

Gemini Robotics On -Device : オンデバイス AI が拓くロボティクスの新時代 — 詳細分析と競合環境

Gemini Deep Research

セクション 1: 戦略的概観: 具現化されたオンデバイス・インテリジェンスの夜明け

1.1. 2025 年 6 月 24 日の発表: ロボティクスにおけるパラダイムシフト

2025 年 6 月 24 日から 25 日にかけて、Google DeepMind はロボティクス分野における画期的な発表を行いました¹。これは単なる新製品のリリースではなく、具現化 AI (Embodied AI) が成熟期に入ったことを示す重要な転換点と位置づけられます。発表された「Gemini Robotics On-Device」は、先進的なロボット知能をクラウドから解放し、ロボット本体で直接処理することを可能にするもので、これは現実世界でのロボット導入における最大のボトルネックの一つを解消する戦略的な一歩です⁵。

このモデルは、2025 年 3 月に発表されたクラウドベースの主力モデル「Gemini Robotics」の進化形であり、その名を冠する通り、コンパクトかつローカルで動作するバージョンです¹。この発表の核心は、これまで大規模な計算能力を必要とし、クラウド接続が不可欠であった Vision-Language-Action (VLA) モデルを、ロボットのオンボード GPU 上で効率的に実行できるようにした点にあります⁶。これにより、ロボットはインターネット接続に依存することなく、自律的に高度なタスクを実行できるようになります。この動きは、ロボティクス AI が研究室のデモンストレーションから、実世界の多様な環境で機能する実用的なツールへと移行する上で、決定的な意味を持ちます。

この発表が持つ戦略的な重要性は、Google がわずか 3 ヶ月という短期間でクラウドモデルからオンデバイスモデルへと展開した点にあります。2025 年 3 月に発表されたクラウドベースの Gemini Robotics は、その最先端の性能を示すことで、技術的な到達点、いわば「性能の天井」を市場に提示しました⁵。しかし、初期パートナーや業界からのフィードバックは、クラウド依存がもたらす実用上の障壁、すなわち遅延 (レイテ

ンシー)、接続性、データプライバシーといった問題を即座に浮き彫りにしたと考えられます⁶。これらは些細な問題ではなく、産業、医療、家庭用といった多くの実世界アプリケーションにおいて、導入を阻む決定的な要因です。

このフィードバックに対し、Google がオンデバイスモデルを迅速に投入したことは、彼らがロボティクスプラットフォームのプロバイダーとして成功するためには、この「導入の壁」を即座に解決する必要があると認識したことを示唆しています。つまり、オンデバイスモデルこそが実用的な「製品」であり、クラウドモデルはより複雑で非リアルタイムな推論を担う「理想的なベンチマーク」としての役割を担うという、二層構造の戦略が見えてきます。このハイブリッドアプローチは、エッジとクラウド、双方の限界を認識した上で、それぞれの利点を最大化しようとするものです。DeepMind のロボティクス部門責任者である Carolina Parada 氏が、オンデバイスモデルを「スターターモデル」あるいは「接続環境が悪いアプリケーション向け」と位置づけつつ、クラウド連携のハイブリッドモデルが「依然としてより強力である」と述べていることは、この階層化されたハイブリッドシステムという戦略的意図を明確に裏付けています¹⁰。

1.2. 「オンデバイス」という至上命題：遅延、プライバシー、自律性の解決

オンデバイス処理への移行は、単なる技術的選択ではなく、ロボティクスが実用化されるための必須要件です。このパラダイムシフトが解決する業界の根源的な課題は、主に「遅延」「接続性」「プライバシー」の三点に集約されます。

第一に、遅延の問題です。クラウドベースの AI モデルは、ロボットのセンサーが捉えたデータを一度クラウドに送信し、そこで処理された指示を再びロボットが受信するというプロセスを経ます。この往復通信には、たとえミリ秒単位であっても無視できない遅延が生じます。人間と協働する環境や、高速で動く物体を扱う製造ラインなど、リアルタイムでの応答が求められる安全性が重要なタスクにおいて、この遅延は致命的なリスクとなり得ます⁶。Gemini Robotics On-Device は、全ての推論をロボット内部で完結させることで、この通信遅延を原理的に排除し、即時性と安全性を飛躍的に向上させます。

第二に、接続性の問題です。工場、病院、倉庫、あるいは災害現場や遠隔地など、ロボットの活躍が期待される多くの現場では、安定した高速インターネット接続が常に保証されているわけではありません⁶。接続が不安定であったり、全く利用できなかったりする環境では、クラウドに依存するロボットは機能不全に陥ります。オンデバイスモデ

ルは、ロボットをインターネットという「へその緒」から切り離し、どのような通信環境下でも安定して稼働できる真の自律性を与えます。

第三に、プライバシーとセキュリティの問題です。ロボットが活動する環境、特に家庭や病院、企業の機密エリアなどでは、カメラが捉える映像データは極めて機微な情報を含みます。これらのデータを外部のクラウドサーバーに送信することは、データ漏洩や不正アクセスのリスクを増大させます。Gemini Robotics On-Device は、全てのデータをロボットのオンボード GPU 上でローカルに処理するため、機密データが外部に出ることがなく、プライバシーとセキュリティを根本的に確保できます⁶。このアプローチは、データをその発生源の近くで処理する「エッジ AI」という、より広範な技術トレンドとも完全に一致しています⁶。

1.3. 初期テーズ：汎用ロボット市場における Google の戦略的布石

Gemini Robotics On-Device の発表は、Google が次世代の汎用ロボットおよびヒューマノイドロボット市場において、支配的な「頭脳」の供給者となることを目指す、明確な戦略的布石であると分析できます。彼らの戦略は、自社でロボット本体を製造するのではなく、AI モデルとそれを活用するためのソフトウェア開発キット（SDK）を、ハードウェアメーカーに提供するというパートナーシップ主導型のアプローチを採っている点に特徴があります。

具体的には、ヒューマノイドロボットを開発する Apptронik 社との提携や¹、Boston Dynamics 社や Agility Robotics 社といった業界の先進企業を「信頼できるテスター」としてエコシステムに取り込んでいる事実が、この戦略を裏付けています¹⁷。これは、PC 市場における Microsoft（OS）と Intel（CPU）、スマートフォン市場における Google（Android）と同様の水平分業モデルを、ロボティクス市場で再現しようとする試みと見ることができます。Google は、ロボットの「身体」を作る競争に参加するのではなく、全てのロボットに搭載される「知能」のプラットフォームを掌握することを目指しているのです。

この戦略は、ハードウェアからソフトウェア、AI、データ、そして応用先まで、全てを自社で完結させようとする Tesla の垂直統合モデルとは明確な対比をなしています。Google のアプローチは、多様なロボットメーカーがそれぞれの得意分野で革新を進めることを可能にし、エコシステム全体を活性化させる可能性があります。一方で、標準化された「頭脳」を提供することで、Google は市場における強力な影響力と、自社ク

