

Deloitte.
デロイト トーマツ
Together makes progress

ロボティクスと フィジカルAI

物理世界で動くインテリジェンス



ロボティクスとフィジカルAIで変わる産業・社会

米国北西部にあるAgility Roboticsの工場で、驚くべきことが起きている。この「RoboFab」と呼ばれる最新鋭の施設は世界初のヒューマノイドロボット量産専用工場であり、同社のロボット「Digit」を年間で最大1万台生産する態勢が整えられているのだ¹。命を吹き込まれた特大アクションフィギュアのような、高さ約6フィート（約183cm）の二足歩行ロボットが、人間に近い器用さで倉庫のフロアを移動し、荷物を持ち上げ、人間の作業員とシームレスに共同作業を行うのである。

そして、四足歩行ロボットがある。四本足の動物の動きを真似た、少々不気味だが妙な魅力があるロボットだ。Boston Dynamicsの四足歩行ロボット「Spot」は、製造工場から警察署、沖合の石油掘削現場や建設現場に至るまで、さまざまな業界で導入されている²。

ヒューマノイドや四足歩行ロボットがフィジカルAI界の大スターだとすれば、自律走行搬送ロボット（AMR）、自律走行車やドローンは、各種業界や事業運営で日々の業務を支える裏方だ。

こうしたシステムは着実に驚異的な商業規模に達し、物流、輸送、配送業務、そして世界中のあらゆる分野に変革をもたらしている。

私たちは、業界のリーダーたちがフィジカルAIと呼ぶものの台頭を目の当たりにしている。フィジカルAIとは、かつてないほどに高度な、現実世界で知覚・推論・行動できるインテリジェントマシンだ。かつてSF世界の話であったフィジカルAIは今や現実のものになりつつあることから、人間とマシンが協業する未来、仕事や生産性に関する考え方が世界的に大きく変わっていくことが見て取れる。

人類は今まさに転換点を迎えているわけだが、問題はもはやフィジカルAIが経済と社会を変革するかどうかではなく、その変革がどれほどの速さで、どのように展開されるかだ。

このレポートでは、ロボティクスとフィジカルAIの台頭で産業と社会がどのように変わっていくのかを掘り下げていく。また、この大きな変化の背景にある技術的・経済的要因、労働市場における問題や、人間とマシンが協業する未来に与える大きな影響について解説する。さらに、ビジネスリーダーがこの大きな変化に対する理解を深め、戦略的に行動する際の一助として、**フィジカルAIに関する6つの「P」のフレームワーク**を提示する。このフレームワークは、計画・準備からロボット導入後に至るまで、業界全体に多面的にもたらされる影響や機会を幅広い視点で示したものである。



フィジカルAIの急激な台頭の背景的要因

現在のフィジカルAI革命は、技術の進歩、手頃な価格、労働市場における問題という3つの要因が見事に重なったことで起こった。さまざまな形態のAI（例：コンピュータビジョン、センサーフュージョン、モーションプランニング、大規模言語モデル（LLM））をロボティクスシステムに統合した影響は大きく、ロボットは大規模な再プログラミングを要することなく自然言語コマンドを理解し、新規のタスクに対応できるようになった³。コンピュータビジョンの精度も大幅に向上した⁴。また、高度なシミュレーション環境と、そのようなシミュレーションが生成する高品質の合成データによって、ロボットのパフォーマンスが劇的に向上し、学習サイクル全体が加速したのである⁵。

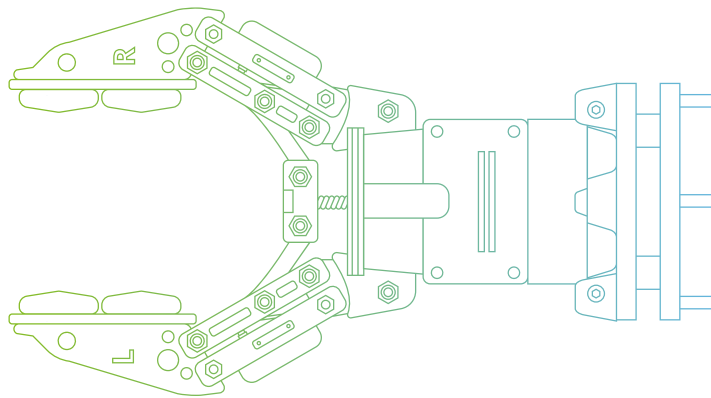
技術の進歩と同様に重要な点は、ロボットとハードウェアコンポーネントが以前よりも手頃な価格になったことであり、これにより経済面からもロボティクスを導入しやすくなった。例えば、ヒューマノイドロボットの製造コストは2023年から2024年の間に40%低下した。その主な要因は、センサー、アクチュエーター、プロセッサなどのコンポーネント価格の低下、選択できるサプライチェーンの増加、そして製造技術の向上である⁶。その結果、Unitree R1 ヒューマノイドロボットを5,900米ドルで購入できるようになった。これは、ヒューマノイドの大衆化や一般家庭への普及に一步近づく価格水準だ。

