理と信頼の確保



### 堅牢性・信頼性

神経修復や血管再建の最中に遅延や動作制御の不具合が起されれば、単なる復旧可能なエラーでは済まない。患者の生命に直結する問題である。したがって検証は、実験室内のベンチマークではなく、実際の手術環境を前提に行うべきである。想定される術式、組織の種類、例外的な症例まで含め、臨床現場で遭遇し得る条件下で性能を示す必要がある。



### 安全性・セキュリティ

安全域、すなわち可動範囲、力の上限、解剖学的な安全ゾーンは、手術中の患者を守る中核的な仕組みである。ソフトウェアの不具合、センサー異常、外部からの侵害などにより、この安全域を逸脱すれば、患者に直接かつ不可逆的な影響を及ぼしかねない。フェイルセーフ設計は単なる機能ではない。臨床導入の大前提である。



### 責任とアカウンタビリティ

患者の結果に対する外科医の責任は、臨床上も法的にも求められるものであり、システム設計はその責任を果たせるよう支える必要がある。手術中のすべての操作指示、システムの状態、フィードバックの記録は、その責任を裏づける重要な証拠となる。完全で信頼できる記録がなければ「最終的な判断権限は外科医にある」という原則は形だけのものとなり実際には証明できない。



# 病院運営向けサービスロボット (1/2)

## 定型物流の自律的な実行

### 概要

ロボットが、薬剤、食事、リネン、物品の搬送など、病院での反復的なサービスタスクを担う。これらのシステムは人のいる環境を移動し、スタッフや患者とやり取りする。ロボットは廊下、エレベーター、臨床区域を通じて物理的に品物を運びながら、経路とタスクの判断をリアルタイムに下す。

### 課題・機会

病院では、反復的なサービス業務を担う人材の不足や離職率の高さが課題になっている。看護師や搬送スタッフは、勤務時間の多くを薬剤、検体、リネン、物品などの搬送に費やしており、本来の専門業務に使える時間が圧迫されている。

AMR（自律走行搬送ロボット）を導入すれば、病棟、薬局、検査室、患者室の間で発生する定型的な搬送業務を自動化できる。これにより、医療スタッフは患者ケアにより多くの時間を使える。また、ロボットに搭載されたフィジカルAIにより、障害物回避、動的なルート変更、受け渡し待ちの調整などを現場で判断できる。そのため、需要が集中する時間帯やネットワークが一部停止した場合でも、搬送サービスを継続しやすくなる。

### フィジカルAIによる解決

#### 屋内ナビゲーション

ロボットは人のいる空間を安全に移動し、廊下、エレベーター、出入口を通り抜けながら、動的な病院環境を行き交う患者、来訪者、機器、スタッフをうまく避ける。

#### タスク実行

ロボットが指定された場所の間で品物を運び、デジタルの受け渡しで配送を確認し、人手を介さずに次の割り当てへ戻るため、配送が自律的に完結する。

#### 人とのインタラクションの処理

ロボットは人の周囲で稼働し、進路を譲り、アラートやディスプレイで到着を知らせ、スタッフや患者が品物を取り出したり通路を空けたりする必要があったときに適切に応じる。

#### フリート連携

複数のロボットが連携して稼働し、エレベーターの利用を分け合い、混雑を避けるよう経路を調整し、需要ピーク期にサービス水準を保つよう作業負荷を均す。

#### 運用の信頼性

予測可能な配送時間、温度に敏感な薬剤や壊れやすい品物の適切な取り扱い、完了した配送の自動記録により、タスクが一貫して実行される。

### 期待される効果

#### 労働の軽減

スタッフがより付加価値の高い業務に注力できる。例えば看護師は、搬送やその他の定型サービスではなく、患者の評価とケアにより多くの時間を割ける。

#### 運用効率

定型タスクが自動化され、スタッフ不在による遅延をなくし、伝達のずれによる配送エラーを減らし、繁忙期にも一貫したサービスを保つ。

#### サービスの一貫性

シフトの人員水準、従業員の経験、人手をめぐる競合する要求にかかわらず、均一なタイミングと品質でタスクが確実に終わる。

#### 拡張性

追加のロボットが、施設拡張や繁忙期に増える配送量を、人件費を比例して増やさずにさばくため、人員を増やさずに運用を広げられる。

# 病院運営向けサービスロボット（2/2）

## リスク管理と信頼の確保



### 堅牢性・信頼性

薬剤、検体、温度に敏感な物品を運ぶ病院サービスロボットは、混雑した廊下、エレベーターの待ち行列、ネットワーク障害の可能性を含む稼働中の臨床環境で確実に機能しなければならない。配送の失敗や予期せぬ停止は、ケアのワークフローを乱し、投薬を遅らせ、患者安全が確実なアクセスにかかっている空間で混雑を生みかねない。



### 安全性・セキュリティ

病院内の自律ロボットは、移動が不自由な患者、子ども、苦痛の中にある人を含む、予測し難い人間の行動に安全に応じなければならない。臨床空間での物理的な衝突は、けがやケアの中断を招きかねない。安全境界は、統制されたテスト環境だけでなく、稼働中の病院環境で出会う人々と条件の多様性の全体にわたって検証しなければならない。



### 責任とアカウンタビリティ

病院内で自律走行するロボットは、予測しにくい人の動きにも安全に対応できなければならない。対象には、移動に不安のある患者、子ども、混乱や苦痛の状態にある人も含まれる。臨床現場での衝突は、けがにつながるだけでなく、診療やケアを妨げるおそれがある。したがって安全性は、管理された試験環境だけで確認しては不十分である。実際の病院で遭遇する多様な人や状況を前提に、安全域が適切に機能することを検証する必要がある。



# 高齢者ケア・認知症ケア支援システム（1/2）

## 実体を伴うAIによる重要なケアギャップへの対応

### 概要

メモリーケアや高齢者ケアの現場に展開されるヒューマノイドロボットが、アルツハイマー病、認知症、加齢に伴うケアニーズを持つ人々に、話し相手、服薬管理、情緒的な支えを提供する。

### 課題・機会

高齢化により介護ニーズが増える一方で、介護人材は不足しており、施設や家族は対応に苦労している。特に、認知機能が低下した患者では、見守り、服薬管理、日常的な関わりが重要だが、介護者が常に付き添うことは難しい。孤立や服薬ミスは、健康リスクを高める要因にもなる。

ヒューマノイド型AIアシスタントは、この課題への有効な手段となり得る。日常的な見守り、服薬リマインダー、会話や活動支援を継続的に行いながら、臨床判断や重要な意思決定は介護者が担う形を維持できる。人の共感や責任を置き換えるのではなく、ケアの継続性を補完することで、フィジカルAIは介護品質の安定、介護者の負担軽減、患者の生活の質向上に貢献できる。

### フィジカルAIによる解決

#### 情緒的つながりと話し相手

ヒューマノイドの形は、高齢者がAIアシスタントを擬人化して心を通わせる助けとなり、物理的な対象と絆を結ぶ人間本来の傾向を活かす。ロボットは患者が持ち出した話題で会話し、刺激を与え孤立を和らげる。

#### 統制された介入

しきい値を超えたときに介護者へエスカレーションする。自律的な臨床判断は行わない。

#### 服薬遵守と健康モニタリング

AIが服薬スケジュールを見守り、適切な時間に処方薬を飲むよう患者に促す。遵守状況を追跡し、服薬の見落としや気になるパターンを介護者にアラートできる。

#### 一貫した信頼できる存在

複数の患者を受け持ったりシフトで働いたりする人間の介護者と違い、AIアシスタントは絶えず寄り添える。患者は、疲れや苛立ちのない、見通せて辛抱強いやり取りから恩恵を受ける。