クラウドサービスへの誘導という経済的利益を確保することができます。Gemini Robotics On-Device は、この壮大なエコシステム戦略を実現するための、具体的かつ強力な第一歩なのです。

セクション 2：技術・アーキテクチャの深掘り：Gemini Robotics On-Device の内部構造

Gemini Robotics On-Device は、単に既存モデルを小型化したものではなく、性能、汎用性、適応性を高いレベルで維持しつつ、エッジデバイスでの実行に最適化された、洗練された技術的成果です。その核心には、Google の最先端 AI 技術が凝縮されています。

2.1. モデルアーキテクチャ：Vision-Language-Action (VLA) 基盤

Gemini Robotics On-Device の根幹をなすのは、Vision-Language-Action (VLA) と呼ばれるアーキテクチャです²。これは、ロボットが「見て (Vision)、聞いて (Language)、行動する (Action)」という一連のプロセスを、単一のエンドツーエンドモデルで実現するものです。具体的には、以下のような多モーダルな入力を受け付けます。

- **視覚情報 (Vision)**：ロボットのカメラが捉えた環境の画像¹⁹。
- **言語情報 (Language)**：人間からの自然言語による指示や質問（例：「バッグのジッパーを開けて」）¹⁹。
- **自己受容感覚 (Proprioception)**：ロボット自身の関節角度や位置といった内部状態を示す数値データ¹⁹。

これらの多様な情報を統合的に理解し、出力としてロボットが実行すべき具体的な動作（関節の目標角度など）を数値データとして生成します¹⁹。

公式のモデルカードによれば、このモデルは Google の強力な基盤モデルである「Gemini 2.0」と、オンデバイス実行に特化した軽量モデル「Gemma」の技術に基づいて構築されています¹⁹。これは、インターネット規模のデータから学習した膨大な世

界知識と、効率的なエッジコンピューティング技術を融合させたことを意味します。アーキテクチャの内部は、ロボットが見ているものを解釈し、適切な行動を決定する「VLA バックボーン」と、その決定を実際のモーターコマンドに変換する「ローカルアクションデコーダー」で構成されていると報告されています¹³。

さらに、このモデルは特に双腕（bimanual）ロボット、すなわち人間のように2本の腕を持つロボット向けに設計されています²。この設計選択は、人間の生活空間や作業環境で求められる、より複雑で汎用的なタスク（両手を使った物体の操作など）をターゲットにしていることを示唆しています。

2.2. パフォーマンスとベンチマーク：クラウドとのギャップを埋める

オンデバイスモデルの評価において最も重要な指標は、性能をどれだけ維持しつつ、遅延を削減できたかです。Gemini Robotics On-Device は、この点で驚異的な結果を示しています。

まず、ロボットに搭載されたローカル GPU で実行されるように高度に最適化されており⁶、知覚から行動までのサイクルタイム（perception-to-action cycle）はわずか250ミリ秒であると報告されています¹³。この速度は、ロボットが人間や環境の変化に対して、滑らかで応答性の高いリアルタイム制御を行うために十分なものです。

そして最も注目すべきは、Google が独自に設定した「汎化ベンチマーク（Generalization Benchmark）」において、このオンデバイスモデルが、最先端のクラウドベースモデルである Gemini Robotics と「ほぼ同等の性能（nearly on par）」を発揮したという主張です⁵。これは、モデル圧縮や計算グラフの最適化といった技術が極めて効果的に機能していることを示しており⁶、オンデバイス AI の性能限界を大きく押し上げる成果と言えます。

さらに、Google は、このモデルが他の（具体的な名前は挙げられていない）オンデバイスの代替モデルと比較して、特に困難な「分布外（out-of-distribution）」タスクや、複雑な多段階の指示を伴うタスクにおいて、優れた性能を発揮すると強調しています³。これは、単に既知のタスクを高速に実行するだけでなく、未知の状況にも柔軟に対応できる高度な汎化能力を備えていることを示唆しています。

2.3. コア能力：器用さ、汎用性、そして適応性

Gemini Robotics On-Device の真価は、その具体的な能力に現れています。デモンストレーションや技術報告で示された能力は、主に「器用な操作」「汎用性」「適応性」の3つの側面で際立っています。

- **器用な操作（Dexterous Manipulation）**：このモデルは、微細なモーター制御と精密な動作が要求されるタスクを実行できます。公開された例には、バッグのジッパーを開ける、衣服をたたむ、サラダドレッシングを注ぐ、トランプのカードを引くといった日常的な動作から、高い精度が求められる工業用のベルトアセンブリタスクまで、多岐にわたります³。これらのタスクは、ロボットが視覚情報と言語指示を正確に理解し、両腕を協調させて繊細な力加減で物体を操作する能力を持つことを示しています。
- **身体の壁を越える汎用性（Generalization Across Embodiments）**：**Gemini Robotics On-Device** の最も強力な特徴の一つが、その汎用性です。このモデルは、元々「ALOHA」という比較的シンプルな研究用ロボットでトレーニングされましたが¹、その後、全く異なる構造を持つ商用の産業用アーム「**Franka Research 3 (FR3)**」や、人間型のヒューマノイドロボット「**Appttronik Apollo**」の制御にも成功裏に適応させています¹。これは、モデルが特定のロボットの運動学や動力学に過度に依存するのではなく、より抽象的なレベルで「タスク」と「行動」の関係を学習していることを意味します。この能力は、様々なロボットに搭載可能な「汎用的なロボットの脳」の実現に向けた、きわめて重要な一歩です。
- **データ効率の高い適応性（Sample - Efficient Fine - Tuning）**：実用化に向けたもう一つの重要な能力が、新しいタスクへの適応効率です。**Gemini Robotics On-Device** は、わずか 50 から 100 回のデモンストレーション（実演データ）を与えるだけで、新しいタスクを学習し、高い性能を発揮することができます¹。この「少数ショット学習（low-shot learning）」能力⁷は、ロボットに新しいスキルを教えるために必要な時間とコストを劇的に削減するため、実世界での導入において決定的に重要です。この驚異的な学習効率の背景には、**Gemini 2.0** が持つ膨大な事前知識が存在します。モデルはゼロからタスクを学ぶのではなく、既に持っている世界についての豊かな理解を、新しいロボットの身体やタスクの文脈に「適応」させているのです。これは、デジタル世界から物理的な具現化された世界への、トランスファー学習の成功例と言えます。

2.4. 安全性と限界：階層的アプローチ

強力な能力を持つ一方で、**Gemini Robotics On-Device** には明確な限界と、それに伴う安全上の考慮事項が存在します。公式のモデルカードや関連情報によれば、このオンデバイスモデルは、クラウドベースの完全版が持つような、高度な「意味的安全性（semantic safety）」の推論機能を内蔵していません¹⁵。これは、例えば「危険な物質を扱わない」「人間を傷つける可能性のある行動は避ける」といった、高レベルの文脈理解に基づく安全判断を、単体では完全には行えないことを意味します。

この限界に対処するため、**Google** は「階層的アプローチ（layered approach）」による安全確保を推奨しています¹⁹。これは、複数の安全機構を組み合わせる考え方です。

