

2025年 世界ロボティクス・フィジカルAI戦略レポート: 身体性を獲得した知能がもたらす産業革命と地政学的転換

Gemini 3 pro

1. エグゼクティブサマリー: デジタルからフィジカルへの不可逆的な転換

2025年は、人工知能(AI)とロボティクスの歴史において、特異点(シンギュラリティ)の前段階として記憶される年となるだろう。生成AIの登場以降、デジタル空間における情報処理能力は飛躍的に向上したが、2025年後半に至り、その知能がついに「身体」を獲得し、物理世界(Physical World)への直接的な介入能力を持つに至った。これが「フィジカルAI(Physical AI)」の台頭である。

本レポートは、2025年12月に東京で開催された国際ロボット展(iREX 2025)での現地調査、および最新の学術論文、産業界の動向、地政学的データを包括的に分析したものである。調査の結果、従来の「プログラムによる自動化」から「AIによる自律的な認知・判断・行動」へのパラダイムシフトが、予想を上回る速度で進行していることが明らかになった。

特筆すべきは、以下の3つのメガトレンドである。

1. 「脳」の汎用化と標準化: NVIDIAの「Project GROOT」やGoogle DeepMindの「Gemini Robotics」、そしてSkild AIやPhysical Intelligenceといった新興企業の台頭により、ロボットの制御ソフトウェアが、特定のハードウェアに依存しない「汎用ロボット脳(General-Purpose Robot Brain)」へと進化している。これにより、VLA(Vision-Language-Action)モデルを介して、自然言語による指示から複雑な物理動作を生成することが可能となった。
2. ハードウェアのコモディティ化と中国の覇権: 中国のロボット産業は、電気自動車(EV)で培ったサプライチェーンと、「新質生産力」政策による強力な政府支援を背景に、ヒューマノイドロボットの量産化と低価格化を実現した。Unitree Roboticsの「G1」やFourier Intelligenceの「GR-2」は、かつて数千万円したヒューマノイドを、数百万円、あるいはそれ以下の価格帯へと押し下げ、「iPhoneモーメント」に近い市場の爆発を引き起こしつつある。
3. **Sim-to-Real**の完成と産業実装: シミュレーション空間で学習した能力を現実世界に適用する「Sim-to-Real」技術が実用域に達した。iREX 2025では、安川電機やファナックといった日本の産業用ロボットの巨人が、NVIDIAのデジタルツイン環境を活用し、ティーチングレス(教示不要)での柔軟な物体操作を実演した。これは、多品種少量生産や非定型業務(物流、サービス、家庭)におけるロボット導入の障壁を劇的に下げるものである。

本稿では、これらのトレンドを技術的、産業的、そして地政学的な視点から深掘りし、2030年に向けたロボティクス産業の未来地図を描き出す。

2. フィジカルAIの技術的基盤：VLAモデルと世界モデルの融合

フィジカルAIとは、単にAIを搭載したロボットではない。それは、センサーからの入力を通じて物理世界を「理解」し、自身の行動が環境に及ぼす影響を「予測」し、目的を達成するための最適解を「生成」するシステムである。この実現には、複数の最先端技術の融合が不可欠であった。

2.1 VLA (Vision-Language-Action) モデルの革新

従来、ロボットの制御は「認識 (Perception)」「計画 (Planning)」「制御 (Control)」という個別のモジュールを積み上げることで行われてきた。しかし、このアプローチでは、各モジュール間の接続部分で情報ロスが発生し、未知の状況への適応力が低かった。

2025年に主流となったVLAモデルは、この構造を根本から覆した。VLAは、大規模言語モデル (LLM) のトランスフォーマーアーキテクチャを拡張し、画像や映像 (Vision) と言語 (Language) を入力トークンとして受け取り、ロボットのアームや脚の動き (Action) を直接トークンとして出力する。

- 意味論的理解と物理動作の結合: 例えば、「乾いた青いスポンジで机の汚れを拭いて」という指示に対し、VLAモデルは「青いスポンジ」を視覚的に特定し、「乾いた」状態を理解し、「拭く」という動作の軌道を生成する。GoogleのGemini Roboticsや、NVIDIAのGR00Tは、インターネット上の膨大な動画データと、シミュレーションおよび実機データから学習することで、この能力を獲得している。
- 汎化能力 (Generalization): 特筆すべきは、学習していない物体や環境に対する適応力である。Atribot S1やTesla Optimusのデモに見られるように、未知の形状の野菜を調理したり、初めて見る配置の食器を片付けたりする能力は、VLAモデルが物理的な「概念」を学習していることを示唆している。