### 期待される効果

#### 高齢者ケアの労働力不足への対応

日常的なモニタリング、話し相手、服薬管理を担うことで、逼迫した介護人材を補う。人間の介護者が判断と共感を要するタスクに注力できるようにする。

#### 患者成果の改善

一貫したモニタリングと服薬遵守の支援が有害な健康事象を減らす。情緒的なエンゲージメントと精神的な刺激が、認知症患者の認知機能の低下を遅らせる可能性がある。

#### 介護者の負担軽減

家族や専門の介護者が、継続的な患者モニタリングから安心を得る。システムが定型的なリマインダーとエンゲージメントを担い、人間の介護者のストレスを和らげる。

#### 服薬遵守の改善

適時のリマインダーと遵守の追跡が服薬の見落としとエスカレーションのリスクを減らし、必要に応じて介護者へアラートを送る。

# 高齢者ケア・認知症ケア支援システム（2/2）

## リスク管理と信頼の確保



### プライバシー

認知機能が低下した高齢患者を見守るロボットは、同意する能力を欠くかもしれない個人について、服薬遵守、行動パターン、悪化の兆候といった極めて機微なデータを取得する。家族や法定後見人を関与させる意味ある同意プロセスと、データのアクセス・保持・二次利用に関する明確な制限を伴う、厳格なガバナンスが欠かせない。



### 安全性・セキュリティ

認知機能や移動能力が低下した高齢者の近くで動作するヒューマノイドロボットは、どのような状況でも予測可能な動きをしなければならない。患者が混乱したり、興奮したり、想定外の形でロボットに触れたりする場合も含まれる。安全性は、認知症ケアの対象者に特化して検証する必要がある。こうした患者の反応は、他の利用者と同じであるとは限らないためである。



### 責任とアカウンタビリティ

介護者は、臨床上の責任を最終的に負い続けなければならない。そのためには、異常や基準超過を検知した際に人の介護者へ確実に通知する仕組みが必要である。また、ロボットが自律的に行うことと人の関与が必要になる条件を家族や介護施設が明確に理解できるガバナンス体制も不可欠である。



### 透明性・説明可能性

認知機能が低下した患者にロボットを導入する家族とケア施設は、システムが何を行い、どのデータを集め、懸念をどうエスカレーションするかを理解しなければならない。患者自身がそれを評価できないことがあるためである。向き合う対象者の脆弱性を踏まえれば、透明性の義務は個々の利用者ではなく、展開する組織に課される。



# クリーンルーム製造の自動化（1/2）

## 無菌環境における精密オペレーション

### 概要

ロボットシステムが、医薬品・バイオロジクスのクリーンルームでマテリアルハンドリング、組立、検査、局所的な環境モニタリングを行い、厳格な汚染管理と検証済みの品質基準を保ちながら、無菌ゾーンでの人間の存在を減らす。

### 課題・機会

医薬品・バイオロジクスの製造は、汚染管理が要となり、品質不良が莫大なコストを伴う無菌の生産環境を必要とする。クリーンルーム作業は労働集約的で、作業員に広範な保護具の着用、厳格なガウニング手順の順守、気流と温度が制限された窮屈な管理環境での作業を強いる。人間の存在は、保護プロトコルにもかかわらず汚染リスクをもたらす。完全に覆われていても、人は動き、呼吸、皮膚の脱落を通じて微粒子を出すためである。

無菌製造での品質不良は、数百万ドルに達し得る高コストなバッチ廃棄、施設の操業ライセンスを脅かす規制調査、責任リスクにつながる患者安全上の問題を引き起こす。

現行のフィジカルAIシステムは、無菌環境向けのクリーンルーム認証とISOの協働ロボティクス基準をまだ満たしておらず、更新された基準は2028年第3四半期に見込まれる。

これらの自動化クリーンルーム用途は、とりわけ認証後において、品質と一貫性が最優先で、人間の存在を減らすことが生産能力を保ちつつ汚染リスクを直接下げる、高利益率の無菌生産環境で、大きな価値をもたらし得る。

### フィジカルAIによる解決

#### 認証されたクリーンルームロボティクス

クリーンルームの分類基準を満たす専用設計のシステムが、管理環境向けに検証された特殊な材料と設計を用い、微粒子や生物学的汚染を持ち込まずに、無菌ゾーンでマテリアルハンドリング、組立、検査を行う。

#### 協働的な無菌オペレーション

クリーンルーム製造におけるフィジカルAIは、汚染リスクを抑えるため人間の存在を最小限にするよう最適化される。やがて、進化する安全・クリーンルーム基準が、例外処理や複雑なタスクのための限定的で統制された人とロボットの協働を許す可能性もあるが、これは自動化を優先する無菌オペレーションに対しては副次的なものにとどまる。

#### AI主導の品質モニタリング

クローズドループのプロセス制御を備えた高度なビジョンシステムが異常をリアルタイムで捉え、無菌処理条件と製品品質を保つようパラメータを自動調整し、バッチ不良に至る前に逸脱を見つける。

### 期待される効果

#### 汚染リスクの低減

無菌ゾーンでの人間の存在を最小限にすることで、一貫した環境制御と製品品質を保ちつつ、微粒子の発生と生物学的汚染を減らす。

#### 製品一貫性の強化

ロボットシステムが反復タスクでの人間のばらつきを抑え、品質不良が高コストなバッチ廃棄と規制の精査を招く高付加価値の無菌生産で、より一貫した結果をもたらす。

#### 規制対応の支援

自動化された記録、プロセスのトレーサビリティ、検証済み手順への一貫した順守が、厳しく精査される医薬品製造における規制対応の体制を固める。

## クリーンルーム製造の自動化（2/2）

### リスク管理と信頼の確保



#### 堅牢性・信頼性

医薬品クリーンルームのロボットシステムは、いかなる逸脱（部品の落下、品質チェックの見落とし、制御を外れた動作）もバッチを汚染し規制調査を招きかねない、検証済みの無菌環境内で確実に機能しなければならない。信頼性の基準は、一般的な産業用ロボティクスのベンチマークではなく、医薬品の検証要件を満たさなければならない。



#### 責任とアカウントビリティ

医薬品製造は、世界で最も厳しく規制された生産環境の一つである。監査証跡の要件は、優れたガバナンスであるにとどまらず、規制上の義務である。AIが品質不良に関与した場合、その証拠記録はFDAまたは同等の精査に耐えるものでなければならない。



#### 透明性・説明可能性

AI主導の検査判断をレビューする品質保証チームと規制検査官は、監督を行い適合を実証するために、どの異常を検知し、重大度をどう評価し、どのような行動を取ったかを理解する必要がある。規制検査官に説明できない不透明なAIの品質判断は、医薬品製造の基準と両立しない。



# テクノロジー・メディア・通信 フィジカルAI事例集



# サマリー：テクノロジー・メディア・通信業界のフィジカルAI事例集

現代経済のデジタルインフラを構築し運用する産業にとって、フィジカルAIは製品であると同時に、オペレーション上の必須事項でもある



テクノロジー・メディア・通信企業は、フィジカルAIの世界の領域において独特の位置を占めている。すなわち、それらはその設計者であると同時にオペレーターでもある。TMT企業は、フィジカルAIシステムが稼働する基盤となるチップ、センサー、エッジハードウェア、ネットワークインフラを設計・製造する。同時に、それらの企業は、フィジカルAIがより効果的に管理を支えられる、現代経済で最も複雑で重大な物理インフラの一部（例えば、データセンター、通信ネットワーク、半導体製造施設など）を運用している。この二重の役割により、このセンターはフィジカルAIへの移行において、きわめて包括的な利害関係を持つことになる。

インフラ運用の側面では、規模と複雑さが決定的な特徴となる。ハイパースケールのデータセンターは、相互依存する数千のシステムにわわって、熱、電力、およびハードウェアの状態をリアルタイムで管理している。半導体製造施設は、数百に及ぶ工程段階全体にわたり、ナノメートル単位で測られる環境許容差を維持している。共通するのは、人間の労働と監督だけでは、最適なパフォーマンスが要求する速度と粒度で、これらの環境を運用し、監視し、管理することができないという点である。

TMTはまた、AI時代におけるエネルギー面での影響を最も直接的に受けるセクターでもある<sup>10</sup>。データセンターとネットワークインフラは、すでに世界の電力消費において大きく、かつ拡大しつつある割合を占めており、AIワークロードの拡大に伴って、その割合はさらに高まる可能性がある。これらのシステム全体にわたってエネルギー使用を最適化できるフィジカルAIは、単に運用上価値があるだけでなく、事業上およびサステナビリティ上の重要課題でもある。