そして労働市場における問題によっても、ロボティクスや自動化のソリューションに対する需要はこれまでにないほど高くなっている。Conference Boardをはじめとする大手専門機関によると、労働力の需要は供給を上回っており、その差は拡大の一途をたどっているという⁷。米国経済だけでも、現在の供給と需要の水準を維持するためには、年間460万人の労働力がさらに必要な状態である。

製造業は、人材（特に、高度な職務の人材）を惹きつけて定着させることが難しい、技術の進歩によって必要なスキルと既存人材のスキルが乖離してしまう、高齢化や移民構成の変化によって製造業における従来の労働人口が影響を受けている、といった特有の課題に直面している⁸。

数字からも、市場の準備が確実に整っていることが見て取れる。世界のロボティクス産業は大幅な成長を遂げており、産業用およびサービス用途における従来型ロボットとAI搭載ロボットの市場は、2033年までに3,920億米ドルを超えると予測されている⁹。世界的には、ヒューマノイドの潜在市場規模（TAM）は、2035年までに380億米ドルに達すると予測されている¹⁰。

投資パターンにも、ロボティクス産業の商業的ポテンシャルに寄せられる信頼の高まりが反映されている。2024年、ロボティクスのスタートアップはシード期から成長期の投資において70億米ドル以上を調達した¹¹。適応と学習が可能なフィジカルAIシステムへの一層の移行を反映して、AI搭載ロボティクスへの投資が急増している¹²。



ロボティクスとフィジカルAIに関する基礎知識

ロボットは何年も前から存在しており、製造業や倉庫業などで企業の能力を向上させてきた。人間と一緒に働くことで、効率的に作業をこなし、新たな可能性を切り拓いてきたのである。しかしながら、このような初期世代のロボットはあらかじめ業務内容が決められており、環境の変化や予期せぬ出来事に適応できない。そこでフィジカルAIの登場である。

複数のテクノロジーから構成されるフィジカルAIを搭載したマシンは周囲の状況の認識やリアルタイムの情報処理が可能で、あらかじめ定められた業務を超えてインテリジェントな意思決定を行ったり、単に作業を完了させるだけでなく目標を達成するための行動を取ったりすることができる。

生成AIと対を成すフィジカルAIとは、物理環境内でマシンが自律的に相互作用を行い、解釈し、意思決定を行うことを可能にするインテリジェントなシステムのことである。多くの場合リアルタイムでこのような行動を取り、現実世界のフィードバックループを介して学習する。フィジカルAIを、物理環境を操作するための機械的な能力であ

るロボティクスと組み合わせることで、人間の監督の下で物理作業に対する自動化と自律性を実現できる、インテリジェントマシンとなる。

フィジカルAIのシステムと従来のロボットの根本的な違いは、インテリジェンスアーキテクチャにある。ピックアンドプレースロボット、無人搬送車 (AGV)、SCADAシステムといった従来のマシンは、事前にプログラム設定した人間の指示により、ルールに基づいてタスクを自動処理する。一方、多くのフィジカルAIシステムは、視覚情報の処理、言語コマンドの理解、物理的な行動計画の策定を実行できる、VLA (Vision-Language-Action) モデルと呼ばれるニューラルネットワークを使用して学習している¹³。

ロボット、ドローン、自動運転車などのマシンは、空間関係、重力・摩擦などの物理力学、幾何学的原理をシミュレーション環境での強化学習によって理解するほか、高度な運動スキルを習得し、新しい状況に適応することもできる。知覚し、推論し、行動することができるマシンとはすなわち、意味のある形で周囲の環境と相互作用できるマシンということである¹⁴。

ロボティクスと フィジカルAIとは

ロボティクス

物理環境での操作に使用される、
機械的能力



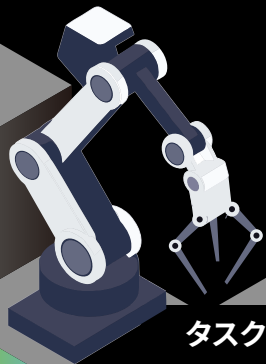
フィジカルAI

物理環境内でマシンが自律的に相互作用し、
解釈し、意思決定を行うことを可能にする
インテリジェントなシステム。多くの場合リアル
タイムでこのような行動を取り、現実世界の
フィードバックループを介して学習する