2.2 世界モデル (World Model) による未来予測

フィジカルAIのもう一つの柱が「世界モデル」である。これは、自動運転の分野で発展した技術であり、ロボットが脳内に物理世界のシミュレーターを持つことに等しい。

- 因果律の理解: 世界モデルを持つロボットは、「このグラスを強く握りすぎると割れる」「この床は滑りやすいので重心を低くすべきだ」といった、行動の結果 (未来) を予測できる。Skild AIやPhysical Intelligence (PI) といった企業は、動画生成AIの技術を応用し、ロボットの視点映像から数秒後の未来を生成・予測させることで、失敗を未然に防ぐ制御を実現している。
- 長期タスクの計画: 従来のAIは「コップを掴む」といった短期的な動作生成は得意だったが、「部屋を片付ける」といった長期的かつ多段階のタスクは苦手であった。世界モデルとLLMの推論能力を組み合わせることで、ロボットは数分から数時間に及ぶ作業手順を自律的に計画し、途中で状況が変わっても (例: 片付けている途中で子供が散らかした)、計画を修正して遂行することが可能になりつつある。

2.3 Sim-to-Realとデジタルツインの成熟

AIに物理世界を教えるには膨大なデータが必要だが、実機ロボットを何万時間も動かしてデータを収集するのはコストと時間の面で不可能に近い。そこで重要となるのが、仮想空間での学習（Simulation）を現実（Real）に転用するSim-to-Real技術である。

- **ドメインランダム化:** シミュレーション内の照明、テクスチャ、摩擦係数、重力などをランダムに変動させて学習させることで、AIはシミュレーションと現実の「差異」に惑わされないロバスト性（頑健性）を獲得する。
- **iREX 2025での実証:** NVIDIA Isaac SimやOmniverseを採用した展示が急増した。安川電機やファナックは、デジタルツイン上でロボットアームの干渉チェックやサイクルタイムの最適化を完了させ、実機へのデプロイを瞬時に行うワークフローを確立している。これにより、ライン立ち上げまでの期間が数ヶ月から数日へと短縮される革命が起きている。

3. ロボットの「脳」を巡るプラットフォームの覇権争い

PCにおけるWindows、スマートフォンにおけるAndroidのように、ロボット産業においても「OS（基本ソフト）」、すなわち「汎用ロボット脳」の座を巡る激しい競争が繰り広げられている。この勝者が、次世代の産業基盤を支配することになる。

3.1 NVIDIA: エコシステムの絶対王者

NVIDIAは、AIチップ（GPU）の供給にとどまらず、ロボット開発の全工程を支配するプラットフォーム戦略を展開している。

構成要素	詳細分析
Project GROOT	人型ロボット向けの基盤モデル。マルチモーダルな入力を理解し、自然言語による指示で動作を生成する。このモデルは「デュアルシステム」アーキテクチャを採用しており、論理的思考を行うSystem 2（VLM）と、反射的運動生成を行うSystem 1（Diffusion Transformer）が協調して動作する。
Jetson Thor	次世代ロボティクス用SoC。Blackwellアーキテクチャを採用し、800 TFLOPSのAI演算性能を持つ。GROOTのような巨大なトランスフォーマーモデルをエッジ（ロボット内部）でリアルタイムに実行するために設計された。

Isaac Lab / OSMO	ロボット学習のためのエンドツーエンドプラットフォーム。OSMOは、データの生成、モデルのトレーニング、検証といったワークフローを、オンプレミスやクラウドをまたいでオーケストレーションする。
------------------	--

iREX 2025において、BYD Electronics、Siemens、Teradyne Robotics、そして日本の安川電機や川崎重工がNVIDIA Isaacプラットフォームの採用を表明したことは、NVIDIAのエコシステムが事実上の標準(デファクトスタンダード)になりつつあることを示している。

3.2 Google DeepMind: データと推論の王者

Googleは、検索エンジンやYouTubeから得られる無尽蔵のデータと、DeepMindの強力な研究開発力を武器に、最も「賢い」ロボットを目指している。

- **Gemini Robotics:** Gemini 1.5 Proなどの大規模モデルをロボット制御に特化させたもの。コンテキストウィンドウが非常に広いため、過去の長い行動履歴や、分厚いマニュアル全体を読み込ませた上での作業が可能である。
- **AutoRT:** 視覚言語モデル(VLM)とLLMを組み合わせ、多数のロボットを同時に制御し、多様な環境で自律的にデータを収集・学習させるシステム。これにより、Googleは「経験」の規模において他社を圧倒しようとしている。