- 1. **高レベルの安全性:** オンデバイスの **VLA** モデルを、より高度な意味的安全性（例えば、何が危険かを理解する能力）を判断できる「具現化推論（Embodied Reasoning）」モデル（これはクラウドベースである可能性が高い）と連携させます。
- 2. **低レベルの安全性:** ハードウェアに固有の、衝突回避や力制御を担う安全性が重要な低レベルコントローラーと組み合わせます¹²。

この構造は、リアルタイム性が求められる即時の行動決定はオンデバイスモデルが担い、より時間的余裕のある高レベルの安全判断や計画はクラウドモデルが支援するという、セクション 1 で述べたハイブリッドアーキテクチャの思想を改めて補強するものです。

以下の表 1 は、**Gemini Robotics On-Device** の技術仕様と能力をまとめたものです。

表 1：Gemini Robotics On -Device - 技術仕様と能力

項目	仕様・能力	詳細	典拠
モデル名	Gemini Robotics On-Device	Google DeepMind が開発したオンデバイス実行用の VLA モデル。	5
基本アーキテクチャ	Gemini 2.0 / Gemma	Google の Gemini 2.0 および Gemma モデルを基盤とし、VLA	13

		バックボーンとローカルアクションデコーダーで構成。	
モデルタイプ	Vision-Language-Action (VLA)	視覚、言語、自己受容感覚を入力とし、ロボットの行動を直接出力するエンドツーエンドモデル。	5
入力	テキスト、画像、ロボット自己受容感覚	自然言語指示、ロボットの視点からの画像、関節角度などの数値データ。	19
出力	ロボットのアクション	関節の目標位置や速度などの数値データ。	19
対応ハードウェア	双腕ロボット	ALOHA ロボットで訓練され、Franka FR3 や Apptronik Apollo ヒューマノイドなど、様々な双腕プラットフォームに適応可能。	1
主要パフォーマンス指標	低遅延推論 (250ms)	知覚から行動までのサイクルタイムは 250 ミリ秒。ロボットのオンボード GPU で効率的に動作。	13
	クラウドモデルに匹敵する性能	Google の内部ベンチマークにおいて、クラウド版の Gemini Robotics とほぼ同等の汎化性能を達成。	5
ファインチューニング要件	50～100 回のデモンストレーション	新しいタスクに対して、非常に少ないサンプル数で高効率な適応が可能（少数シ	1

		ヨット学習)。	
実証済みスキル（家庭）	バッグのジッパー開閉、衣服の折りたたみ、サラダドレッシング注ぎ、カード引きなど。	高度な器用さと両腕の協調を必要とするタスク。	5
実証済みスキル（産業）	工業用ベルトの組み立て	高い精度と器用さが求められる産業用タスク。	3
安全アーキテクチャ	階層的アプローチ	オンデバイス VLA、高レベルの具現化推論モデル、ハードウェア固有の低レベル安全コントローラーの組み合わせを推奨。	12

セクション 3：エコシステムを可能にするもの：Gemini Robotics SDK と MuJoCo シミュレータ

Google DeepMind の戦略は、単に高性能な AI モデルを提供するだけにとどまりません。開発者がそのモデルを容易に利用し、評価し、そして自らのアプリケーションに統合できる、包括的なエコシステムを構築することに主眼が置かれています。その中核をなすのが、Gemini Robotics SDK と MuJoCo 物理シミュレータです。

3.1. Gemini Robotics SDK：開発者のためのツールキット

Gemini Robotics SDK は、開発者が Gemini Robotics On-Device モデルと対話するための主要なツールです⁵。内部的には「Safari SDK」とも呼ばれるこのツールキットは²⁴、ロボット AI 開発のライフサイクル全体をサポートするように設計されています。

SDK が提供する主な機能は以下の通りです¹⁰：

- **モデルチェックポイントへのアクセス**：事前学習済み、またはファインチューニング済みのモデルデータをダウンロードします。
- **モデルのサービング**：モデルを推論可能な状態に展開します。
- **評価**：シミュレーション環境および実機ロボット上でモデルの性能を評価します。
- **データアップロード**：新しいタスクのデモンストレーションデータなどを Google のプラットフォームにアップロードします。
- **ファインチューニング**：アップロードしたデータを用いて、特定のタスクやロボット向けにモデルを再学習・適応させます。

この SDK は、Python のパッケージ管理システムである PyPI を通じて `pip install safari_sdk` という簡単なコマンドでインストールでき、依存関係の衝突を避けるために仮想環境での使用が推奨されています²⁴。この一連のツールは、開発者が Google の強力な AI モデルを、あたかも自身のローカルライブラリのように扱えるようにすることを目指しています。

3.2. flywheel -cli : ロボティクスのためのコマンドラインインターフェース

SDK には `flywheel-cli` というコマンドラインツールが含まれており、これが開発ワークフローのハブとなります²⁴。このツールを通じて、開発者はターミナルから直接、Google のロボティクスプラットフォームと対話することができます。提供されている主なコマンドは以下の通りです²⁴：

- **train**: 新しいモデルのトレーニング（ファインチューニング）ジョブを開始します。
- **serve**: トレーニング済みのモデルをサービング（推論可能な状態に）します。
- **list**: 実行中のトレーニングジョブを一覧表示します。
- **download**: トレーニングの成果物（ファインチューニング済みモデルなど）をダウンロードします。
- **upload_data**: デモンストレーションデータなどをアップロードします。

これらのコマンド体系は、Google が開発者に対して想定しているエンドツーエンドのワークフローを明確に示しています。開発者はデータを収集・準備し、`upload_data` でアップロードし、`train` でファインチューニングを依頼し、`download` で最適化された

モデルを受け取り、それをロボットに展開するという流れです。

3.3. MuJoCo シミュレータ：仮想の実験場

ロボット開発において、物理的なハードウェアを用いた実験は時間とコストがかかり、またロボットの破損リスクも伴います。この問題を解決するのが、Google が提供する MuJoCo (Multi-Joint dynamics with Contact) 物理シミュレータです¹。

開発者はこのシミュレータ内で、Gemini Robotics On-Device モデルを仮想的にテストし、性能を評価し、ファインチューニングを行うことができます¹³。これにより、物理的なロボットを常に必要とすることなく、迅速なイテレーション（試行錯誤）が可能になります。さらに Google は、Gemini Robotics On-Device の主要な能力である双腕での器用な操作を評価するために、MuJoCo 内に専用の新しいベンチマークを公開しており、シミュレーション環境とモデルの能力が密接に連携するように設計されています⁶。

3.4. 「信頼できるテスタープログラム」：管理された市場投入戦略

Gemini Robotics On-Device モデルおよび SDK へのアクセスは、現時点では一般公開されておらず、「信頼できるテスタープログラム (Trusted Tester Program)」を通じて管理されています⁵。