このセクターにおいてガバナンスの重要性は、相互依存性によって増幅される。TMTインフラは、他のセクターのデジタルオペレーションがそのうえで成り立っている基盤である。AIによって制御される物理システムにおけるセキュリティ脆弱性、あるいはAIによって管理されるネットワークにおける信頼性の障害は、TMTセクター内にとどまらず、外部へと波及する。これにより、透明性、セキュリティ、信頼性という信頼できるAI（Trustworthy AI）の諸要素は、TMT企業にとってとりわけ重大なものとなる。なぜなら、それらの失敗が及ぼす影響範囲は、自社のオペレーションをはるかに越えて広がるからである。





# ネットワークのセンシング・品質保証・自律復旧 (1/2)

## 全国規模の通信ネットワークの信頼性を支えるAI

### 概要

機械学習およびエージェント型AIシステムは、スイッチ、ルーター、無線ユニット、アンテナ、ファイバーなどのネットワーク資産から得られるテレメトリを分析し、障害を検知し、根本原因を特定し、その重大度を評価する。これは、アクセスが困難なインフラから視覚データおよびセンサーデータを取得するドローンベースの点検によって補完され、AIが物理的観測結果とネットワーク信号を突き合わせてことで診断を改善する。人間のオペレーターは、洞察を検証し、是正措置を実行することで、制御とコンプライアンスを確保する。

### 課題・機会

通信ネットワークは大規模で複雑な物理システムであり、局所的な障害が急速に広範なサービス障害中断へと連鎖し得る。主導監視では、テレメトリデータの規模と発生速度に対応しきれず、その結果、検知の遅延や長引く停止が生じるが、これは懸隔な規制要件および高い顧客期待の下では、ますます容認されにくくなっている。ネットワーク運用センターは、基地局、ファイバーノード、データセンター、顧客宅内機器にまたがる分散インフラから、日々数千のアラートを受け取っている。オペレーターは、真の障害と日常の変動とを区分し、また連鎖するアラームの中から根本原因を特定しなければならない。損傷したファイバーや故障したルーターといった単一の物理障害が、数百件の下流アラートを引き起こすこともある。ドローン点検は、鉄塔、アンテナ、ファイバールートの調査に用いられ、アクセスの難しい資産から視覚データおよびセンサーデータを取得する。フィジカルAI、このドローン点検データをネットワークのテレメトリと関連させることで、事象検知を早め、根本原因をより明確に特定し、人間が制御と規制対応を保ちつつ、より迅速な復旧を支援する。

### フィジカルAIによる解決

#### テレメトリに基づく障害検知

AIシステムは、物理なネットワーク機器からのテレメトリを継続的に監視し、広範なサービス影響を引き起こす前に、障害を示す異常な挙動を検知する。

#### 根本原因特定の支援

観測されたネットワーク挙動に基づき、かつ物理資産に対するドローンベースの画像点検と関連させることで、想定される要因が提示され、診断が加速されるとともに、オペレーターによる重点的な調査のための、故障の可能性が高い箇所が強調される。

#### ネットワーク横断の相関分析

複数のネットワーク構成要素からの信号をまとめて分析することで、問題の発生箇所を特定し、単に下流の影響を反映しているにすぎない連鎖アラームを除外する。

#### 是正措置の推奨

AIは、トラフィックの迂回、機器の再起動、あるいは特定時点への現地技術者の派遣といった是正処置を提案し、それをおオペレーターがレビューする。

#### 重大度と影響評価

AIは、規模および潜在的な顧客影響に基づいてインシデントを分類することを支援し、オペレーターが最も重大な障害に優先的に対応できるようにする。

#### Human-in-the-loopの実行

各アクションは運用チームによって検証・実行され、ネットワーク変更に関する規制要件への説明責任とコンプライアンスを維持する。

### 期待される効果

#### 障害時間の短縮

早期検知と診断により、オペレーターが対応を迅速化し、手動による根本原因分析に費やす時間を減らすことで、インシデントを短縮する。

#### SLAの保護

コンプライアンスの改善は、先回りしたインシデント管理とより迅速な復旧を通じて、サービスレベル合意（SLA）違反を防ぎ、ペナルティリスクを低減し得る。

#### 運用上の重点

AIがネットワークのテレメトリと、物理資産からのドローン点検データを組み合わせることで、チームがアラートのトリアージや症状の相関付けに費やす時間を減らし、診断よりも解決に注力できるようになる。

#### 障害の陣族な切り分け

オペレーターが問題をより迅速に特定・局所化できたため、障害発生時の修復までの平均時間を短縮し、サービス停止の期間を最小化できる。

#### フィールド保守コストの低減

予防保全により緊急障害を未然に防ぐことで、緊急修理の訪問回数、時間外労働、ならびに部品の特急手配を削減し、フィールド保守コストを低減し得る。

# ネットワークのセンシング・品質保証・自律復旧 (2/2)

## リスク管理と信頼の確保



### 堅牢性・信頼性

AIによる障害検知システムは、真の障害を通常の変動から確実に識別しなければならない。誤検知はオペレーターの注意を浪費し、他方で検知漏れは障害が広範な停止へ連鎖することを許してしまう。多様なネットワーク機器、トラフィックパターン、故障モードにまたがる信頼できる運用が不可欠である。



### 安全性・セキュリティ

通信ネットワークは重要な国家インフラであり、トラフィックの迂回や機器への介入を推奨するAIシステムは、価値の高い攻撃標的となる。侵害された検知システムは、有効なアラートを抑制したり、不必要な介入を引き起こしたりする可能性があり、その結果、大規模なサービス障害を生じさせ得る。セキュリティ対策は、各システムコンポーネントの重要インフラとの関係性や、障害発生時の社会的影響を考慮して設計する必要がある。



### 責任とアカウンタビリティ

すべての是正措置は、人間による検証と実行が必要であり、それによってネットワーク変更に対する説明責任と規制コンプライアンスが維持される。AIが何を検知したのか、何を推奨されたのか、誰が実行を承認したのか、そしてどのような結果になったかについて、明確な記録を残すことが求められる。これにより、規制当局への報告、SLA紛争の解決、ならびにインシデント後の調査を支える監査証跡が作られる。



# AMRを活用した予測型品質管理のためのフィジカルAI (1/2)

## オペレーターのための予知保全インサイト

### 概要

フィジカルAIシステムは、部品品質や展開条件から、ネットワークおよび設備性能、製造施設に至るまで、エンドツーエンドのインフラバリューチェーン全体にわたる傾向を分析し、サービスに影響を伴う問題を発生前に予測し、防止する。自律移動ロボット (AMR) は、データセンターやネットワーク運用環境において、移動型の検査・センシングプラットフォームとして機能し、高頻度の視覚データ、環境データ、環境、資産健全性データを取得し、工程内の信号をリアルタイムで推論して、欠陥が下流へ波及する前に是正措置を起動する。

### 課題・機会

現在の品質管理は依然として事後対応型が中心であり、材料、設備稼働時間、人件費がすでに費やされた後に不良を特定するため、スクラップ、手戻り、遅延、利益率の悪化を招いている。その核心にある制約は、材料のばらつき、設備のドリフト、環境変化といった上流指標に対するリアルタイムの可視性が欠如していることある。フィジカルAIは、材料、プロセス、設備・環境にまたがるパターンを継続的に分析することで、それに対応する。また、自律移行ロボットは工場フロア全体にわたる移動型のインライン・センシングおよび点検基盤として機能する。ビジョンシステム、センサー、エッジAIを搭載したAMRは、高頻度の工程内品質データおよび設備データを取得し、これが生産および材料のテレメトリと統合されることで、クローズドループ型のAIシステムが品質リスクを早期に予測し、不良が発生する前に生産を安定させる。

### フィジカルAIによる解決

#### サプライチェーン全体にわたる予測分析

AIシステムは、入荷時点における材料品質を継続的に監視し、ばらつきを追跡するとともに、それを下流の生産結果と相関させることで、材料が生産工程に入る前に潜在的な不良を予測する。

#### リアルタイムのプロセス最適化

機械学習モデルは、設備性能データ、環境条件、生産パラメータを分析し、プロセスドリフトの初期兆候を検知するとともに、自律的に是正調整を起動する。

#### ロボットの自動再プログラミング

予測インサイトに基づき、AIシステムは、予測された変動を補償するために、ロボットのパラメータ、ツールング設定、またはプロセスフローを自律的に調整し、手動介入のサイクルをなくす。