3.3 Skild AI: ロボット界のOpenAIを目指す新星

2023年創業のSkild AIは、Jeff Bezos、SoftBank、Sequoiaから3億ドルを調達し、評価額15億ドルに達したユニコーン企業である。彼らの強みは「Omni-bodied(全身体)」モデルにある。

- **Skild Brain:** 特定のロボット(例: Unitreeの犬型)専用のAIではなく、ヒューマノイド、四足歩行、アーム、車輪型など、あらゆる形態のロボットにインストール可能な汎用モデル。100万時間以上の多様なロボットデータで事前学習されており、新しいロボットに移植した際も、ゼロからの学習(Zero-shot)やわずかな調整(Few-shot)で高度な動作が可能になる。
- **市場戦略:** ロボットメーカーに対して「脳」のみをライセンス提供するビジネスモデルを志向しており、ハードウェア開発のリスクを負わずに市場全体へ浸透することを目指している。

3.4 Physical Intelligence (PI): 物理世界の基礎モデル

Skild AIと同様に注目されるのがPhysical Intelligence (PI) である。OpenAI等から4億ドルを調達。

- **π₀ (pi-zero):** 同社初の汎用ロボット基盤モデル。インターネット上の大規模データとロボット固有の物理データを融合し、洗濯物を畳む、箱を開けるといった複雑な操作を、異なるハードウェア間で共有・転移学習させることに成功している。創業者の一人であるChelsea Finn教授(スタンフォード大)が提唱する「メタラーニング」技術が中核にあり、未知のタスクへの適応速度において優位性を持つ。

4. 身体性の進化: ヒューマノイドロボットの最新ハードウェア動向

「脳」の進化と呼応するように、「身体(ハードウェア)」の進化も著しい。特に中国企業による「破壊的イノベーション」とも言える低価格化と高性能化は、2025年のロボット市場の最大トピックである。

4.1 中国勢: 圧倒的な実装速度とコストパフォーマンス

中国は国家戦略としてヒューマノイドロボットを「新質生産力」の中核に位置づけ、サプライチェーンの現地化を推し進めている。

Unitree Robotics (宇樹科技)

四足歩行ロボットで市場を席巻したUnitreeは、ヒューマノイド分野でも価格破壊のリーダーである。

- **Unitree G1 (G1 EDU):**
 - スペック: 身長約132cm、重量約35kg。自由度は23~43軸。
 - 価格: スタンダードモデルで約1.6万ドル(約240万円)。これは従来の同クラスの研究用ロボットの10分の1以下の価格である。
 - 技術的特徴: 3D LiDARと深度カメラによる360度センシング。EDU版ではNVIDIA Jetson Orinの高演算モジュールを搭載可能で、二次開発に対応。
 - インパクト: この価格帯での投入により、中小企業や個人の研究者、教育機関がヒューマノイドを導入可能となり、アプリケーション開発の裾野が爆発的に広がっている。
- **Unitree H1:**
 - スペック: 身長180cm、重量47kg。
 - 運動性能: 3.3m/sという驚異的な歩行速度を実現。バックフリップも可能な高トルクモーター(M107)を自社開発し、動的な安定性において世界トップクラスである。iREX 2025ではボクシングの動作を実演し、その俊敏性を証明した。

Fourier Intelligence (フォーリエ)

リハビリテーション機器メーカーとしての背景を持つFourierは、強力なアクチュエータ技術を強みとする。

- **GR-2:**
 - スペック: 身長175cm、重量63kg、全身53自由度。
 - アクチュエータ革新: 自社開発の「FSA 2.0」アクチュエータにより、ピークトルク380Nmを実現。これにより、立ち座り動作や重量物の運搬がスムーズに行える。
 - ハンド: 12自由度を持つ新型ハンドには6つの触覚センサーアレイが搭載されており、物体の硬さや形状を認識しながらの把持が可能。
 - 設計思想: ケーブルを内蔵化したスタイリッシュなデザインと、バッテリーの着脱機構により、実運用(長時間稼働)を意識した設計となっている。

Astribot (Stardust Intelligence)

- **Astribot S1:** 2025年に公開されたデモで世界に衝撃を与えた。

- **スピードと精度:** アームの最大動作速度は10m/s、加速度100m/s²、繰り返し位置決め精度は0.03mm。
- **実演内容:** テーブルクロス引き、ワインの精密な注ぎ分け、キュウリの薄切り、フライパンでの調理などを、人間以上の速度と正確さで実行。これは、「ロボットは遅くて不器用」という常識を完全に過去のものとした。家事代行ロボットとしての潜在能力の高さを如実に示している。

PaXini (パキニ)