この管理された市場投入戦略には、いくつかの戦略的意図が読み取れます。第一に、安全性の確保です。新しいロボティクス技術を実世界に展開するにあたり、予期せぬ挙動によるリスクを最小限に抑えるため、経験豊富なパートナーと緊密に連携しながら慎重に検証を進める必要があります¹⁰。第二に、質の高いフィードバックの収集です。

Apptронik、Boston Dynamics、Agility Robotics といった業界のトップランナーから得られるフィードバックは、モデルとプラットフォームを実用的なレベルに引き上げる上で非常に価値があります。第三に、これは Google が当面、広範なオープンソースコミュニティよりも、エンタープライズや先進的な研究機関といった、明確なユースケースを持つパートナーとの関係構築を優先していることを示唆しています。

このエコシステムの構造を深く分析すると、Google が構築しているものが単なる「オンデバイスモデル」ではないことが明らかになります。SDK の構造、特に `flywheel-cli` の `upload_data` や `train` といったコマンドは、たとえ推論（Inference）がロボットのローカルデバイスで行われるとしても、モデルのライフサイクル全体、すなわちデータの管理、トレーニング、ファインチューニングといったプロセスが、Google のクラウド基盤上で管理されることを強く示唆しています²⁴。

開発者は 50～100 回のデモンストレーションデータを収集し、それを Google のクラウドにアップロードします。ファインチューニングの重い計算処理は、Google が自社の TPU（Tensor Processing Unit）を用いてクラウド上で実行し¹⁹、最適化されたモデルのチェックポイントを開発者がダウンロードしてロボットに展開する、というワークフローが想定されます。

結論として、「オンデバイス」という言葉は、あくまで推論ステップがローカルで実行されることを指しており、その背後には、開発とトレーニングのループを支える、クラウド中心のマネージドな MLOps（Machine Learning Operations）プラットフォームが存在します。これは Google にとって非常に巧みな戦略です。計算コストのかかる部分を自社のクラウドで担うことで、開発者を自社のクラウドエコシステムに深く統合し、プラットフォームの「粘着性（stickiness）」を高めます。同時に、世界中のトップクラスのテスターから、極めて価値の高いロボットの行動データを収集することが可能になります。これは、エッジ AI モデルを、クラウド AI のバックエンドが支えるという、強力なハイブリッド戦略の具体例です。

セクション 4：熾烈な競争環境：ロボティクス基盤モデルの比較分析

Google の Gemini Robotics On-Device は、真空状態で登場したわけではありません。ロボットの「知能」をめぐる競争は激化しており、各社が異なる哲学と戦略でこの巨大な市場機会を狙っています。ここでは、主要な競合である NVIDIA、Hugging Face、そして Tesla の動向を分析し、Google の位置づけを明らかにします。

4.1. NVIDIA のフルスタック・エコシステム：ハードウェアこそがプラットフォーム

NVIDIA の戦略は、単一の AI モデルを提供することではなく、自社のハードウェアを中核とした、包括的で垂直統合された開発・運用スタックを構築することにあります。彼らはロボティクス産業全体にとって不可欠な「インフラ」となることを目指しています。

- **モデル (Project GROOT)** : NVIDIA のヒューマノイド向け汎用基盤モデルが「Groot N1」です³。このモデルは、高速なモーター制御を担う「システム 1」と、より遅い速度で高度な推論を行う「システム 2」からなる革新的なデュアルシステムアーキテクチャを特徴とし、現実世界、シミュレーション、そしてビデオデータから複合的に学習します²⁸。
- **プラットフォーム (NVIDIA Isaac)** : これが NVIDIA 戦略の核心です。物理的に正確なシミュレーションと合成データ生成を可能にする「Isaac Sim on Omniverse」²⁷、ハードウェアアクセラレーションを効かせたライブラリ群「Isaac ROS」³⁰、ロボット学習フレームワーク「Isaac Lab」³¹、そして開発・運用を管理する「OSMO」³⁰ など、開発から展開までの全フェーズを網羅するツール群を提供します。
- **ハードウェア** : このスタック全体が、NVIDIA の半導体上で最適に動作するように設計されています。エッジデバイスでの推論には「Jetson」、クラウドでのトレーニングやシミュレーションには「DGX」や「OVX」といった専用ハードウェアを用意しており³⁰、NVIDIA の GPU をロボティクス開発に必須の計算レイヤーにしようという明確な意図が見られます。

4.2. Hugging Face のオープンソース攻勢：ロボット AI の民主化

Hugging Face は、NVIDIA や Google とは対照的に、コミュニティ主導のオープンソース戦略で市場にアプローチしています。彼らの競争優位性は、アクセシビリティとネットワーク効果にあります。

- **思想 (LeRobot)** : 彼らの目標は、オープンソースのモデル、データセット、ツールを提供することで、ロボット AI 開発への参入障壁を下げることです³⁴。
- **モデル (例 : SmoIVLA)** : Hugging Face は、「SmoIVLA」のように、MacBook などのコンシューマー向けハードウェアでも動作する、小型で効率的な軽量 VLA モデルの開発に注力しています¹¹。これは、Google や NVIDIA のようなリソース集約的で管理されたエコシステムから排除されがちな、学術研究者、ホビイスト、そして初期段階のスタートアップを直接のターゲットとしています。

- **データ**：彼らの戦略の重要な部分は、コミュニティから提供された多数のロボティクスデータセットをホストし、トレーニングとベンチマークのための協調的なエコシステムを育成することです³⁵。

4.3. Tesla の垂直統合：Optimus という名の壁に囲まれた庭園

Tesla は、ヒューマノイドロボット「Optimus」に関して、他社とは全く異なる、完全に自己完結した戦略を追求しています。

- **目標**：Tesla は、他社が利用するための基盤モデルを構築しているのではありません。彼らが作っているのは、まず自社工場でのタスクを自動化し⁴⁰、将来的には販売するための完成された「製品」です。
- **AI スタック**：Optimus の AI スタックは、同社の自動運転技術「Full Self-Driving (FSD)」の直接的な延長線上にあります⁴⁰。FSD と同じ AI 推論チップ、コンピュータビジョンアルゴリズム、そしてプランニングソフトウェアを活用しています。
- **インフラ**：トレーニングは、自社開発のスーパーコンピュータ「Dojo」によって行われます⁴⁸。このハードウェア、ソフトウェア、データ、応用先まで全てを内製化する完全な垂直統合モデルは、迅速な開発サイクルと完全なコントロールを可能にしますが、外部の開発者が参加する余地のない、閉じたエコシステムを形成します。

4.4. エンドユーザー：ヒューマノイド開発企業とその選択

これらの基盤モデルの主要な顧客となるのは、実際にヒューマノイドロボットを開発・展開する企業です。彼らの動向は、競争の行方を占う上で重要な指標となります。

- **Figure AI**：自動車メーカーBMW と提携し、工場での実証実験を進めています⁴⁹。彼らは「AI ファースト」のアプローチを掲げ、商用可能なヒューマノイドの開発を目指しており、そのソフトウェアスタックには高度な AI アルゴリズム、コンピュータビジョン、自然言語処理が含まれます⁵⁵。
- **Agility Robotics**：Amazon や物流大手 GXO Logistics といった企業と、既に商用展開を開始しています⁵⁷。同社は Google の「Gemini Robotics-ER」の信頼できるテスターでもあり¹⁸、Google との緊密なパートナーシップが伺えます。