### 期待される効果

#### 不良防止とスクラップの削減

AMRベースのインライン検査に支えられた予測AIは、TMT製造ラインにおける品質上の問題を早期に検知し、不良の拡大を防ぐとともに、スクラップ、手戻り、材料ロスの削減に寄与する。

#### 生産効率の最適化

自動化されたプロセス調整により、手動補正のための生産中断が減る可能性があり、安定した品質基準を維持しながら、連続的なフローの維持とスループット最大化を支援する。

#### サプライチェーンインテリジェンスの統合

エンドツーエンドの可視性により、製造事業者が材料品質の傾向に関してサプライヤーにフィードバックを提供し、上流品質を改善し、サプライチェーン全体にわたるクローズドループの最適化を実現することを可能にする。

# AMRを活用した予測型品質管理のためのフィジカルAI (2/2)

## リスク管理と信頼の確保



### 堅牢性・信頼性

予測型品質システムは、継続的に変動する生産条件自体にわたって、信頼性高く機能しなければならない。早期のドリフト指標を見逃すシステムは、不良が下流の工程を通じて波及することを許してしまう一方で、過剰な誤アラートを出しすぎるシステムは、生産を不必要に中断させる。いずれの故障モードも、クローズドループ自動化が依拠する運用上の信頼を損なう。



### 責任とアカウントビリティ

AIがロボットのパラメータやプロセスフローを自律的に調整できるのであれば、組織は、どの調整を自律的に行え、どれが実行前に人間の検証を要するかを明示する、明確なガバナンス境界を定義しなければならない。これは、レビューされていないAI判断が、大規模に製品品質へ影響を及ぼすことを防ぐのに役立つ。



### 透明性・説明可能性

モデルの推論を検証しドリフトを捉えるため、プロセスエンジニアは、どの上流信号が品質リスク予測を駆動したのか、またどの是正調整が適用されたかを理解する必要がある。説明可能な推論を伴わずプロセスを調整するクローズドループシステムは、それらが製品の品質に影響をあたえたり、下流へ波及したりする前に、体系的な誤りを特定することを困難にする。





# 持続可能なネットワーク運用（1/2）

## 物理ネットワークのエネルギー効率を考慮した制御

### 概要

フィジカルAIシステムは、無線機、電源ユニット、冷却システム、エッジ機器といった分散した物理資産全体にわたるリアルタイム状態状況を感じ知し、エッジにおいてその稼働状態を自律的に調整する。安全な動作範囲内で制御判断をローカルに実行され、信頼性を損なうことなく、大規模な物理ネットワークのエネルギー効率の高い運用を可能にする。

### 課題・機会

通信ネットワークは大量のエネルギーを消費しており、運用コストとカーボンリスクの双方を押し上げている。静的なエネルギー管理は、需要の低い時間帯に電力を無駄にする。というのは、セルラー基地局、データセンター、ネットワーク機器は、リアルタイムのトラフィックにかかわらず、しばしばフル稼働で動き続けるためである。エッジに配備されたIoTセンサー、ビジョン対応の監視システム、ならびにフィールド技術者が私用するウェアラブルは、機器の稼働状況は、環境条件、現場の活動について粒度の高い可視性を提供する。ネットワークオペレーターは、運用支出の大きな割合を占めるエネルギーコストを抑えつつ、規制上のサステナビリティ目標を達成する必要に迫られている。フィジカルAIは、エッジ機器、IoTセンサー、ビジョンベースのシステムからのデータを活かし、ネットワーク運用をリアルタイムで動的に調整しながら、サービス品質と規制コンプライアンスを維持しながら実際の需要パターンに基づいて電力使用量を上下させる。

### フィジカルAIによる解決

#### エッジレベルの物理的調停

フィジカルAIは、エネルギー効率、性能、安全性といった相反する目的の間のトレードオフをローカルで解消する。例えば、条件が悪化した際に電力を絞るか、スリープさせるか、再ルーティングするかを判断する。

#### センサー駆動のマイクロアクチュエーション

温度、振動、負荷のセンサーからの継続的なフィードバックにより、システム全体に対する大まかな制御ではなく、より粒度の細かい物理的調整（ファン速度、消費電力、冷却流量）が可能になる。

#### 物理的劣化を意識した制御

AIが機器の経過年数、摩耗、熱ストレスに応じてエネルギーの挙動を変え、短期的なエネルギー使用だけでなく、長期的な物理的損傷も減らす。

#### 人間による監督

運用は、ポリシーを設定し、AIの推奨をレビューし、サービス上のコミットメントが満たされるようなオーバーライド権限を維持するネットワークエンジニアによって管理されたままである。

### 期待される効果

#### 資産寿命の延長

物理的ストレスの信号に基づいて行われるエネルギー上の判断が、設備群全体にわたる部品の早期故障を減らし得る。

#### スケーラブルな拠点間の一貫性

同一の物理制御ロジックを、レイアウトや設備構成が異なっても、工場、ネットワーク、データセンター、あるいはプラント全体にわたって適用できる。

#### 物理的調整における人手介入の削減

AIが継続的な物理的調整を担うことで、エンジニアは手動のパラメータ調整から、ポリシーレベルの監督へと移行する。

#### レピュテーションの保護

オペレーターがサステナビリティ目標に向けた測定可能な進捗を示すことで、環境意識の高い顧客やステークホルダーの間でブランドの評判を守りつつ、環境リスクが軽減される。

# 持続可能なネットワーク運用 (2/2)

## リスク管理と信頼の確保



### 堅牢性・信頼性

分散したネットワークインフラ全体にわたって、電力状態、冷却フロー、運用パラメータを自律的に調整するフィジカルAIは、機器の経年劣化、予期しない負荷スパイク、センサーの劣化を含むあらゆる条件下で、信頼性を高く機能しなければならない。不適切なエネルギー調整は、サービス品質を損なったり、そのシステムが守るはずの資産そのものの物理的な摩耗を加速させたりする可能性がある。



### 責任とアカウントビリティ

ネットワークエンジニアは、理論上はポリシー設定とオーバーライドの権限を保持する。しかし、AIが継続的な調整を大量に処理するようになるにつれ、一つひとつの判断を実務上レビューする余力は低下する。組織は、自律的なエッジ動作と、エンジニアによるレビューを要する判断との間に明確な境界を定義し、サービスまたは設備の結果が争点となった場合の説明責任を支えるために、明確な監査証跡を残さなければならない。



### 透明性・説明可能性

エネルギーポリシーを設定するネットワークエンジニアは、フィジカルAIがエネルギー効率、性能、安全性といった相反する目的の間でどう均衡を取っているのか、また、なぜ特定の調整が行われたかを理解する必要がある。この可視性がなければ、エンジニアはポリシーを効果的に調整することも、設定を誤った最適化目標を設定することも、継続的な物理的変更を行うシステムに対する真の監督を維持することもできない。





# データセンター運用 (1/2)

## データセンター環境の予測的制御

### 概要

フィジカルAIシステムは、データセンター内のハードウェア劣化や熱ストレスを予測し、ワークロードの移行と連動して保守・メンテナンスを実施することで、障害リスクを低減できる。

### 課題・機会

TMTセクターにおいて、データセンターは複雑な物理システムであり、局所的な問題が計算、電力、冷却インフラ全体にわたって急速に連鎖し得る。従来の計画と監視では、ワークロード強度、熱挙動、ハードウェアの経年劣化の間の動的な相互作用を捉えるのに苦勞し、しばしば、ホットスポット、性能劣化、または障害がサービス可用性に影響した後にしか反応できない。サーバーが老朽化し、冷却システムが需要に追いつかず、電力部品が偏った負荷を受けるにつれ、静的なしきい値はしばしば初期のストレス信号を見逃すことが少なくない。データセンターのデジタルツインは、施設設計、電力および冷却システム、ならびにネットワークアーキテクチャを重ね合わせて「もし〜なら」のシナリオをシミュレートし、オペレーターが物理的介入を行う前に、増設や構成変更がもたらす熱、容量、性能への影響を予測できるようにする。フィジカルAIは、物理信号を継続的に分析してリスクを早期に予測することにより、予測型でインフラ認識型の運用への移行を可能にする。これは、厳格なガバナンス・モデルの下で人間を統制主体として維持しつつ、オペレーターがワークロードを先回りして移行し、熱負荷の再配分し、あるいは対象を絞った保守の計画できるように支援し、その結果、大規模におけるレジリエンス、稼働率、エネルギー効率を向上させる。