- **触覚AIの先駆者:** 視覚偏重の現在のAIロボットに対し、PaXiniは「触覚」の重要性を説く。
- **技術詳細:** 第3世代触覚センサー「PX-6AX-GEN3」は、ホール効果 (Hall-effect) を利用して磁場の微細な変化を検出し、数百万Hzのサンプリングレートで接触情報を取得する。従来の歪みゲージ式に比べて耐久性が高く、低コストで製造可能。
- **TORA-ONE:** このセンサーを搭載したヒューマノイドは、iREX 2025で「柔らかいアイスクリームを崩さずに提供する」デモを行い、視覚だけでは不可能な繊細な力加減 (Force Control) を実現した。

4.2 米国勢: 垂直統合と実用性重視

米国企業は、特定の用途(倉庫、工場)に特化した垂直統合モデルで対抗している。

Tesla Optimus (Gen 3)

- **進捗:** Elon Muskは「2025年後半から2026年にかけて外部販売を開始する」と宣言。Gen 3モデルは、ハンドの自由度が22に増え、前腕の構造が人間に近づいた。
- **生産体制:** 「数百万台規模」の量産を見据え、部品点数の削減と製造プロセスの簡素化を進めている。目標価格は2万~3万ドル。
- **データ優位性:** Teslaの最大の武器は、ギガファクトリー内での実証実験で得られるリアルな作業データと、FSD (Full Self-Driving) で培った推論チップおよび視覚処理技術の転用である。

Figure AI

- **Figure 02:** BMWの工場で稼働実績を持つ。人との協調作業を前提とした安全性と、OpenAIのモデルによる高い言語理解能力が特徴。
- **Figure 03 (次世代機):** 家庭内での利用も視野に入れ、より人間的な動作と、エラーからの自律的な回復能力に焦点を当てている。

5. iREX 2025 詳細レポート: 現場で見た「未来の縮図」

iREX 2025は、単なる展示会ではなく、ロボット技術が社会実装フェーズに入ったことを宣言する場となった。

5.1 日本企業の逆襲: インテグレーション力と信頼性

日本企業は、「単体性能」では中国勢のスピードに押され気味だが、「システム全体の信頼性」と「AI

の統合」で巻き返しを図っている。

- **安川電機 & SoftBank (Project Physical AI):**
 - 展示内容: オフィスの清掃・片付けを行う多能工ロボット。
 - 技術的ハイライト: 「MEC (Multi-access Edge Computing)」の活用。ロボット単体に重い処理をさせず、5G/6Gネットワーク経由でエッジサーバー上のAIが判断を行うアーキテクチャを提示。これにより、ロボットハードウェアをシンプルに保ちつつ、高度な知能を実現する。
- **川崎重工 (Kawasaki):**
 - **Kaleido (カレイド):** 災害現場を想定した瓦礫除去や、重いバルブの開閉作業を実演。第8～9世代となり、転倒しても自力で起き上がるロバスト性を獲得。
 - **Nyokkey (ニョッキー):** アーム付きのサービスロボット。ドアを開けて部屋に入り、エレベーターを使って移動するなど、人間用に設計された環境での移動能力を強調。
 - リモート連携: 人間が遠隔操作で介入し、AIがそれを学習する「Human-in-the-loop」のシステムを確立している点が現実的で評価が高い。
- **ファナック (FANUC):**
 - 展示内容: 「止まらない工場」をテーマに、AIによる予知保全と、バラ積みピッキングの高速化を展示。
 - **NVIDIA連携:** デジタルツイン上でライン構築を完了させ、実機に転送するデモは、生産技術者にとっての福音として大きな注目を集めた。

5.2 特殊環境・宇宙への展開: GitaiとTelexistence

Gitai (ギタイ)

宇宙作業用ロボットのスタートアップであるGitaiは、iREXでも異彩を放っていた。

- **実績:** 2024年から2025年にかけて、ISS (国際宇宙ステーション) 外での自律作業実証や、自社開発衛星の打ち上げに成功。
- **技術:** 通信遅延がある宇宙環境での遠隔操作技術と、半自律制御 (特定のタスクはロボットが判断) のハイブリッド技術を持つ。この技術は、深海や災害現場など、地上の極限環境への応用も期待される。
- **iREXでの示唆:** 宇宙レベルの信頼性を持つロボットアームやハンド技術は、地上の過酷な産業現場 (製鉄所、化学プラント) への転用ポテンシャルが高い。

Telexistence (テレイグジスタンス)