物理作業に対する自動化と
完全な自律性を実現できる、
インテリジェントなマシン

ロボティクスとフィジカルAIにおける6つの主なフォームファクター

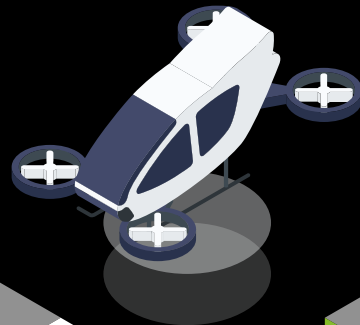


タスク特化型

特定の目的のために設計されたロボットで、与えられたタスクを人間が行うよりも効果的・効率的に達成する

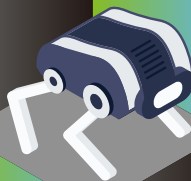
ヒューマノイド

人間に似た外見・機能を持つように設計されたロボットで、人間の作業を補完できる



ドローン

配送、観察や安全確保のために自律的に観察や決定を行い、行動することができる空中ロボット



四足歩行ロボット

ヒューマノイドの形状が不要な、またはその形状では実行できないタスクを行うように設計された、四足歩行のロボット

自律走行車

道路を走行して人や物を運ぶことができる自動運転車



汎用的なナビゲーション、観察、荷物のハンドリングや配送のために設計された、自律走行搬送ロボット

AMR



※上記の他に、ソフトロボット、外骨格ロボット、ナノロボット、水中ロボット、群ロボットなどがある。

フィジカルAIに関する6つの「P」のフレームワーク： 複雑な市場に対する幅広いアプローチ

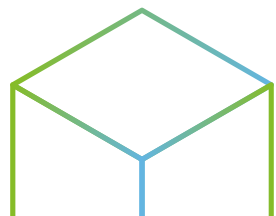
ロボティクスとフィジカルAIの融合は、かつてない機会とリスクを生み出しており、その過程で新たなユースケースやビジネスモデルが展開されている。この市場はさまざまなテクノロジー、フォームファクターやサービスから多面的に構成されており、凄まじい勢いで世界中に拡大されつつある。しかし、このあまりにも急激な成長は背後にある複雑さを把握しにくくしている。したがってロボティクスの導入を単なるテクノロジー実装の1つとして扱うと、事業運営や業務に深刻な混乱を招いてしまう危険性がある。

現在のこのような状況にうまく対応していくには、個々のテクノロジー、フォームファクターや要素に焦点を絞るのではなく、業界全体を広い視野で把握することが推奨される。広範にかつ一貫性のある方法で適切に対応しなければ、フィジカルAIで期待できる変革的価値を享受できないかもしれない。

デロイトが設計した6つの「P」のフレームワークでは、ビジネスリーダーやテクノロジーリーダーが、市場を一変させるようなロボティクスとフィジカルAIの潜在力を理解、活用しながら、急速な変化を遂げている市場に内在する複雑さや不確実性にも対処できるよう、体系的なアプローチを示している。

ロボティクス・フィジカルAI市場の理解の一助となるフィジカルAIに関する6つの「P」のフレームワーク（次のページを参照）では、6つの市場対応能力を鍵としている。この市場対応能力には人間が主導するもの、マシンが主導するもの、そして人間とマシンの両方が共同で主導するものがある。

フィジカルAIに関する6つの「P」のフレームワークは、本レポートの理解にも役立つ。立ち戻って参照することにより、ロボティクスとフィジカルAIというパズルのピースがどのように組み合わせられて全体が形成されているのかを理解することができる。



PREPARE (準備)

ロボティクスやフィジカルAIの大規模な導入に先立って、組織は職場においてロボットが事業や人的資本にもたらす影響に対策を講じ、材料の選択、データアーキテクチャ、空間コンピューティング、サイバーセキュリティについて意思決定を行っておく必要がある。組織によっては、ロボットの製造、組み立て、テストを行う専用施設の設立も必要となる場合がある。

PERCEIVE (知覚)

視覚、聴覚、触覚など、ロボティクスシステムが環境データを取り込むために連携するテクノロジー群。

PROCESS (プロセス)

マシンが知覚したデータを理解し、リアルタイムで意思決定につなげる能力。

PERFORM (実行)

フィジカルAIにおけるテクノロジー、フォームファクターや各要素には、周囲と相互作用するという物理的構成がある。

PROCEED (続行)

ロボティクスシステムの導入、管理、保守、成果測定に関連するサービスにより、大規模な効果的運用が可能になる。

POTENTIAL (ポテンシャル)

インテリジェントで自律的なフィジカルシステムは、職場や家庭、都市全体の日常的な運営、さらにはグローバル経済まで、社会のさまざまな部分を再形成する可能性を秘めている。このような新しいテクノロジーには、新しい規制とビジネスモデルも必要である。