### フィジカルAIによる解決

#### 熱およびストレスの予測

AIモデルは、冷却システムの性能、計算ワークロードの分布、ならびに物理インフラに熱ストレスを生じさせる環境要因のパターンを分析することにより、障害リスクを高める温度および負荷の条件を予測する。

#### ハードウェア劣化の予測

物理コンポーネントからの信号は、耐用年数終了事象を予測するために用いられ、リスクのあるサーバー、ストレージ装置、ネットワーク機器を特定する。AIは自律的に行動するのではなく、オペレーターを支援し、可用性、性能、またはリスクに影響し得るあらゆるアクションについて、人間が権限を維持したまま、推奨事項と分析を提供する。

#### 保守調整の支援

AIは、物理的な介入を運用上の制約と整合させることを支援し、計画担当者が、事業への影響を最小にできる時間帯にハードウェア交換、冷却システムの保守、インフラのアップグレードを組めるよう助ける。

#### ガードレール付きの意思決定支援

AIは自律的に動くのではなく、オペレーターを支援する。

#### シナリオ評価

想定されるアクションは、実行前にリスクと影響の観点から評価され、特定されたリスクに対処しつつ、新たな問題を生じさせないように、ワークロードの移行、保守の時間枠、または設備変更の結果がモデル化される。

#### 人間によるエスカレーション経路

重要な判断はデータセンターオペレーターに委ねられたままであり、ビジネスの文脈を理解し、AIシステムが十分に評価できないトレードオフを判断できる確かな人員に、知識と説明責任が保持されることを確保する。

### 期待される効果

#### 計画外停止の削減

ハードウェア障害または熱事象が緊急停止を招いたり、相互接続されたインフラ全体で連鎖障害を引き起こしたりする前に、より早期の特定と先回りの介入を行うことで、可用性が高まる。

#### 資産寿命の延伸

ハードウェア劣化を加速させるストレス条件への曝露を低減させることにより、ライフサイクル管理が改善され、設備の有用寿命を延び、早期交換コストが削減される。

#### 運用レジリエンス

障害が起きてからの後手の危機対応ではなく、予測分析を通じて、事前計画、リソースの配置、強制的な対応戦略を可能にすることで、インシデントへの備えが向上する。

# データセンター運用 (2/2)

## リスク管理と信頼の確保



### 堅牢性・信頼性

ハードウェアの劣化および熱ストレスを予測するフィジカルAIは、ワークロード強度、冷却挙動、設備の経年劣化の動的な相互作用全体にわたって、信頼性高く機能しなければならない。初期のストレス兆候を見逃したシステムは、障害によって緊急停止が余儀なくされるまで問題が進行することを許してしまう可能性があり、その場合、導入を正当化したはずの予測価値が失われる。



### 安全性・セキュリティ

データセンターは、計算、電力、冷却システムにわたってAI支援運用が及ぶ重要インフラであり、そこには、制御ロジックが侵害された場合に連鎖障害を引き起こし得る広範な攻撃対象領域が存在する。改ざんされた熱予測または保守スケジューリングは、依存するサービスに響く停止を引き起こし得る。セキュリティ保護は、これらの施設の運用上の重要性および顧客サービス義務に見合うものでなければならない。



### 責任とアカウンタビリティ

ワークロード移行、保守スケジューリング、インフラ変更といった、結果に重大な影響を持つすべてのアクションについては、人間が統制を保持し、AIはオペレーターによるレビューのための推奨を提供する。ただし、このヒューマン・イン・ザ・ループのアプローチは、実務においても遵守されなければならない。AIの推奨、人間の判断、結果について一貫した文書化を行うことは、サービス中断や設備故障に調査が必要となる場合に不可欠である。



# 半導体製造のオーケストレーション（1/2）

## Fab内ロボット群のフリートレベル協調制御

### 概要

フィジカルAIシステムは、半導体製造施設および隣接する下流工程のオペレーション（例えば、テスト、パッキング、品質検査など）全体にわたって、協働ロボットのフリートを協調させ、生産ニーズに応じて、搬送、検査、ハンドリングといったタスクを動的に割り当てる。

### 課題・機会

半導体製造施設では、重要な作業を行う数百台のロボットで稼働しているが、従来のシステムでは、リアルタイムの生産ニーズにもかかわらず、各ロボットに固定の機能を割り当てている。搬送ロボットはウェーハを処理ステーション間で運び、検査ロボットは欠陥を確認し、ハンドリングロボットは装置の積み下ろしを行い、それぞれが事前に定められたルートとスケジュールに従う。生産の優先順位が変わったり、設備が想定外に停止したりすると、固定的なロボット割当てはボトルネックを生み、あるエリアで遊休状態にあるロボットが、別の場所の滞留解消を支援できない。施設は、各機能におけるピーク需要に備えてロボットを買い足しているが、ロボットを動的に再配置できれば、必要以上の高い資本コストを抑えられる可能性がある。品質要件は、厳格な汚染管理と精密なハンドリングを要求するため、歩留まり損失を招くことなくロボットをどのように再配置できるかに製薬を課す。下流のテスト・パッキング領域では、スループットがシフト体制や出勤状況によって変動し、設備能力が存在していても回避可能な生産量低下を生じさせることがある。トレーニング段階では、ロボットと人間が50/50の比率で並行して作業する。日勤の間は人間が手順を教え、夜勤や人員不足時にもロボットが独力でオペレーションを維持する。

ここでの機会は、クリーンルームの制約と品質基準を守りながら、ロボットを最優先のタスクへ動的に割り当てるフリートレベルのオーケストレーションにあり、それにより、総ロボット台数を抑えつつスループットを最大化できる。

### フィジカルAIによる解決

#### フリートレベルの推論

AIは、現在の生産状況とボトルネックの箇所に基づき、利用可能なロボットを最優先アクティビティへ向けることで、ロボットフリート全体でタスクを動的に割り当てる。

#### スループットを意識した協調

アクションは生産目標に沿って整合され、厳格に事前設定されたスケジュールに従うのではなく、律速工程を通じたウェーハの流れを加速する動きを優先する。

#### 固定的な役割の削減

ロボットはタスクに固定されず、これにより、検査やハンドリングがボトルネックになったときに搬送ロボットがそれを支援できるようになるため、フリート全体の稼働率が高まる。

#### 人間によるガバナンス

エンジニアはオーケストレーションを監督し、生産の優先順位を設定し、品質制約を定義し、ロボット割り当てに対する監督を維持することで、製造工場のファブの安全性と歩留まり目標の達成を支える。

#### 品質の維持

AIは、汚染領域、ハンドリング手順、装置互換性要件を含む製造工程の制約を順守し、それによって半導体の歩留まりと信頼性を守る。

#### リモート支援

ARベースのアシスタントは、ライブの設備やコンテキストを用いて、段階的かつハンズフリーの製造装置保守ガイドンスを提供し、リアルタイムの多言語トラブルシューティングを可能にし、エンジニアを遠隔の専門家と接続する。

### 期待される効果

#### 資本集約度の低減

動的な割り当てにより、稼働率の低い機能領域の遊休能力を排除し、より小規模なフリートで同じ生産量进行处理できる。そのようになれば、必要なロボット台数は減り得る。

#### スループットの向上

生産フローが現在制約されている箇所へロボット能力を集中させるインテリジェントな資源配分により、ボトルネックが軽減され、ウェーハのサイクルタイムが改善される。

#### 運用効率

ロボットが遊休時間を減らして付加価値活動により多くの時間を費やすことで、リソースがより有効に使われ、高価な自動化投資の利益率が高まり得る。

#### 品質保護

動的な再割り当てによる品質逸脱を防ぐ汚染プロトコル、ハンドリング手順、装置互換性ルールをAIが徹底し、基準を守る。

# 半導体製造のオーケストレーション（2/2）

## リスク管理と信頼の確保



### 堅牢性・信頼性

ロボットのフリートレベルAIオーケストレーションは、設備変更、歩留まり逸脱、予測不能なロボットの可用性を含む実世界の生産条件下で、信頼性高く機能しなければならない。ロボットを誤ったゾーンへ送る、ハンドリングの衝突を生じさせる、あるいは汚染プロトコルを違反するオーケストレーションの失敗は、品質不良のコストが極めて高い製造環境において、ウェーハの歩留まりに直接影響し得る。