- **Boston Dynamics** : この分野のパイオニアであり、現在は Hyundai 傘下にあります。彼らもまた Google の「Gemini Robotics-ER」の信頼できるテスターであり¹⁸、傘下の Robotics & AI Institute と協力して、強化学習を用いた Atlas ロボットの能力向上に取り組んでいます⁶⁴。

この競争環境を分析すると、これは単一の勝者を決めるレースではなく、少なくとも 4 つの異なる戦略モデルが並存する、多層的な戦略ゲームであることがわかります。

Google は「プラットフォーム・プロバイダー」として頭脳を、NVIDIA は「フルスタック・イネーブラー」として開発から運用までの道具一式を、Hugging Face は「オープンソース・コミュニティ」として共有地を、そして Tesla は「垂直統合型プロダクト企業」として完成品を提供しています。

これらの戦略は相互に排他的ではありません。例えば、Figure AI や Agility Robotics のような企業は、理論上、Google のモデルを採用し、それを NVIDIA の DGX Cloud でトレーニングし、Isaac Sim でシミュレーションを行い、NVIDIA Jetson チップを搭載したロボットに展開することが可能です。これは、NVIDIA の戦略が、たとえ Google のパートナーであっても、業界のあらゆるプレイヤーにとっての水平的な基盤提供者となることを目指していることを示しています。

これに対し、Tesla の AI スタックを Tesla 以外の企業が利用することはありません。彼らの成功は、最終製品である Optimus の性能に完全に依存します。一方で、Hugging Face のオープンで低コストなアプローチは、学术界や初期段階のスタートアップ市場で支持を集める可能性が高いでしょう。Google と NVIDIA は、サポート、信頼性、性能を求める、価値の高いエンタープライズや産業パートナーをターゲットとしています。

結論として、ロボティクスの未来は単一の勝者によって支配されるのではなく、複雑なエコシステムが形成される可能性が高いです。その中で、主要な戦場は、Google と NVIDIA の間で繰り広げられる「サードパーティ・プラットフォーム・プロバイダー」の地位をめぐる争いです。彼らの成功は、Figure、Agility、Boston Dynamics といったヒューマノイド開発企業が、どちらのスタックを選択するかによって測られることになるでしょう。その一方で、Tesla は全く異なる軸で競争を展開しており、自社の統合ソリューションが、サードパーティ製コンポーネントのいかなる組み合わせよりも優れた性能を発揮するという壮大な賭けに出ているのです。

以下の表 2 および表 3 は、この複雑な競争環境とエコシステムをまとめたものです。

表 2：ロボティクス基盤モデル 競合マトリクス

属性	Google (Gemini Robotics)	NVIDIA (Isaac/Groot)	Hugging Face (LeRobot)	Tesla (Optimus AI)
コア製品	AI モデルと SDK (ロボットの「頭脳」)	開発から運用までのフルスタックプラットフォーム (ハードウェア+ソフトウェア)	オープンソースのモデル、データセット、ツール	垂直統合されたヒューマノイドロボット製品
オンデバイス/クラウド	ハイブリッド (オンデバイス推論、クラウド開発)	フルスタック (エッジ展開、クラウドシミュレーション/トレーニング)	主にオンデバイス (効率的な軽量モデル)	垂直統合 (オンデバイス推論、自社インフラでのトレーニング)
トレーニングパラダイム	大規模基盤モデルからのトランスファー学習、少数ショットでのファインチューニング	合成データ生成 (Omniverse) と強化学習の組み合わせ	コミュニティ提供データによる模倣学習	実世界データと FSD からのトランスファー学習
開発者エコシステム	管理された「信頼できるテスタープログラム」	包括的な開発者ツール群 (Isaac Platform) とパートナーネットワーク	オープンソースコミュニティ主導	内部開発のみ (クローズド)
市場投入モデル	パートナーシップ主導のプラットフォームモデル	エコシステム全体へのインフラ提供モデル	民主化とアクセシビリティを重視したコミュニティモデル	完成品としての直接販売モデル
主要ハードウェア	サードパーティ製ロボット (Apptронik, Franka)	自社製 GPU (Jetson, DGX, OVX)	コモディティハードウェア (例: MacBook)	自社製ロボット、自社製 AI チップ、Dojo スーパーコンピュータ

表 3：ヒューマノイドロボティクス エコシステムとパートナーシップ

ヒューマノイド開発企業	主要な商用展開・パートナー	既知の AI・プラットフォーム提携	AI 戦略
Figure AI	BMW（自動車製造）	OpenAI（VLM）、Microsoft、NVIDIA	AI ファースト、パートナーシップ活用
Agility Robotics	Amazon（物流）、GXO Logistics（物流）	Google（Gemini Robotics-ER のテストター）、NVIDIA	実用展開重視、パートナーシップ活用
Apptронik	Google（Apollo ロボットでの提携）	Google（Gemini Robotics）	パートナーシップ主導
Boston Dynamics	Hyundai（親会社）	Google（Gemini Robotics-ER のテストター）、Robotics & AI Institute	先進的研究開発、強化学習
Tesla	自社工場	なし（完全内製）	完全垂直統合

セクション 5：市場への影響、将来の軌道、そして戦略的提言

これまでの分析を踏まえ、ロボティクス知能をめぐる競争の現状を統合し、将来の展望と各ステークホルダーへの戦略的提言を提示します。

5.1. 統合分析：ロボット知能をめぐる 4 つの戦線

競争環境の分析から、ロボット知能市場には明確に異なる 4 つの戦略モデルが存在することが明らかになりました。

1. **Google のパートナーシップ主導プラットフォーム**：Google は、自らをロボットの「頭脳」を供給するプラットフォームと位置づけ、ハードウェアメーカーとの協業を通じてエコシステムを拡大しようとしています。Gemini Robotics On-Device の少数ショット学習能力は、多様なパートナーが容易に自社製品に AI を統合できるという強力な価値提案です。

2. **NVIDIA のフルスタック・エコシステム**：NVIDIA は、シミュレーションからトレーニング、エッジ展開まで、ロボット開発の全工程を支える「インフラ」を提供します。彼らの戦略は、自社の GPU を業界標準の計算基盤とすることで、市場全体の成長から利益を得るものです。
3. **Hugging Face のオープンソース・コミュニティ**：Hugging Face は、アクセシビリティと民主化を武器に、学术界やスタートアップ、個人の開発者を巻き込み、ボトムアップでエコシステムを構築しています。コストをかけずに最先端技術に触れたい層にとって、魅力的な選択肢です。
4. **Tesla の垂直統合**：Tesla は、他社との連携を排し、ハードウェアからソフトウェアまで全てを自社で開発することで、最適化された単一の製品を追求しています。これは、究極の性能と迅速な開発サイクルを目指すハイリスク・ハイリターンな戦略です。