- **TX SCARA / Ghost:** コンビニエンスストア (ファミリーマート等) のバックヤードで、飲料補充を行うロボット。
 - **AIモデル:** 「GHOST」と呼ばれるモデルにより、商品の形状変化や陳列の乱れに適応。iREX 2025の文脈では、彼らが構築している「ロボット操作データのプラットフォーム」としての価値が再評価されている。小売現場という、極めて変数の多い環境で稼働し続けることで得られるデータは、他社が模倣できない資産となっている。
-

6. サプライチェーンとBOM分析:コスト構造の激変

ロボットの普及を左右するのは「価格」である。2025年、中国のサプライチェーンは、ロボットのBOM (Bill of Materials: 部品表)コストを劇的に引き下げた。

6.1 アクチュエータと減速機の価格破壊

ヒューマノイドロボットのコストの約40～60%は、関節を動かすアクチュエータ(モーター+減速機+エンコーダ+ドライバ)が占める。

コンポーネント	従来の主要プレイヤー (日本・ドイツ)	新興プレイヤー (中国)	市場動向と2025年の変化
波動歯車装置 (Harmonic Drive)	ハーモニック・ドライブ・システムズ (日本)	LeaderDrive (緑的諧波), Laifual (来福)	日本製品は依然として最高精度・耐久性を誇るが、中国製品は性能で8～9割に達しつつ、価格は半額以下。Unitreeなどの低価格ロボットは中国製を採用し、コストダウンを実現。
フレームレスモーター	Kollmorgen (米国), Maxon (スイス)	DJI, Unitree (内製), その他多数	ドローンやジンバルで培ったモーター技術を転用。Unitreeはモーターを完全内製化することで、中間マージンを排除し、圧倒的な低コストを実現した。
センサー (LiDAR, IMU)	Velodyne, Sick	Livox, Hesai, RoboSense	自動運転EV向けの量産効果により、高性能LiDARの価格が10分の1以下に。これがロボットの「目」の標準装備化を可能にした。

6.2 BOM比較: 中国製 vs 日米製

Bank of America等の分析によると、2025年末時点での標準的なヒューマノイドロボットのBOMコストは、中国製部品をフル活用した場合、**約13,000ドル～17,000ドル(約200～260万円)まで低下する可能性がある。一方、日米欧の高品質部品のみで構成した場合、そのコストは35,000ドル以上(約530万円以上)**となり、倍以上の開きがある。

このコスト構造の差は、特に価格感度が高い「サービス業」や「家庭用」市場において、中国製品の圧倒的な優位性につながる可能性がある。

7. 地政学的リスクと未来展望

7.1 米中デカップリングと技術封鎖

米国政府は、AI半導体(GPU)に続き、ロボット工学に関連する高度な技術や部品の対中輸出規制を強化している。また、中国製ロボットや部品に対する関税引き上げ(34%など)も実施された。

- 中国の反応: これに対し中国は、「国産化率100%」を目指し、減速機やセンサー、さらにはAIチップ(Huawei Ascend等)の内製化を加速させている。短期的にはコスト増となるが、長期的には外部依存のない強固なサプライチェーンを構築する可能性がある。
- 日本の立ち位置: 日本は、米国の規制に同調しつつも、中国市場という巨大な顧客を失いたくないジレンマにある。METI(経済産業省)は、レアアースなどの重要鉱物の中国依存リスクを警戒し、サプライチェーンの多元化を企業に促している。

7.2 2030年へのロードマップ: ロボット社会の到来

2025年の技術的到達点を踏まえると、2030年に向けて以下のシナリオが予測される。

1. 「専用機」から「汎用機」への転換: 特定のタスクしかできない専用ロボットから、ソフトウェアアップデートで多様なタスクをこなすヒューマノイドへの置き換えが進む。工場だけでなく、物流倉庫、病院、建設現場での導入が一般的になる。
2. 家庭用ロボットの萌芽: 2020年代後半には、Atribot S1のような高度な家事能力を持つロボットが、富裕層向けから徐々に普及を始める。
3. **RaaS (Robot as a Service)** の拡大: ロボットを「購入」するのではなく、労働力として「雇用(サブスクリプション)」するモデルが定着する。

結論

2025年は、フィジカルAIによってロボットが「道具」から「自律的なパートナー」へと進化した歴史的な転換点である。中国のハードウェア実装力と、米国のAIソフトウェア開発力、そして日本の精密メカロニクス技術が、競合しながらも相互に刺激し合い、産業革命以来の生産性の向上を人類にもたらそうとしている。日本企業にとっては、ハードウェアの強みを維持しつつ、いかにして「フィジカルAI」という新しい脳を統合し、実社会の課題解決(労働力不足、高齢化)に適用できるかが、勝敗を分ける

鍵となるだろう。