### 安全性・セキュリティ

AIロボットのオーケストレーションを半導体生産および汚染管理システムに組み込むことは、制御ロジックが侵害された場合に、ロボットを汚染区域へ進入させたり、品質チェックを迂回させたりし得る大きな攻撃対象領域を生み出す。セキュリティ保護は、不正アクセスまたは改ざんによって製造の完全性が損なわれた場合の、歩留まりおよび商業上の帰結を反映したものでなければならない。



### 責任とアカウンタビリティ

エンジニアは、優先順位を設定し、制約を定義することによって、オーケストレーションを監督する。しかし動的なフリートオーケストレーションは、エンジニアがその一つひとつをレビューするには多すぎる個別の割当て判断を生み出す。組織は、意味のある監督を維持するために、どの割当て判断を事前承認された境界内で自律的に実行できるのか、また、どれが実行前に人間による検証を要するかを、明確に定義しなければならない。



# 超低遅延ネットワーク保護（1/2）

## デバイス・インテリジェンスによる安全上重要な即時応答の実現

### 概要

通信ネットワークにおいて、次世代のフィジカルAIは、GPU（Graphics processing units）ベースのインテリジェンスを、基地局、ネットワーク機器、カメラ、センサーエッジに直接組み込み、中央集約的な処理に依存することなく、リアルタイムの脅威検知を可能にし得る。これらのシステムは、ミリ秒単位でローカルに信号を分析することにより、拠点への不正干渉、不正アクセス、設備異常、またはサービスに影響する攻撃といった物理的・ネットワーク上の脅威を特定し、影響を受けた資産を隔離し、フェイルオーバーを起動し、あるいは運用パラメータの調整するといった即時の保護措置を自律的に実行して、脅威がネットワーク全体へ及ぼす前に対処しつつ、人間のオペレーターを監督ループの中に保持する。

### 課題・機会

通信環境では、物理的損傷、サービス中断、または人員への危害を防ぐために、重要な安全・セキュリティ上の判断をミリ秒単位で行う必要がある。例えば、基地局のフィールド技術者が装着するAI対応ウェアラブルは、稼働中の設備への近接、立ち入り制限区域、危険な状態を継続的に監視し、安全でない挙動が検知された場合には、ネットワーク接続に依存することなく、即時のアラートや設備の自動停止を起動できる。このモデルをネットワーク自体へ拡張すると、基地局、エッジデバイス、セキュリティセンサーに直接組み込まれたフィジカルAIは、拠点への不正干渉、不正アクセス、または以上な信号挙動といった脅威を自律的に検知し、影響を受けたネットワーク要素を隔離し、アクセスを拒否し、またはフェイルオーバー経路を有効オンデバイス化するなどの即時の保護措置を取り得る。伝送遅延を排除し、での意思決定を可能にすることで、通信オペレーターは、相互接続されたネットワーク全体の脅威が連鎖する前に、エッジでのそれを封じ込めることができる一方で、エスカレーションと規制対応のための人間に監督は維持される。

### フィジカルAIによる解決

#### カメラ上でのAI処理

軽量なAIモデルはスマートカメラ上で直接実行され、映像ストリームをローカルで処理し、ネットワーク送信を行うことなく脅威検知または安全上の判断を下すことで、10ミリ秒未満の応答時間を実現し、実質的に瞬時の介入を可能にする。

#### デバイス組み込みの脅威認識

通信ネットワークでは、拠点カメラ、基地局、アクセスセンサーといったエッジデバイスに組み込まれたAIが、物理的・ネットワーク上の脅威をリアルタイムで検知する。データをローカルで処理することにより、これらのシステムは、中央集約的な分析を待つことなく、影響を受けた資産を自律的に隔離し、アクセスを拒否し、あるいはフェイルオーバーを即時に起動して脅威を封じ込めつつ、人間による監督を維持することができる。

#### 即時のアラートおよびアクセスシステム

デバイス上の処理により、ネットワークに制約された速度ではなく機械速度で、アラート、警報、または自動安全対応（例えば、クレーン停止、アクセス拒否）を即時に起動することが可能となり、防護措置がインシデント防止に十分な速度で実行されることを確保する。

### 期待される効果

#### 人命を救う応答時間

伝送遅延を排除することで、脅威や安全違反を防ぐのに十分な速さでAIシステムが検知・対応することを可能にし、ミリ秒単位が重要となるセキュリティや産業安全用途において、インシデントを防止し、場合によっては人命を救うに寄与し得る。

#### ネットワーク非依存の稼働

デバイス上の処理が、ネットワーク障害や接続トラブルの間であっても、重要な安全システムが機能し続けることを可能にし、ネットワークインフラの可用性に依存することなく保護を維持するのに役立つ。

#### 拡張可能な安全インフラ

個々のデバイス上の分散インテリジェンスは、中央集約型システムのおよび帯域と処理のボトルネックを回避し、組織がインフラ上の制約や集中処理の限界なしに、大規模施設全体にわたる包括的な安全監視を展開することを可能にする。

# 超低遅延ネットワーク保護 (2/2)

## リスク管理と信頼の確保



### 堅牢性・信頼性

ミリ秒単位で自律的に保護判断を下すAIは、極めて高い信頼性で機能しなければならない。基地局を止めたり、現場技術者のアクセスを拒否したりする誤検知は運用上の混乱を生じさせる一方、真の脅威を見逃す検知漏れは、本来防ぐはずであったインシデントの発生を許してしまう。いずれの故障モードも、即時の運用上の帰結を伴う。



### 責任とアカウントビリティ

機械の速度で実行される自律的な防護措置は、実行前に人間がレビューする時間がないため、展開前のガバナンスが重要になる。組織は、システムがどのアクションを、どのような条件で、どのような制約の下で自律的に取れるかを正確に定義しなければならない。一方で、人間のオペレーターは、自律介入の後のエスカレーション、調査、復旧に対する権限を保持する。



### 透明性・説明可能性

監督ループにいる人間のオペレーターは、何が自律的な防護アクションを引き起こしたのかどの脅威が検知され、どの証拠がそれに裏付けており、システムが何をしたのかを理解しなければならない。それにより、妥当性を評価し、誤検知を調査し、検知ポリシーを洗練させることが可能になる。説明可能な推論なしに動作するシステムは、たとえ人間が名目上は監督権限を保持していたとしても、意味のある形で監督することができない。



# スタジアム運営・スポーツ中継向け四足歩行ロボット（1/2）

## ライブイベントと複雑な会場のための、アジャイルAI駆動モビリティ

### 概要

フィジカルAIを搭載した四足歩行ロボットが、スタジアム運営およびライブ中継を支援するために、スポーツ会場へ導入されつつある。これらの移動式ロボットは、センサー、カメラ、遠隔操作機能を組み合わせ、物理環境内を移動し、セキュリティチームの監視業務を支援し、地上の活動を妨げることなく、ライブスポーツ中継向けための安定した動的映像コンテンツを取得する。

### 課題・機会

大規模なスポーツ会場は、リアルタイムの監視、安全監督、没入型のファンエンゲージメントに関わる運用上の課題に直面している。セキュリティチームは、人的リスクを高めることなく、混雑した区域やアクセスな区域を早期に可視化する必要がある。

同時に、放送事業者は、動的な環境において安定性と信頼性を維持しながら、魅力的な映像を撮るための革新的な方法を求めている。

フィジカルAIシステムは、地上で稼働し、周囲と安全に相互作用し、リアルタイムの視覚インテリジェンスとカバレッジを提供する移動式ロボット基盤を通じて、人間の能力を拡張する機会を提示する。

### フィジカルAIによる解決

#### インテリジェントな移動監視

AI対応の知覚により、四足歩行ロボットが会場周縁を移動し、人の流れを見守り、継続的視覚フィードバックを提供できるようになり、広い空間全体にわたる予防的監視と運用認識を支援する。

#### コンピュータービジョンによる状況検知

コンピュータービジョンモデルはライブ映像を処理して、異常な活動や物体を特定し、重要なアクションに対する人間の監督を維持しながら、より迅速なアラートと十分な情報に基づく意思決定を支援する。