フィジカルAIに関する6つの「P」のフレームワーク



ロボティクスとフィジカルAIが持つ 6つの機能の紹介

各業界でロボティクスやフィジカルAIの試験的統合が行われる中で、さまざまな機能やユースケースが登場してきた。どのようなものがあるのか、以下で詳しく見ていこう。

構築

さまざまな業界で、物理的な物品の製造、組み立てや建設にロボティクスとフィジカルAIが使用されている。製造業や建設業には、共同作業ロボットによって反復作業を自動化することで、より効率的かつスピーディに、高いコスト効率で物を作り出し、労働力不足にも対応できるという大きな好機が訪れている。建設業界における労働力増強について、Built Roboticsという企業を例に挙げる。同社の主力製品は自律型ブルドーザーだ。建設現場で土や瓦礫の移動プロセスが自動化されており、ブルドーザーのオペレーターを必要としないため、人間はプロジェクト現場でより戦略的なタスクや困難な作業に注力できるようになる。建設業界においてフィジカルAIがもたらす成功事例はほかにも多数ある¹⁵。

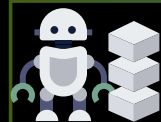
建設業界では、安全性の強化や工期の短縮、コストの削減、そして精度向上を図るために、マシンによって建設作業が自動化されている。建設業は危険な仕事であり、人間の代わりにロボットが危険作業を行うことは、重要でメリットのある手法である。建設業界のスタートアップであるAutomated Architectureは建築現場で使用できる「ロボット型マイクロファクトリー」のサービスを提供している。床、壁や屋根のための木枠パネルが完備されており、付属のロボットが現場でこれらを組み立てるというものである。ロボットには画像認識機能があり、木枠パネルの釘打ち、持ち上げ、カスタマイズを行うことができる。同社によると、このロボットは人間の5倍の速さで作業を行うことが可能で、人件費を30%、サプライチェーン・物流・輸送のコストを80%削減できるという¹⁶。

ロボティクスと フィジカルAIの 6つの機能



構築

物理的な物品の製造、組み立てや建設にロボティクスを使用する



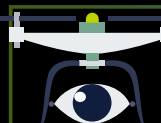
ハンドリング

ロボティクスが物を操り、仕分けや収集、掃除を行い、道具を使用して、物理的な世界と相互作用する



輸送

人と物の移動・運搬にロボティクスを使用する



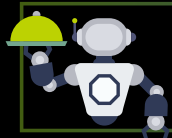
観察

エリアの観察、調査や表示にロボティクスを使用する



保護

危険な状況に対する物理的な保護・防御のためにロボティクスを使用する



相互作用

人との相互作用をサポートするためにロボティクスを使用する

ハンドリング

AIを搭載したロボットは物理的な世界との相互作用が可能だ。物品の操作、仕分け、収集や掃除を行ったり、従来は人間の器用さを必要とする精密な手作業のタスクを実行することができる。

医療業界では20年以上もの間、手術室での主力ツールとしてロボットが使用されてきたが、通常は外科医がコンソールの後ろに座って操作を行っている。フィジカルAIと従来のツールの統合により、この分野に変革が起ころうとしている。2024年、研究者たちは、機械学習と模倣学習を組み合わせた手術ビデオを使って手術ロボットにトレーニングを実施し、3つの基本的な処置を人間の外科医と同じくらい巧みに行えるようにした¹⁷。さらに最近では、別の手術ロボットに対しても胆嚢摘出のトレーニングが行われたが、今日では世界中でこのような手術ロボットが積極的に使用されている¹⁸。結果として人間とマシンの適切な協業によるロボティクス手術が、患者の予後改善や医療機関に対する信頼の向上へとつながっている。

また、スマート倉庫業務では、自動化システムとピッキングアンドブレースロボットによってコスト削減、精度向上、フルフィルメントプロセスの高速化が実現できるため、合理的に在庫管理を行えるようになる。ヒューマノイドロボットは倉庫の棚から棚へ荷物を運ぶことができ、清掃ロボットは施設維持の一助となる。例えば、サプライチェーンソ

リュージョンのプロバイダーであるManhattan Associatesは、多数のベンダーと提携して、倉庫管理ソリューション（WMS）に自律型保管検索システム（ASRS）、AMR、さらにはヒューマノイドロボット群の統合を行っている¹⁹。

輸送

ロボティクスシステムは、空港への配車サービスを提供する自律走行車から、レストランの料理を郊外の住宅に届けるドローンまで、さまざまな環境で人や物を効率的に移動させ、届けることに長けている。