これらのモデルは、それぞれ異なる市場セグメントをターゲットとしており、将来的にも共存していく可能性が高いと考えられます。エンタープライズ市場では Google と NVIDIA が、研究・教育市場では Hugging Face が、そして Tesla は自社のエコシステム内で独自の道を切り拓いていくでしょう。

5.2. 将来展望：汎用ロボットへの道にある障害

華々しいデモンストレーションの裏で、汎用ロボットが社会に普及するためには、依然としていくつかの重大なハードルが存在します。

- **信頼性と安全性**：管理された実験室でのデモから、予測不可能な実世界環境での 24 時間 365 日の安定稼働へと移行することは、非常に大きな挑戦です。Hacker News での議論に見られるように、多数のモーターや関節を持つ複雑なシステムでは、平均故障間隔 (MTBF) が実用レベルに達するかどうか大きな懸念となります⁶⁶。99%の成功率を誇るモデルでも、残りの 1%の失敗が予測不可能であれば、工場や家庭で安心して使うことはできません。
- **スケーラビリティ**：数台のテスト用ロボットから、Tesla が計画するような数千、数百万台規模の生産へとスケールさせることは、製造技術とソフトウェア展開の両面で壮大な課題です⁴²。品質を維持しながら大量生産するサプライチェーンの構築や、多数のロボットを一元的に管理・更新するフリートマネジメント技術が不可欠となります。
- **「ベンチマーク」問題**：現在、各社がそれぞれの基準で性能をアピールしていま

すが、異なるプラットフォームやモデルの能力を公平に比較するための、標準化された実世界ベンチマークが不足しています。「Open X-Embodiment」⁶⁷や「HumanoidBench」⁷²といった取り組みは正しい方向性を示していますが、業界全体で合意された普遍的な評価基準の確立が待たれます。

これらの課題を乗り越える過程で、ロボティクスの「退屈な」側面、すなわちメンテナンス、信頼性、そして DevOps（開発と運用の連携）が、真の差別化要因となるでしょう。市場の初期段階は、衣服をたたんだり、バッグのジッパーを開けたりといった「驚きのデモ」によって牽引されます。現在はまさにこの段階にあります。次のフェーズは、Figure 社が BMW の工場で行っているような、限定的なパイロット導入です。しかし、最も困難なのは、その先の長期間にわたる大規模な実運用です。

この「Day 2」の問題、すなわち運用開始後の信頼性や保守性の問題こそが、どのプラットフォームが最終的にエンタープライズ市場を制するかを決定づける要因となります。NVIDIA がシミュレーション（Isaac Sim）に注力しているのは、実世界への展開前に信頼性の問題を解決しようとする試みです。Google のクラウド連携型 SDK

（flywheel-cli）は、大規模な運用下でモデルの品質を維持するための MLOps システムです。Tesla の強みは、自社が最初の顧客であるため、自社工場内で信頼性に関する問題を迅速に洗い出し、改善できる点にあります。Hugging Face のオープンなモデルは、エンタープライズレベルのサポートやサービス品質保証（SLA）を提供する企業主体がなければ、この「Day 2」の問題で苦戦する可能性があります。

結論として、エンタープライズロボティクス分野での勝者は、初期の能力デモだけでなく、長期的な信頼性と卓越した運用体制を提供できる企業となるでしょう。現在の発表はすべて「Day 1」に関するものであり、真の試練はこれから始まるのです。

5.3. 主要ステークホルダーへの戦略的提言

この複雑で流動的な市場環境において、各ステークホルダーは以下の点を考慮して戦略を立てるべきです。

- エンタープライズ導入企業（製造業、物流業など）へ：
競合するプラットフォームを評価する際は、デモの華やかさだけでなく、エコシステムの成熟度、提供されるサポートのレベル、カスタマイズの容易さ（例：Google の 50～100 ショット学習）、そしてモデルのライセンス料だけでなく必

要なハードウェアや運用コストを含めた総所有コスト（TCO）を総合的に判断することが重要です。特定のベンダーにロックインされるリスクも考慮し、自社のユースケースに最も適した柔軟性と拡張性を持つプラットフォームを選択すべきです。

- 開発者・研究者へ：

自身の目的に応じてプラットフォームを選択することが賢明です。

- **Google (Gemini Robotics):** 管理された環境で、強力な VLA モデルと優れたファインチューニング機能を活用したい場合に最適です。エンタープライズレベルのアプリケーション開発を目指す場合に有力な選択肢となります。
- **NVIDIA (Isaac/Groot):** シミュレーションとの緊密な連携や、ハードウェアレベルでの最適化を追求したい場合に最適です。物理的に正確なテストや合成データ生成が重要な研究開発に適しています。
- **Hugging Face (LeRobot):** 最大限のアクセシビリティ、オープンソースの柔軟性、そして低コストでの参入を求める場合に最適です。学術研究やプロトタイプリング、コミュニティベースの開発に適しています。

- 投資家へ：

投資対象によって、異なる投資テーマが存在します。

- **プラットフォーム・プロバイダー（Google, NVIDIA）への投資：** ロボティクス市場全体の成長に賭ける投資です。特定のロボットメーカーの成否に左右されにくく、市場が拡大すれば利益を得られる可能性が高いです。
- **ヒューマノイド開発企業（Figure AI など）への投資：** 特定のチームの実行能力と、彼らが選択した技術スタックが市場に受け入れられるかに賭ける投資です。より高いリターンが期待できる一方で、リスクも高まります。
- **垂直統合企業（Tesla）への投資：** Tesla 独自の、他とは隔絶されたビジョンと実行能力に賭ける投資です。成功すれば市場を独占する可能性があります。その成否は Optimus という単一製品の出来に完全に依存します。

ロボティクス知能の競争はまだ始まったばかりです。技術の進歩は目覚ましいものの、実用化への道のりは長く、各社の戦略が今後どのように市場に受け入れられていくか、注意深く見守る必要があります。

引用文献

1. Google DeepMind Unveils Gemini Robotics On-Device for Offline AI -Powered Robots, 6 月 25, 2025 にアクセス、<https://theaiinsider.tech/2025/06/25/google-deepmind-unveils-gemini-robotics-on-device-for-offline-ai-powered-robots/>
2. Google DeepMind Introduces AI Model That Runs Locally on Robots | PYMNTS.com, 6月 25, 2025 にアクセス、<https://www.pymnts.com/news/artificial-intelligence/2025/google-deepmind->

[introduces -ai-model-runs-locally-robots/](#)