#### 遠隔操作と支援付き自律性

デバイス上処理により、AI支援型の制御システムは、複雑な地形でロボットを誘導し、音声・映像情報を中継し、人間チームが介入する前に初期評価を行うことを、オペレーターが支援できるようにする。

#### 信頼性のためのエッジ実行

中核となる知覚および移動の判断はロボット上でローカルに実行され、それにより、ネットワークの混雑や部分的な接続喪失の下でも継続稼働が可能になる。

### 期待される効果

#### 運用上の可視性の向上

移動式ロボットは、人を直接さらすことなく、スタジアム環境全体にわたって監視範囲を拡張し得る。

#### 安全支援の向上

早期の状況認識は、不確実な状況へ人員を投入する前に、十分な情報に基づく対応を可能にするのに役立つ。

#### より豊かな観客体験

動的で地上レベルの映像は、放送中継の安定性と信頼性を維持しながら、魅力的な視点を付加し得る。

# スタジアム運営・スポーツ中継向け四足歩行ロボット（2/2）

## リスク管理と信頼の確保



### プライバシー

公共のスポーツ会場において、カメラとセンサーを搭載した四足歩行ロボットは、ロボット監視に同意していない多数の観客を含む映像を継続的に取得する。組織は、何を記録するのか、映像をどれくらい保持するのか、個人追跡への目的外利用を何が防ぐか、そして、この監視がイベント来場者にどのように開示されるかについて、明確なポリシーを定義しなければならない。



### 安全性・セキュリティ

観客、スタッフ、選手の近くで、混雑したスタジアム環境内を移動する四足歩行ロボットは、常に安全に稼働されなければならない。混雑環境におけるナビゲーションの障害や制御喪失は、重大な障害を引き起こし得る。安全境界と緊急停止機能は、試合後の群衆の押し寄せや、予期しない人間とロボットの接触を含むライブイベントの条件下で検証されなければならない。



### 公平性・中立性

特定の群衆タイプや会場構成で学習したコンピュータービジョンモデルは、異なる状況では精度が低下する可能性があり、その結果、外見が学習データの規範と異なる個人に対して偏った誤検知を生み出すことがある。セキュリティ監視の用途において、偏った検知は会場運営とイベント運営者にとってレピュテーションのリスクを生み出す。



# 物理世界における Trustworthy AI™（信頼できるAI）

デロイトのTrustworthy AI™フレームワークは、AIシステムにとって重要な6つの特性を示している。

これらの特性はさまざまな形態のAIに適用されるが、フィジカルAIは、それを誤った場合の影響が物理空間にも及ぶため、その帰結をいっそう増幅させる。

ソフトウェアアルゴリズムによる不適切な推奨は誤った判断を生むにとどまるかもしれないが、フィジカルAIシステムの欠陥は、生産ラインを停止させ、設備を損傷し、作業員を負傷させ、あるいは（手術ロボティクスや自動運転車のような重大な用途では）人命を直接脅かし得る。

## 堅牢性・信頼性

フィジカルAIシステムは、動的で予測困難な環境全体にわたって一貫して機能すべきであり、そのような条件は、モデルが通常学習される統制されたデータ環境よりも、はるかに多様で困難である。

## 安全性・セキュリティ

センサー故障、エッジケース、悪条件は、現実世界の物理的危害へと急速に連鎖し得る。セキュリティ脆弱性も同様に重大である。侵害された自律ロボットまたは改ざんされた制御システムは、単なるデータ侵害ではなく、物理的脅威である。

## プライバシー

プライバシーは、フィジカルAIシステムにおいて大きく、かつ増大している懸念事項であり、その多くは、カメラ、マイク、環境センサーを備え、人物、職場、公共空間に関するデータを継続的に収集し得る。これらのシステムに伴うデータガバナンス上の義務は大きく、また法域によって大きく異なる。

## 透明性・説明可能性

フィジカルAIでは、判断はしばしばミリ秒で行われ、その行動の背後にある理由を事後に監査することが難しい場合がある。フィジカルAIを導入する組織は、規制対応のためだけでなく、人間の作業者がAI駆動のシステムを信頼し、効果的に協働できるようにする運用上の信頼を築くためにも、説明責任を生み出す監視・ログ基盤へ投資する必要がある。

## 社会的責任と アカウンタビリティ

フィジカルAIシステムが害を生じさせた場合、その説明責任は、それを配備した組織、それを設計したチーム、そして／またはそれを監督した人間に対して、明確に追跡可能であるべきである。その連鎖が不明確である場合、組織はしばしば導入の遅れ、リスクの増大、そして、主要市場が期待の明確化へ向かうにつれて高まる規制上の監視に直面する。

## 公平性・中立性

狭いデータセットで学習されたフィジカルAIは、環境をまたいで一般化することに苦勞し、偏った挙動、不均等なアクセス、物理的危害のリスクを高める。ワールドモデルはここで差別化の鍵となる。すなわち、物理世界を因果推論とともにシミュレートすることで、機械が結果を予測し、見慣れない条件に適応し、学習データを超えて安全に行動できるようにし、脆い自動化を、レジリエントで文脈認識型のインテリジェンスへと変えることを可能にする。

Trustworthy AI™は、コンプライアンスのチェックリストや進歩への障壁として見るべきではなく、責任ある大規模導入を促進する触媒と捉えるべきである。したがって、それはシステム開発の初期の段階から組み込まれ、システムが新たな環境へ配備され、更新され、拡張されるにつれて継続的に見直されるべき設計思想を表している。

# 結論



冒頭で思い描くよう促された世界を思い出してほしい。物流センターで最も困難な仕事に取り組む自律ロボット、数百マイルにわたる遠隔インフラを巡回するドローン、人間を超える精度を可能にするAI支援型手術システム、そして人々の日常生活をより良くするスマートマシンである。それほど昔のことではないが、これらの構想はサイエンスフィクションだった。今日、それらは現実的なユースケースである。

さらに重要なのは、本事例集にあるユースケースは出発点にすぎず、到達点ではないということである。これらは、企業や行政が今日構想し始め、導入し始めているフィジカルAIのアプリケーションを表している。しかし、より完全な姿 — 今後10年以上の競争優位を決めかねない姿は、いまだに描かれていない。フィジカルAIは真に新しいフロンティアであり、その最も変革的な応用は、まだ想像すらされていないものである可能性が高い。

これは、課題であると同時に機会でもある。多くの組織にとってのリスクは、フィジカルAIの導入に失敗することではなく、それを部分的に導入してしまうことである。すなわち、既存プロセスを描き直すのではなく、それらを自動化するために使うということである。「AIによって、すでにできることをどう実現するか」と問うのではなく、「これまで不可能だった何が可能になるか」と問うべきである。後者の問いを立て、しかもそれを規律、創造性、そして価値創出への明確な焦点をもって追求する組織こそが、破壊的変革に単に追随するのではなく、それを牽引することになるはずである。この未来を実現するには、想像力以上のものが必要かもしれない。すなわち、規律ある投資判断、明確なROIモデル、そして描き直した可能性を、パイロット段階からスケールされた価値創造型のフィジカルAI導入へと移行させるための、設備投資（Capex）と運営費（Opex）にまたがる慎重なトレードオフが求められるかもしれない。

フィジカルAIは、私たちがすでに活動している世界を、単により効率的にするだけではない。むしろ、これまでとは本質的に異なり、より良い世界を実現するための一助となる。今の課題は、その世界を想像し、構築することである。



# お問い合わせ

## Asia Pacific



**Anjani Sripada**  
Deloitte India, AP NVIDIA Alliance  
Leader  
[anjanikumar@deloitte.com](mailto:anjanikumar@deloitte.com)



**Scott Xiaozhen SUN**  
China Physical AI Leader  
[scottsun@deloitte.com.cn](mailto:scottsun@deloitte.com.cn)



**Sanghamitra Pati**  
US- India , AI & Data Leader  
[spati@deloitte.com](mailto:spati@deloitte.com)



**Swapnil Pandey**  
Global Emerging Markets  
Consultant  
[swappandey@deloitte.com](mailto:swappandey@deloitte.com)



**Dipika Mathur**  
Global Emerging Markets Research  
Analyst  
[dmathur@deloitte.com](mailto:dmathur@deloitte.com)



**Mitra Dwivedi**  
Global Emerging Markets Research  
Analyst  
[midwivedi@deloitte.com](mailto:midwivedi@deloitte.com)



**Nishita Gupta**  
Global Emerging Markets Research  
Analyst  
[nishitagupta@deloitte.com](mailto:nishitagupta@deloitte.com)