輸送は、ロボティクスの導入が急速に進んでいる、最も顕著なユースケースの1つだ。特に目を引く例を挙げると、Waymoは2025年5月に有料乗車1,000万回を達成した²⁰。また関連業界では近頃、Aurora Innovationが公道での大型トラックの商用自動運転を初めて開始した企業として、ダラスとヒューストン間で定期的な配送サービスを行っている。一方、Amazon Prime Airは空に進出しており、小さな茶色の箱を玄関先に短時間で空輸するサービスを行っている。またWalmartもドローン配送サービスの拡充中であり²¹、その他の企業も、ロボットやドローンを使った陸路や空路での食品配送サービスの拡大を図っている²²。

こうした自動運転による輸送ソリューションは、対象が人であれ物であれ、驚くべき速さで普及しつつある。運転者のいない自動車に初めて遭遇したときは衝撃的かもしれないが、やがて見慣れた日常の光景になるだろう。

観察

ドローンなどのロボティクスのプラットフォームをセンサーネットワークと組み合わせることで、困難な環境でもデータ分析、意思決定や異常検出が可能になる。これにより組織の事業運営や業務に対するモニタリング、調査、リアルタイムでの情報収集の方法も変化していく。

高度なカメラとセンサーシステムを備えたAI搭載ドローンを橋の構造や路面の検査に使用することで、時間とコストを節約し、危険な状況での人間による検査を最小限に抑えることができる²³。前世代のカメラ搭載ドローンとは異なり、こういったフィジカルAI搭載ドローンは、視覚情報の処理、次の飛行経路の決定のほか、絶えず変わる環境や予測不可能な状況に応じたリアルタイムでの行動が可能である。バーコードやQRコードのスキャナを追加すれば、倉庫での在庫管理にも使用できるようになる²⁴。データセンターでは、自律型ロボットが温度の追跡、機器のモニタリング、施設の検査といった反復的な観察タスクを処理することで、人間の作業者をサポートできる²⁵。

別の例として、米国の内務省は長年ドローンを使って山火事の延焼を監視してきたが、フィジカルAIの進歩により、ドローンに消火薬剤を搭載し、延焼状況のリアルタイムの情報処理に基づいて自発的に消火薬剤を散布するよう、許可を与えられることになるかもしれない。

保護

保護に特化したロボティクスアプリケーションには、潜在的な脅威に対して公共エリアの安全性を確保しつつ、物理的な保護とセキュリティのサービスを提供するものなどがある。このようなアプリケーションを活用することでセキュリティに関する懸念の高まりに対処できる。また、人的制約なしに継続的に運用できる、一貫性のある信頼性の高い保護サービスに対する需要の増加にも対応できる。

KnightscopeのAMRであるK5ロボットは、企業の敷地や大学のキャンパス、公共スペースを巡回し、危険な活動の監視、報告、阻止を行う²⁶。K5は遠隔で監視と制御ができる完全自律型のパトロールロボットであり、その物理的な存在感がもたらす、不審者に対する抑止力はセキュリティカメラ以上である。

市場機会は公共の安全関連と民間のセキュリティ関連の両分野にあり、ロボットは緊急時の対応や重要インフラの

監視を行うことができる。周囲をパトロールするドローンから、建物のセキュリティや緊急対応のシステムとしての役割を担うAMR・ヒューマノイドロボットまで、あらゆるロボティクスアプリケーションを活用できる。

相互作用

顧客サービス、高齢者介護支援、教育支援などにロボットを応用し、人間が持つソフトスキルで人間をサポートすることができる。

例えば、フロリダ州パットナム郡の学区では、親しみやすく魅力的な顔と目を持つ子供サイズの対話型ヒューマノイドロボットを学校に導入している。カメラ、タッチスクリーン、高度なAI機能を備えており、会話と感情認識を通じて生徒と自然に対話することができる²⁷。

高齢者介護施設においてはロボットが主力になるかもしれない。ロボットが移動支援、身の回りの世話や服薬管理を行い、入居者に寄り添うことで、人間の介護スタッフのサポートや有効性の向上を図ることができる。また、入居者との結びつきを深め、より良いケア時間を提供できるようになる。



フィジカルAIの導入と統合に 影響を及ぼす要因

フィジカルAIがかつてないほどの機会をもたらすとはいえ、ロボティクスやフィジカルAIの広範な導入や、既存のエンタープライズワークフローへの統合が確定しているわけではない。商業的な実現可能性は、さまざまな重要要因に影響されるからだ。重要要因には、労働力の準備度と育成、テクノロジーの準備度と成熟度、職場と公共の安全性、規制上のギャップ、サイバーセキュリティの脆弱性などがある。

労働力の準備度と育成

明確な労働計画がなければ、ロボティクスとフィジカルAIの進歩によって、仕事に関する疑問や労働組合の反発を招く結果となりかねない。認知タスクを拡張する生成AIとは異なり、フィジカルAIは一部の手作業を置き換えるものだ。デロイトのWorkforce Analyzerツールでは完全にロボットに置き換えられる職務はないと示されているが、組織は人間とロボットが協業する未来を見据えて、職務の再設計を検討していかなければならないだろう。