3. Google's new Gemini Robotics On-Device AI model runs directly on robots Watch it in action, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://indianexpress.com/article/technology/artificial-intelligence/google-gemini-robotics-on-device-ai-model-offline-robots-humanoids-10087038/>
4. Google unveils Gemini Robotics on-device AI for robots: No internet needed!, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://www.indiatvnews.com/technology/news/google-unveils-gemini-robotics-on-device-ai-for-robots-no-internet-needed-2025-06-25-996237>
5. Google Releases Gemini Robotics On-Device to Locally Handle Robots - Beebom, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://beebom.com/google-gemini-robotics-on-device-model-released/>
6. Google DeepMind Releases Gemini Robotics On-Device: Local AI Model for Real-Time Robotic Dexterity - MarkTechPost, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://www.marktechpost.com/2025/06/25/google-deepmind-releases-gemini-robotics-on-device-local-ai-model-for-real-time-robotic-dexterity/>
7. DeepMind's Secret Technology Shakes Up! Gemini Robotics On-Device Makes Robots Instantly Versatile - Aibase, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://www.aibase.com/news/19225>
8. Google Announces On-Device Gemini Robotics Model - Maginative, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://www.maginative.com/article/google-announces-on-device-gemini-robotics-model/>
9. Gemini Robotics On-Device brings AI to local robotic devices ..., 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://deepmind.google/discover/blog/gemini-robotics-on-device-brings-ai-to-local-robotic-devices/>
10. Gemini's Robotics On-Device outperforms Google's other models - Binance, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://www.binance.com/en/square/post/26074197008553>
11. Google DeepMind Unveils On-Device Gemini Robotics Model for Local Task Execution, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://www.ainvest.com/news/google-deepmind-unveils-device-gemini-robotics-model-local-task-execution-2506/>
12. Google launches 'Gemini Robotics On-Device' AI model that powers robots without internet, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://thetechportal.com/2025/06/25/google-launches-gemini-robotics-on-device-ai-model-to-power-robots-without-internet/>
13. Google Deepmind makes robots independent of the cloud with Gemini On-Device, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://the-decoder.com/google-deepmind-makes-robots-independent-of-the-cloud-with-gemini-on-device/>
14. Google launches Gemini Robotics model capable of running locally on robots, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://m.economictimes.com/tech/artificial-intelligence/google-launches-gemini-robotics-model-capable-of-running-locally-on-robots/articleshow/122070973.cms>

15. Google's new Gemini AI can power robots and make them work without internet, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://www.indiatoday.in/technology/news/story/googles-new-gemini-ai-can-power-robots-and-make-them-work-without-internet-2745827-2025-06-25>
16. Google's Gemini AI Now Powers Robots Without Internet Access - The Hans India, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://www.thehansindia.com/technology/tech-news/googles-gemini-ai-now-powers-robots-without-internet-access-982644>
17. Gemini Robotics On-Device - Google DeepMind, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://deepmind.google/models/gemini-robotics/gemini-robotics-on-device/>
18. Gemini Robotics - Google DeepMind, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://deepmind.google/models/gemini-robotics/>
19. Gemini Robotics On-Device Model Card - Googleapis.com, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://storage.googleapis.com/deepmind-media/Model-Cards/Gemini-Robotics-On-Device-Model-Card.pdf>
20. Google DeepMind Launches: Robot AI Without Internet Connection Can Independently Complete Precise Tasks Like Tying Shoelaces - Aibase, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://www.aibase.com/news/19220>
21. Google DeepMind Debuts Gemini Robotics On-Device Visual Language Model, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://www.automate.org/industry-insights/google-deepmind-debuts-gemini-robotics-on-device-visual-language-model>
22. Google Introduces Gemini Robotics On-Device AI Model, Can Adapt to Different Types of Robots | Technology News - Gadgets 360, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://www.gadgets360.com/ai/news/google-gemini-robotics-on-device-vla-ai-model-aloha-franka-fr3-apollo-humanoid-robots-8757154>
23. Google DeepMind deploys Gemini Robotics AI model locally at work - Mezha.Media, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://mezha.media/en/news/google-deepmind-launch-local-gemini-robotics-302921/>
24. google-deepmind/gemini-robotics-sdk - GitHub, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://github.com/google-deepmind/gemini-robotics-sdk>
25. Gemini's Robotics On-Device outperforms Google's other models - CryptoRank, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://cryptorank.io/news/feed/b1480-new-google-gemini-model-robotics>
26. How to Buy PAWS (PAWS) Guide - Binance, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://www.binance.com/en/how-to-buy/paws>
27. Nvidia GTC 2025: AI Breakthroughs with Blackwell Ultra, Agentic AI and Robotics, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://tecknexus.com/nvidia-gtc-2025-ai-breakthroughs-with-blackwell-ultra-agentic-ai-robotics/>
28. NVIDIA launches 'Groot N1', an open-source AI foundation model for humanoid robotics, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://thetechportal.com/2025/03/19/nvidia-launches-groot-n1-an-open-source-ai-foundation-model-for-humanoid-robotics/>

29. NVIDIA: NEW AI Model N1 Explained – in Detail, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://meta-quantum.today/?p=7596>
30. AI for Robotics | NVIDIA, 6 月 25, 2025 にアクセス、<https://www.nvidia.com/en-us/industries/robotics/>
31. NVIDIA Isaac - AI Robot Development Platform, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://developer.nvidia.com/isaac>
32. Welcome to Isaac Lab!, 6 月 25, 2025 にアクセス、<https://isaac-sim.github.io/IsaacLab/>
33. NVIDIA Isaac GR00T N1: An Open Foundation Model for Humanoid Robots - YouTube, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://www.youtube.com/watch?v=m1CH-mgpdYg>
34. Getting Started with LeRobot - ReductStore, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://www.reduct.store/blog/hugging-face-lerobot>
35. LeRobot - Hugging Face, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://huggingface.co/lerobot>
36. huggingface/lerobot: LeRobot: Making AI for Robotics more accessible with end-to-end learning - GitHub, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://github.com/huggingface/lerobot>
37. Hugging Face's New Robotics Model: So Efficient It Runs on a MacBook! | AI News, 6 月 25, 2025 にアクセス、<https://opentools.ai/news/hugging-faces-new-robotics-model-so-efficient-it-runs-on-a-macbook>
38. What is the model architecture? I'm assuming it's far away from LLMs, but I'm cu... | Hacker News, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://news.ycombinator.com/item?id=44370919>
39. LeRobot Community Datasets: The “ImageNet” of Robotics — When and How?, 6 月 25, 2025 にアクセス、<https://huggingface.co/blog/lerobot-datasets>
40. Optimus (Tesla Bot) - ROBOTS: Your Guide to the World of Robotics, 6 月 25, 2025 にアクセス、<https://robotsguide.com/robots/optimus>
41. Tesla begins autonomous deployment of Optimus humanoid robots in factories - OECD.AI, 6 月 25, 2025 にアクセス、<https://oecd.ai/en/incidents/2024-06-12-4e35>
42. Elon Musk teases Tesla Optimus Gen 3 capabilities: 'So many improvements' - Teslarati, 6 月 25, 2025 にアクセス、<https://www.teslarati.com/elon-musk-teases-tesla-optimus-gen-3-capabilities-so-many-improvements/>
43. Tesla's Bold Move into the World of Robotics: Optimus Robots to Revolutionize Manufacturing - Newo.ai, 6 月 25, 2025 にアクセス、<https://newo.ai/tesla-optimus-robots-revolutionize-manufacturing/>
44. Tesla's Optimus operates autonomously in the factory | Microsoft Artificial Intelligence Name | Generative ai use Cases in Banking, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://www.turtlesa.com/en/pages-615/tesla-s-optimus-operates-autonomously-in-the-facto>
45. Tesla Deploys Two Optimus Robots in Factory, 6 月 25, 2025 にアクセス、