**Hiromitsu Negishi**  
Japan Physical AI Leader  
[hnegishi@tohatsu.co.jp](mailto:hnegishi@tohatsu.co.jp)



**Chris Lewin**  
AP Physical AI Leader  
[chrislewin@deloitte.com](mailto:chrislewin@deloitte.com)



**Mahesh Chandramouli**  
US-India Applied AI and Edge AI  
platforms leader  
[mchandramouli@deloitte.com](mailto:mchandramouli@deloitte.com)



**Abrar Hussaini**  
Global Physical AI CoE Lead  
[syehussaini@deloitte.com](mailto:syehussaini@deloitte.com)



**Kunjal Dhakad**  
Global Emerging Markets  
Consultant  
[kudhakad@deloitte.com](mailto:kudhakad@deloitte.com)



**Vignesh Kumar**  
Global Emerging Markets Research  
Analyst  
[vkumarm@deloitte.com](mailto:vkumarm@deloitte.com)



**Jaya Tripathi**  
Global Emerging Markets Research  
Analyst  
[jaytripathi@deloitte.com](mailto:jaytripathi@deloitte.com)



**Tomotake Kozu**  
Japan AI & Data Offering Lead  
[tomotake.kozu@tohatsu.co.jp](mailto:tomotake.kozu@tohatsu.co.jp)

## Europe



**Sam Roddick**  
Global Consulting, Chief  
Strategy Officer  
[sroddick@deloitte.co.uk](mailto:sroddick@deloitte.co.uk)



**Oliver Bendig**  
Germany, Physical AI Leader  
[obendig@deloitte.de](mailto:obendig@deloitte.de)



**Britta Mittelfehldt**  
Germany, Physical AI Leader  
[bmittelfehldt@deloitte.de](mailto:bmittelfehldt@deloitte.de)



**Katja Goettlich**  
Germany, Physical AI  
practice Consultant  
[kgoettlich@deloitte.de](mailto:kgoettlich@deloitte.de)

## North America



**Jian Wei**  
US NVIDIA Alliance Partner  
[jianwei@deloitte.com](mailto:jianwei@deloitte.com)



**Franz Gilbert**  
US Physical AI Ecosystem Leader  
[frgilbert@deloitte.com](mailto:frgilbert@deloitte.com)



**Lisa Hohener**  
US Deloitte AI Institute Lead  
[lhohener@deloitte.com](mailto:lhohener@deloitte.com)



**Kelly Raskovich**  
US Office of the CTO  
[kraskovich@deloitte.com](mailto:kraskovich@deloitte.com)



**Matt Shannon**  
US Human Capital Ecosystem &  
Alliances relationships  
[mashannon@deloitte.com](mailto:mashannon@deloitte.com)



**Rohini Prasad**  
US SCNO Physical AI leader  
[rohprasad@deloitte.com](mailto:rohprasad@deloitte.com)



**Scott Pobiner**  
US AI & Data Engineering Physical AI  
Leader  
[spobiner@deloitte.com](mailto:spobiner@deloitte.com)



**Sonali Ballal**  
Global Emerging Markets leader  
[sballal@deloitte.com](mailto:sballal@deloitte.com)



**Ryan Kaiser**  
US AI SGO Physical AI Leader  
[rykaiser@deloitte.com](mailto:rykaiser@deloitte.com)

### 出典

1. [\[2506.06580\] AI Simulation by Digital Twins: Systematic Survey, Reference Framework, and Mapping to a Standardized Architecture](#)
2. [Physical AI in retail supply chains: From the dashboard to the warehouse floor - Automated Warehouse](#)
3. [AI in manufacturing: Transforming engineering, production and supply chains – Tecnomatix](#)
4. [Robotic bricklayers, the new workmates in construction crews](#)
5. [Managing explanations: how regulators can address AI explainability](#)
6. [Sustainability of public finances in OECD countries | OECD](#)
7. [Guardrails Don't Kill Innovation, They Fuel It in Safety-Critical Sectors – ADAICO](#)
8. [McKinsey study: Potential of automation by sector](#)
9. [Reducing unnecessary lab testing in the ICU with artificial intelligence – PMC](#)
10. [Data center sustainability | Deloitte insights](#)

デロイト トーマツ グループは、日本におけるデロイト アジア パシフィック リミテッドおよびデロイト ネットワークのメンバーである合同会社デロイト トーマツ グループならびにそのグループ法人（有限責任監査法人トーマツ、合同会社デロイト トーマツ、デロイト トーマツ 税理士法人およびDT 弁護士法人を含む）の総称です。デロイト トーマツ グループは、日本で最大級のプロフェッショナルグループのひとつであり、各法人がそれぞれの適用法令に従いプロフェッショナル サービスを提供しています。また、国内30都市以上に2万人超の専門家を擁し、多国籍企業や主要な日本企業をクライアントとしています。詳細はデロイト トーマツ グループ Web サイト、[www.deloitte.com/jp](http://www.deloitte.com/jp)をご覧ください。

Deloitte（デロイト）とは、Deloitte Touche Tohmatsu Limited（“Deloitte Global”）、そのグローバルネットワーク組織を構成するメンバーファームおよびそれらの関係法人（総称して“デロイト ネットワーク”）のひとつまたは複数を指します。Deloitte Globalならびに各メンバーファームおよび関係法人はそれぞれ法的に独立した別個の組織体であり、第三者に関して相互に義務を課しまたは拘束させることはありません。Deloitte Globalおよびその各メンバーファームならびに関係法人は、自らの作為および不作為についてのみ責任を負い、互いに他のファームまたは関係法人の作為および不作為について責任を負うものではありません。Deloitte Globalはクライアントへのサービス提供を行いません。詳細は[www.deloitte.com/jp/about](http://www.deloitte.com/jp/about)をご覧ください。

デロイト アジア パシフィック リミテッドは保証有限責任会社であり、Deloitte Globalのメンバーファームです。デロイト アジア パシフィック リミテッドのメンバーおよびそれらの関係法人は、それぞれ法的に独立した別個の組織体であり、アジア パシフィックにおける100を超える都市（オークランド、バンコク、北京、ベンガルール、ハノイ、香港、ジャカルタ、クアラルンプール、マニラ、メルボルン、ムンバイ、ニューデリー、大阪、ソウル、上海、シンガポール、シドニー、台北、東京を含む）にてサービスを提供しています。

Deloitte（デロイト）は、最先端のプロフェッショナルサービスを、Fortune Global 500®の約9割の企業や多数のプライベート（非公開）企業を含むクライアントに提供しています。デロイトは、資本市場に対する社会的な信頼を高め、クライアントの変革と繁栄を促進することで、計測可能で継続性のある成果をもたらすプロフェッショナルの集団です。デロイトは、創設以来180年の歴史を有し、150を超える国・地域にわたって活動を展開しています。“Making an impact that matters”をパーパス（存在理由）として標榜するデロイトの約46万人の人材の活動の詳細については、[www.deloitte.com](http://www.deloitte.com)をご覧ください。

本資料は皆様への情報提供として一般的な情報を掲載するのみであり、Deloitte Touche Tohmatsu Limited（“Deloitte Global”）、そのグローバルネットワーク組織を構成するメンバーファームおよびそれらの関係法人（総称して“デロイト ネットワーク”）が本資料をもって専門的な助言やサービスを提供するものではありません。皆様の財務または事業に影響を与えるような意思決定または行動をされる前に、適切な専門家にご相談ください。本資料における情報の正確性や完全性に関して、いかなる表明、保証または確約（明示・黙示を問いません）をするものではありません。またDeloitte Global、そのメンバーファーム、関係法人、社員・職員または代理人のいずれも、本資料に依拠した人に関係して直接または間接に発生したいかなる損失および損害に対しても責任を負いません。Deloitte Globalならびに各メンバーファームおよび関係法人はそれぞれ法的に独立した別個の組織体です。



IS/BCMSそれぞれの認証範囲はこちらをご覧ください  
<https://www.bsigroup.com/clicentDirectory>