物理的な反復作業を伴う職務が最も顕著な影響を受けると考えられるが、事前に計画を立てておくことで、導入後の厳しい質問や会話を和らげる効果が期待できる。一部の情報筋の推定によると、米国では今後10年間でAI

搭載ロボットは数千万もの仕事を支援する一方で、より高いレベルのスキルが必要な仕事も新たに創出されていくという。純雇用予測は楽観的だが、ロボティクスやフィジカルAIへの移行は労働者にとって厳しいものになる可能性がある²⁸。フィジカルAIによってもたらされる変化は、労働力計画に関する決定に急速に影響を与えるだろう。この移行に対応し、労働者の懸念を緩和し、そして経済的なレジリエンスを維持していくためには、労働力育成、スキルアップや適応性がますます必要となっていくと考えられる。

しかしながら、ロボットの大量導入で労働力の大半が代替される可能性は低い。むしろロボットに任せるタスクが増加すれば、人間が監督するタスクも増加することになるだろう。今日の仕事の多くが「人間とコンピュータ」の協業によってのみ可能であるのと同様に、今後の仕事は「人間のみ」が行うものではなく「人間とロボット」が協業していくものになるかもしれない。

テクノロジーの準備度と成熟度

大手製造企業の経営幹部を対象にデロイトが最近実施した調査では、平均テクノロジー成熟度（自己評価ベース）の結果から、企業がテクノロジー、データおよび自動化に関する業界標準を満たしているものの、それを上回る水準には達しておらず、テクノロジーの準備度に対する目標が達成されていない、ということが示された²⁹。

イノベーションを偏重する企業は、現在のトップ人材や将来的に有望な人材を引き付けるために、目先のテクノロジーに対する投資や革新を優先する傾向が強い。一方でテクノロジー革新への投資に踏み切らない企業は、トップ人材プールへのアクセスや、目標とするテクノロジー準備度の達成において、いつの間にか後手に回ってしまう恐れがある。

職場と公共の安全性

デジタル環境内で動作するソフトウェアベースのAIシステムとは異なり、人間とロボットの協業においては、身体的安全性は依然として重要な懸念事項である。

ロボットによる現実世界との相互作用においては、危害、財産への損害や、職場でのけがを引き起こした場合の責任を検討する必要がある。安全戦略を立てる際には複数のアプローチを組み合わせることが適切であり、その中には、規制当局・標準化機関に対する遵守、必須のリスク評価、継続的なモニタリングとトレーニング、組織の方針、物理的な安全対策、先端テクノロジー、包括的なトレーニング、強固な安全文化などがある³⁰。

トレーニングやアクセス制御によって強制的に安全プロトコルを展開できる職場環境とは異なり、公共の場では、トレーニングを受けていない一般市民を危険にさらすことなく、予測不可能な人間の行動やインフラの変化、緊急事態に対処できるような自律システムが必要だ。運用効率よりも人間の安全を優先するフェイルセーフ設計や、市民の安全を守るための新たな枠組みがあってこそ、公共の場でドローンや自律走行車などのAI搭載マシンを活用できる。

規制上のギャップ

歴史的に見て、テクノロジーが進歩するペースと規制が変更されるペースは必ずしも完全に一致しているわけではない。さらに、すべての法域が同じ方法でテクノロジーを規制しているわけではない。自律型ロボット、ドローンや自律走行車などのAI搭載ロボティクスシステムにおいては、まだ規制が統一されていないのが現状である。従来の規制や法律は予測可能なマシンのために設計されたものであり、部分的には自律型のマシンにも適用できる一方で、規制上のグレーゾーンが生まれる可能性もある。

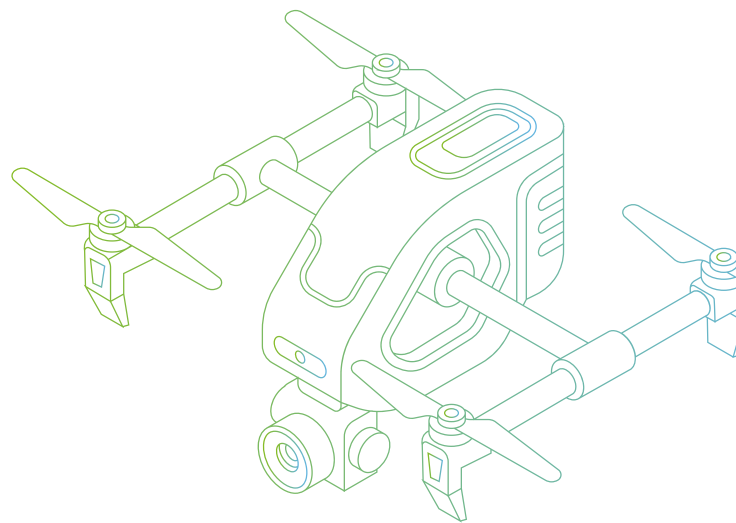
加えて、このような自律型のマシンはある法域から別の法域へ移動させることができるため、法域間の規制の不一致が運用基準の不整合を引き起こす可能性がある。