- <https://www.notateslaapp.com/news/2073/tesla-deploys-two-optimus-robots-in-factory>
46. Tesla Optimus units line up in Fremont's pilot production line - Teslarati, 6 月 25, 2025 にアクセス、<https://www.teslarati.com/tesla-optimus-pilot-production-line/>
 47. Tesla Robot: What It Is, What Makes It Unique, and Its Future Prospects - THE WAVES, 6 月 25, 2025 にアクセス、<https://www.the-waves.org/2025/01/05/tesla-robot-what-it-is-what-makes-it-unique-and-its-future-prospects/>
 48. AI & Robotics | Tesla, 6 月 25, 2025 にアクセス、<https://www.tesla.com/AI>
 49. Figure AI's Humanoid Robots At BMW: Real Progress Or Overhyped Promise?, 6 月 25, 2025 にアクセス、<https://evxl.co/2025/04/12/figure-ai-humanoid-robots-at-bmw/>
 50. BMW to Deploy Humanoid Robots - Assembly Magazine, 6 月 25, 2025 にアクセス、<https://www.assemblymag.com/articles/98340-bmw-to-deploy-humanoid-robots>
 51. Figure's Strategic Partnership With BMW: Pioneering General Purpose Robots in Automotive Manufacturing - AiThority, 6 月 25, 2025 にアクセス、<https://aithority.com/technology/figures-strategic-partnership-with-bmw-pioneering-general-purpose-robots-in-automotive-manufacturing/>
 52. Figure AI's Journey to Robotics Dominance with BMW, Microsoft, and OpenAI Support, 6 月 25, 2025 にアクセス、<https://www.unite.ai/figure-ais-journey-to-robotics-dominance-with-bmw-microsoft-and-openai-support/>
 53. Figure announces commercial agreement with BMW Manufacturing to bring general purpose robots into automotive production - PR Newswire, 6 月 25, 2025 にアクセス、<https://www.prnewswire.com/news-releases/figure-announces-commercial-agreement-with-bmw-manufacturing-to-bring-general-purpose-robots-into-automotive-production-302036263.html>
 54. Figure AI's Massive Breakthrough – 20 Hours Non Stop at BMW - YouTube, 6 月 25, 2025 にアクセス、<https://www.youtube.com/watch?v=72vTji63EZg>
 55. Deep Dive Into Careers and Working at Figure.ai - Underdog.io, 6 月 25, 2025 にアクセス、<https://landing.underdog.io/blog/figure-ai-careers>
 56. Figure AI, 6 月 25, 2025 にアクセス、<https://www.figure.ai/>
 57. Amazon Tests 'Down-to-Earth' Robotics Amid \$1.6 Billion Boom | PYMNTS.com, 6 月 25, 2025 にアクセス、<https://www.pymnts.com/technology/2024/amazon-tests-down-to-earth-robotics-amid-1-6-billion-boom/>
 58. Agility Robotics Announces New Innovations for Market-Leading Humanoid Robot Digit, 6 月 25, 2025 にアクセス、<https://www.businesswire.com/news/home/20250331588956/en/Agility-Robotics-Announces-New-Innovations-for-Market-Leading-Humanoid-Robot-Digit>
 59. Agility Robotics - Wikipedia, 6 月 25, 2025 にアクセス、

https://en.wikipedia.org/wiki/Agility_Robotics

60. Agility Robotics | GeekWire, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://cdn.geekwire.com/wp-content/uploads/2023/11/Company-Diligence-Agility-Robotics-1.pdf>
61. Agility Robotics and Ricoh partner to support expanding humanoid robot market, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://www.ricoh-usa.com/en/newsroom/agility-robotics-and-ricoh-partner-to-support-expanding-humanoid-robot>
62. Agility Robotics and Ricoh partner in humanoid robot market - Rockingrobots, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://www.rockingrobots.com/agility-robotics-and-ricoh-partner-in-humanoid-robot-market/>
63. Ricoh to provide customer support for Agility Robotics' Digit humanoid - The Robot Report, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://www.therobotreport.com/ricoh-provides-customer-support-agility-robotics-digit-humanoid/>
64. Robotics & AI Institute, Boston Dynamics to make humanoids more useful with reinforcement learning, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://www.therobotreport.com/robotics-ai-institute-boston-dynamics-to-make-humanoids-more-useful-with-reinforcement-learning/>
65. Boston Dynamics Partners with Its Former CEO to Build a Humanoid Robot | Observer, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://observer.com/2025/02/boston-dynamics-partner-former-ceo-humanoid/>
66. Gemini Robotics On-Device brings AI to local robotic devices - Hacker News, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://news.ycombinator.com/item?id=44366409>
67. ARES: An Open Source Platform for Robot Data | Andreessen Horowitz, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://a16z.com/ares-an-open-source-platform-for-robot-data/>
68. Open X-Embodiment: Robotic Learning Datasets and RT-X Models | Request PDF, 6 月 25, 2025 にアクセス、
https://www.researchgate.net/publication/382982173_Open_X-Embodiment_Robotic_Learning_Datasets_and_RT-X_Models
69. Open X-Embodiment: Robotic Learning Datasets and RT-X Models, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://robotics-transformer-x.github.io/>
70. Open-X-Embodiment Dataset - Papers With Code, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://paperswithcode.com/dataset/open-x-embodiment>
71. Open X-Embodiment: Robotic Learning Datasets and RT-X Models - arXiv, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://arxiv.org/html/2310.08864v4>
72. HumanoidBench: Simulated Humanoid Benchmark for Whole-Body Locomotion and Manipulation, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://humanoid-bench.github.io/>
73. [2403.10506] HumanoidBench: Simulated Humanoid Benchmark for Whole-Body Locomotion and Manipulation - arXiv, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://arxiv.org/abs/2403.10506>
74. HumanoidBench: Simulated Humanoid Benchmark for Whole-Body Locomotion

- and Manipulation - arXiv, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://arxiv.org/html/2403.10506v1>
75. carlosferrazza/humanoid-bench - GitHub, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://github.com/carlosferrazza/humanoid-bench>
76. HumanoidBench: Simulated Humanoid Benchmark for Whole-Body Locomotion and Manipulation - Robotics, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://www.roboticsproceedings.org/rss20/p061.pdf>
77. [Literature Review] HumanoidBench: Simulated Humanoid Benchmark for Whole-Body Locomotion and Manipulation - Moonlight | AI Colleague for Research Papers, 6 月 25, 2025 にアクセス、
<https://www.themoonlight.io/en/review/humanoidbench-simulated-humanoid-benchmark-for-whole-body-locomotion-and-manipulation>