つまり、必要な枠組みが確立されるよりも早く革新的なテクノロジーの導入が進んでしまう状況の中で、企業は変わり続けるコンプライアンス環境にうまく対応していかなければならないのである。規制に関するこのような不確実性は、イノベーションに影響を与え、安全上の懸念を引き起こしてしまう可能性がある。

サイバーセキュリティの脆弱性

ロボティクスシステムのコネクテッド化が進むにつれて、製造業をはじめ、さまざまな業界が高まるサイバーセキュリティの脅威に直面している。このような新しいシステムはデータを生成し利用するため、警戒を怠らずにサイバーセキュリティの評価と準備を行っていく必要がある。リスクは非常に高く、ある調査によると、2024年には製造業の80%がセキュリティインシデントを経験したが、サイバーセキュリティ対策に十分な準備ができているのはわずか45%にとどまっている³¹。

従来のITセキュリティの枠組みは、デジタル世界と物理世界の橋渡しをするロボットには不十分である。この分野に取り組む組織は、新たな脅威や、サイバーフィジカルシステム向けに特別に設計されたツールや技術を、コンテキストベースで可視化し、リアルタイムに把握していかなければならないだろう³²。



終わりに

これまで述べてきたとおり、ロボティクスとフィジカルAIによってかつてないほどさまざまな機会がもたらされるが、そこには特有の課題もある。革新的なユースケースやビジネスモデルが実現できる一方で、その急激な成長によって社会、経済や文化が激変する可能性もある。また技術、行政、法律、そして安全性の面でも多くの懸念があり、先行きは不透明だ。

テクノロジーとは、人間の作業を補い、人間による作業の効果を高めながら新たな可能性を切り拓く新しいツールであるといえる。他の分野に比べてロボティクスやフィジカルAIはSFから発想を多く得ているが、テクノロジーが人間による作業の効果を高めるツールであるという大前提は他の分野と変わらず同じである。

この不確実な未来を切り拓いていくには、テクノロジー面での能力以上のものが求められる。すなわち、社会、規制、政治、サイバーセキュリティが収束していくこの潮流を、きめ細やかに理解していくことが必要となる。

技術的・組織的な準備、労働力への影響、法規制の枠組み、経済的な実現可能性、そして倫理的な考慮事項など多くの事柄に対処しなければ、フィジカルAIで期待できる変革的価値を享受できないかもしれない。

組織の将来はハードウェアとソフトウェアの革新だけで決まるものではなく、リスクと機会の複雑な絡み合いを予測し、それに適応しようとする意欲が重要である。強靱で信頼性の高いシステムを構築するためには、強固なガバナンス構造の醸成、分野横断的な協力の促進、広範な教育・トレーニングへの投資が不可欠である。フィジカルAIに関する6つの「P」のフレームワークに基づいた積極的なアプローチは、組織がロボティクスとフィジカルAIの大きな可能性を捉え、テクノロジーと人類が共に前進する未来を形作るのに役立つだろう。



Connect with our Robotics & Physical AI Leaders



Bill Briggs
US Chief Technology Officer
Deloitte Consulting LLP
wbriggs@deloitte.com



Tim Gaus
Smart Manufacturing and
Operations Business Leader
Deloitte Consulting LLP
tgaus@deloitte.com



Jim Rowan
Head of AI
Deloitte Consulting LLP
jimrowan@deloitte.com



Franz Gilbert
Global Growth Leader, Human
Capital Strategy and Innovation
Deloitte Consulting LLP
frgilbert@deloitte.com

Robotics & Physical AI Report Authors



Mark Osis
Robotics Lead,
Office of the CTO



Raquel Buscaino
Novel and Exponential
Technologies (NExT) Leader



Caroline Brown
Writer and Thought Leader
Office of the CTO



Acknowledgments

Nancy Albinson, Mahesh Chandramouli, Pratyush Dash, Brett Davis, Anna Filochowska, Rana Ghosh, Tomer Gal, Ryan Kaiser, Makarand Kukade, Heidi Morrow, Sydney Nagorsky, Suvendu Nayak, Rishi Pania, Meghna Panwar, Georgia Parris, Scott Pobiner, Kelly Raskovich, Kate Schmidt, Matthew Shannon, Udisha Sinha, Ariel Spektor, Ashley Tran, Julie Vukmer

Endnotes

1. Agility Robotics [homepage](#), accessed September 2025.
2. Boston Dynamics, *"A Retrospective on Uses of Boston Dynamics' Spot Robot,"* accessed September 2025.
3. NVIDIA, *"NVIDIA Announces Isaac GR00T N1 — the World's First Open Humanoid Robot Foundation Model — and Simulation Frameworks to Speed Robot Development,"* press release, March 18, 2025.
4. Dave Gershgorn, *"The data that transformed AI research—and possibly the world,"* Quartz, July 20, 2022.
5. Robot Report, *"Soft Robotics mGripAI uses simulation to train in NVIDIA Isaac Sim,"* January 19, 2023; Connor Smith and Peter Du, *"Building a Synthetic Motion Generation Pipeline for Humanoid Robot Learning,"* NVIDIA Developer, March 18, 2025.
6. Goldman Sachs, *"The global market for humanoid robots could reach \$38 billion by 2035,"* February 27, 2024.
7. The Conference Board, Inc., *"Responding to US Labor Shortages,"* October 7, 2025.
8. Quickbase, *"Understanding the Manufacturing Labor Shortage and How To Address It,"* August 2, 2024.
9. Market Data Forecast, *"Robotics Market,"* April 2025.
10. SkyQuest, *"Humanoid Robot Market Size, Share, and Growth Analysis,"* June 2025.
11. Joanna Glasner, *"The Year Of Humanoid Robots,"* Crunchbase, December 30, 2024.
12. Jacob Robbins, *"AI boom sparks investor frenzy for robotics startups,"* Pitchbook, February 19, 2025.
13. James O'Donnell, *"What's next for robots,"* MIT Technology Review, January 23, 2025; NVIDIA Glossary, *"What is Physical AI?,"* accessed September 2025; Carolina Parada, *"Gemini Robotics brings AI into the physical world,"* Google DeepMind, March 12, 2025.
14. Pranjali Joshi, *"Into the Omniverse: OpenUSD Workflows Advance Physical AI for Robotics, Autonomous Vehicles,"* NVIDIA Blog, January 22, 2025.
15. Built Robotics, *"About: Robots that Build the World,"* accessed September 2025.
16. Quinn Purcell, *"Automated Architecture uses robotic micro-factories to build homes,"* Building Design+Construction, January 8, 2025.
17. Jill Rosen, *"Robot that watched surgery videos performs with skill of human doctor,"* Johns Hopkins University Hub, November 11, 2024.
18. Jill Rosen, *"Robot Performs First Realistic Surgery Without Human Help,"* Johns Hopkins Whiting School of Engineering, July 11, 2025.
19. Steve Crowe, *"Agility Robotics partners with leading WMS provider, cuts staff,"* The Robot Report, April 4, 2024.
20. CNBC, *"Waymo CEO Takeda Mawakana earns \$10 million,"* May 20, 2025.
21. Business Wire, *"Aurora Begins Commercial Driverless Trucking in Texas, Ushering in a New Era of Freight,"* May 1, 2025.
22. Daniella Genovesi, *"Walmart expands drone delivery to 3 more states in race against Amazon,"* FOXBusiness, June 6, 2025.
23. Dr. Hovannes Kulhandjian, *"AI-Based Bridge and Road Inspection Framework Using Drones,"* Mineta Transportation Institute, November 2023.
24. Alfredo Pastor Tella, *"Are Warehouse Drones the solution for Inventory Management?,"* AGV Network, accessed September 2025.
25. Beccy, *"Are Robots The Future Of The Data Center Workforce?,"* Nowva Data Centers, October 5, 2022.
26. Knightscope, *"The K5 ASR,"* accessed September 2025.
27. Putnam County School District, *"Pepper the Robot to Inspire the Next Generation of Innovators,"* April 8, 2025.
28. World Economic Forum, *"Future of Jobs Report 2025: 78 Million New Job Opportunities by 2030 but Urgent Upskilling Needed to Prepare Workforces,"* January 7, 2025.
29. Tim Gaus and Michael Schlotterbeck, *"2025 Smart Manufacturing and Operations Survey: Navigating challenges to implementation,"* Deloitte Insights, May 1, 2025.
30. Standard Bots, *"Industrial robot safety standards: What you need to know,"* April 23, 2025.
31. News Desk, *"80% of manufacturing firms experienced cyber attack last year,"* IoT Insider, February 24, 2025.
32. C2A Security, *"The Importance of Cybersecurity in Industrial Robotics: Protecting the Smart Manufacturing Floor,"* May 8, 2025.

Deloitte.

デロイト トーマツ

Together makes progress

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 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（オーストラリア、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”をバース（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 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。

Member of
Deloitte Touche Tohmatsu Limited

© 2026. For information, contact Deloitte Tohmatsu Group.



IS 669126 / ISO 27001



BCMS 764479 / ISO 22301

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